



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN  
DE LAS VARIABLES TEMPERATURA, HUMEDAD Y NIVEL DE  
ACEITE EN EL TRANSFORMADOR DE LA SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA DE LA EMPRESA CVG ALUCASA C.A UBICADA EN  
GUACARA, EDO. CARABOBO, VENEZUELA.**

**Autor:**  
Ochoa, Alejandro  
C.I. 24.300.001

Urb. Yuma II, Calle N. ° 3, Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA UNIVERSIDAD JOSÉ  
ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA**



**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN  
DE LAS VARIABLES TEMPERATURA, HUMEDAD Y NIVEL DE  
ACEITE EN EL TRANSFORMADOR DE LA SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA DE LA EMPRESA CVG ALUCASA C.A UBICADA EN  
GUACARA, EDO. CARABOBO, VENEZUELA.**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Autor:**

Ochoa, Alejandro  
C.I. 24.300.001

**Tutor académico:**

Ing. Gerson Sánchez  
C.I: 7.143.386

San Diego, Marzo 2021



FI-E-007-2021-ICR (TG)

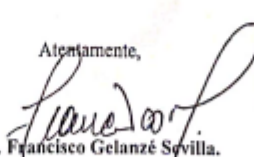
Valencia, 21 de julio de 2021

Ciudadano:  
Ochoa Moreno, Alejandro José.  
CI. 24.300.001  
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2021 de fecha 25-05-2021 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado *DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES TEMPERATURA, HUMEDAD Y NIVEL DE TANQUE DE LOS TRANSFORMADORES DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA CVG ALUCASA C.A UBICADA EN GUACARA, EDO. CARABOBO, VENEZUELA*, presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Se ratifica la designación del Ing. Gerson Sánchez C.I: 7.143.386 como Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

  
Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.  
Decano



e.e. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).



UNIVERSIDAD JOSE ANTONIO PAEZ  
 COORDINACION DE PASANTIAS Y TRABAJO DE GRADO  
 FACULTAD DE INGENIERIA

ACTA DE APROBACION DEL INFORME DE PASANTIA O  
 TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Diseño de un dispositivo electrónico para la medición de las Variables  
Temperatura, humedad y nivel de Aceite en el transformador de la  
Subestación eléctrica de la empresa CVG Alucasa ubicada en Guacaro  
estado Carabobo

Realizado por el (la) Br. Alejandro Ochoa

C.I. N° 24 300 001, cursante de la carrera de Ingeniería Electrónica hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que reúne los méritos suficientes para su aprobación asignándole la CALIFICACION DEFINITIVA En veinte (20) PUNTOS

El Jurado

Prof. Jairo Sánchez Ochoa  
 Tutor académico (coordinador)  
 Nombre:  
 C. I. V-7143 386

Maria Ines  
 Jurado (1)  
 Nombre: Maria Ines  
 C. I. 25-481-156

Wiston Espinoza  
 Jurado (2)  
 Nombre: Wiston Espinoza  
 C. I. 9885895

Fecha: 10-09-2021

PARA SER LLENADO POR LA COORDINACIÓN DE PASANTIA Y TRABAJO DE GRADO

He recibido Original del Acta de Aprobación para ser colocada en la solvencia Académica

Nombre del Graduando:  
 C. I.  
 Fecha

[Firma]  
 Coordinación de Pasantía y Trabajo de Grado  
 SEMESTRE: 2021-1ER.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe Ing. Gerson Sánchez, portador de la cédula de identidad N° 7.143.386, en mi carácter de tutor del proyecto de Trabajo de Grado presentado por el ciudadano Ochoa Alejandro, portador de la cédula de identidad N° 24.300.001, titulado: **DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES TEMPERATURA, HUMEDAD Y NIVEL DE ACEITE EN EL TRANSFORMADOR DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA CVG ALUCASA C.A UBICADA EN GUACARA, EDO. CARABOBO, VENEZUELA.**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, afirmó que aceptó la tutoría del proyecto mencionado durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajos de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez.

En San Diego, a los 6 días del mes de agosto del año dos mil veintiuno

*Gerson S*

---

**Ing. Gerson Sánchez**

**C.I. 7.143.386**

**DEDICATORIA**

**A mis padres Carmen y Fedor**, por darme una vida con educación, amor y orientación. Gracias por todo, ya que sin ustedes no sería la persona que soy hoy.

**AGRADECIMIENTOS**

**Al Ing. Gerson Sánchez**, por confiar en mí y darme la oportunidad para desarrollar el presente trabajo de grado. A través de usted tuve la experiencia de poner en práctica muchos de los conocimientos de la carrera y pude estar en contacto directo con él la experiencia de una empresa. Estaré eternamente agradecido por la oportunidad.

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>pp.</b>
<b>RESUMEN INFORMATIVO</b> .....	xi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
 <b>CAPÍTULO</b>	
 <b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación.....	6
1.5 Alcance.....	7
 <b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	10
2.2.1 Sistema de adquisición de datos.....	10
2.2.2 Microcontrolador.....	12
2.2.3 Sistema embebido.....	13
2.2.4 Arduino.....	14
2.2.5 Arduino UNO.....	14
2.2.6 Sensores Industriales.....	16

2.2.7	Sensores de temperatura.....	18
2.2.8	Sensores de humedad.....	18
2.2.9	Sensores de nivel.....	21
2.2.10	Monitoreo de transformadores eléctricos de potencia.....	23
2.2.11	Transformadores de potencia.....	24
2.2.12	Tipos de transformadores de potencia.....	26
2.2.13	Fallas en transformadores de potencia.....	27
2.2.14	Refrigerantes en transformadores de potencia en aceite.....	28
2.3	Bases Legales.....	30
2.4	Definición de Términos Básicos.....	31

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1	Tipo de Investigación.....	33
3.2	Diseño de Investigación.....	34
3.3	Nivel de Investigación.....	34
3.4	Población y Muestra.....	35
3.5	Técnicas e Instrumentos de Investigación.....	35
3.6	Fases de la Investigación.....	36

### **IV RESULTADOS**

4.1	Fase I.....	38
4.2	Fase II.....	40
4.3	Fase III.....	51
4.4	Fase IV.....	62

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>71</b>
<b>Anexo A.</b> Diagrama esquemático de la placa de desarrollo Arduino UNO REV3.	
<b>Anexo B.</b> Hojas de datos (parcial) de diferentes tipos de aceites empleados en transformadores de potencia.	
<b>Anexo C.</b> Hojas de datos (parcial) de varios termopares tipo J.	
<b>Anexo D.</b> Hojas de datos (parcial) de varios sensores de humedad de tipo capacitivos.	
<b>Anexo E.</b> Hojas de datos (parcial) de varios sensores de nivel de tipo ultrasónico.	
<b>Anexo F.</b> Hoja de datos (parcial) del adaptador I2C y su chip PCF8574.	
<b>Anexo G</b> Hoja de datos (parcial) de la termocupla tipo J de la empresa fabricante CEIV.	
<b>Anexo H.</b> Hoja de datos (parcial) del integrado LM335.	
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>103</b>
<b>Apéndice A.</b> Ejemplo representativo de código en lenguaje C/C++ para la programación del Arduino.	
<b>Apéndice B.</b> Imágenes del transformador y el recinto.	
<b>Apéndice C.</b> Lista de cotejo realizada al ingeniero de sistemas eléctricos de potencia.	

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	pp.
--------	-----------	-----

1	Estructura de un sistema de adquisición de datos.....	12
2	Diagrama de un microcontrolador.....	13
3	Frontal de Arduino UNO.....	15
4	Especificaciones de Arduino UNO.....	15
5	Varios tipos de instrumentos.....	17
6	Campo de medida de los instrumentos de temperatura .....	18
7	El agua en todos los estados agregados en diferentes materiales. ....	20
8	Categorías de sensores de nivel.....	22
9	Diagrama de sistema de monitoreo. ....	24
10	Partes de un transformador de potencia en aceite.....	25
11	Símbolos de representación para transformadores.....	27
12	Características de un aceite nuevo.....	29
13	Nomenclatura para refrigeración de transformadores de potencia.....	30
14	Diagrama representativo de bloques de los módulos del dispositivo.....	42
15	Diferentes tipos de fuentes AC-DC.....	43
16	Diferentes tipos de pantallas LCD.....	44
17	Controlador de comunicación I2C.....	44
18	Diferentes tipos de sensores industriales.....	45
19	Diagrama de pines de salida de la placa Arduino UNO R3.....	47
20	Varios componentes electrónicos.....	48
21	Diagrama de conexión para el módulo de alimentación.....	53
22	Diagrama de conexión para el Arduino .....	53
23	Diagrama de conexión para la pantalla LCD.....	54
24	Diagrama de conexión para el sensor de temperatura.....	55

25	Diagrama del filtro utilizado en el diseño.....	55
26	Diagrama de la etapa de amplificación.....	57
27	Diagrama de conexión para el sensor de temperatura de referencia.....	58
28	Diagrama de conexión para el sensor de humedad de tipo capacitivo.....	59
29	Diagrama de conexión para el sensor de nivel de tipo ultrasónico.....	59
30	Diagrama de conexión para dispositivo completo.....	61
31	Diagrama de flujo del funcionamiento del dispositivo.....	62



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN  
DE LAS VARIABLES TEMPERATURA, HUMEDAD Y NIVEL DE  
ACEITE EN EL TRANSFORMADOR DE LA SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA DE LA EMPRESA CVG ALUCASA C.A UBICADA EN  
GUACARA, EDO. CARABOBO, VENEZUELA.**

**Autor:** Alejandro Ochoa  
**Tutor:** Ing. Gerson Sánchez  
**Fecha:** Agosto 2021

**RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo el diseño de un dispositivo electrónico para la medición de las variables temperatura, humedad y nivel de aceite en el transformador de la subestación eléctrica de la empresa CVG Alucasa C.A ubicada en Guacara, Edo. Carabobo, Venezuela. El sistema permite llevar un registro y monitoreo en los modos local y remoto, de esta manera se atenderá de forma efectiva el comportamiento del transformador. Para el cumplimiento del objetivo principal, se diagnosticó la situación actual del transformador de alta potencia de la subestación eléctrica que proporciona energía de la empresa CVG Alucasa C.A y se determinó los requerimientos mínimos y necesarios del dispositivo. Seguidamente, se diseñó de manera detallada la estructura del dispositivo haciendo uso de diferentes software de simulación de circuitos electrónicos para asegurar su correcto funcionamiento, para luego seleccionar los materiales y componentes que lo conforman. Finalmente, se evaluó la factibilidad económica, técnica, operativa, social y ambiental del diseño propuesto, resultando de manera exitosa en cada uno de los aspectos. La investigación es de tipo proyecto factible, de diseño investigación de campo y con un nivel descriptivo.

**Descriptor:** sistema de monitoreo, transformadores, humedad, nivel de aceite, temperatura.

**INTRODUCCIÓN**

La empresa CVG Alucasa C.A., es una empresa del sector industrial, dedicada al procesamiento y manejo de una materia prima esencial para gran parte de los sectores y actividades que se desarrollan en el país como lo es el aluminio. Actualmente, a raíz de la problemática que se presenta a nivel nacional con los servicios de energía eléctrica, se han experimentado muchas fallas en las subestaciones, especialmente en el transformador, que proporcionan el servicio eléctrico a toda la planta de producción. Esto ocasiona pérdidas inmensurables ya que hay que generar gastos imprevistos en mantenimiento y/o reemplazo del transformador y pérdidas inmensurables en producción estancada por falta de energía eléctrica.

Dentro de este orden de ideas, la empresa CVG Alucasa C.A se ve en la necesidad de implementar un sistema de monitoreo continuo para poder satisfacer las necesidades de mantenimiento de sus transformadores de alta tensión, para prevenir futuras fallas y pérdidas económicas innecesarias. Ante tal necesidad surge esta propuesta de investigación, el cual, para su desarrollo, y siguiendo las líneas de la normativa de la Universidad José Antonio Páez para la presentación de trabajos de grado, la investigación se estructuró en cuatro (4) capítulos, de la siguiente manera:

**Capítulo I**, donde se encuentran el planteamiento del problema junto con su formulación, el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación de la investigación y el alcance.

**Capítulo II**, conformado por los antecedentes e investigaciones que tratan el mismo problema o se relacionan con la presente investigación. Se explican las bases teóricas y se definen los términos básicos.

**Capítulo III**, donde se establece el marco metodológico, tipo, diseño y nivel de la investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

**Capítulo IV**, describe los resultados obtenidos luego de cumplir cada una de las fases de la investigación.

**CAPÍTULO I**  
**EL PROBLEMA**

## **1.1 Planteamiento del Problema**

Desde tiempos inmemoriales, el hombre se ha valido de su ingenio para solucionar los problemas que se le presentan en su vida cotidiana. Desde los tiempos de las cavernas, los nómadas se movilizaban de territorio en territorio para buscar alimentos por medio de la caza, siendo un sistema simple pero eficiente hasta que lograron aprender y comenzaron a desarrollar actividades más sedentarias como la siembra y la cría de animales, mejorando así de un sistema simple a uno más complejo para optimizar su producción a largo plazo.

A partir de la primera revolución industrial, el ser humano ha invertido grandes sumas de capital económico para mejorar procesos de producción y manufactura, siempre buscando la optimización de las ganancias y la reducción del tiempo en que se producen las mismas. En la actualidad damos por sentado muchos productos de uso cotidiano sin saber el tiempo y esfuerzo invertido en ciencia y tecnología para que las empresas químicas, mecánicas, textiles, entre otras, logren cumplir las exigencias de la sociedad actual.

La definición de automatización según Lorenzo (2007) que “dispone como automatización al grupo de técnicas afiliadas entre sí, que aplicando sistemas de carácter mecánico – electrónico y fundamentado en ordenadores, busca el control y la operación de la producción”. Otra definición de los autores Carrillo y Vázquez (2008) determina que: “La automatización es la reducción de mano de obra, y utilizar los recursos necesarios sin desperdiciarlos. Y la aplicación de sistemas mecánicos y electrónicos y de bases computacionales para operar y controlar la producción”. Según las definiciones expuestas anteriormente se puede establecer como la automatización de un determinado proceso industrial en una empresa puede traer muchos beneficios económicos, operacionales y de seguridad.

Toda planta industrial necesita un suministro constante de energía eléctrica para que todos sus procesos puedan funcionar correctamente. Normalmente dicha energía es entregada a la empresa por uno o varios proveedores a través de un sistema de distribución de energía eléctrica. Por lo general (y según la regulaciones de cada país), los niveles en magnitudes de tensión por encima de los 30 kV a los cuales se traslada la energía eléctrica desde la planta donde se genera hasta las

acometidas donde se conectan los clientes. Para distribuir la energía a todo el recinto que conforma la planta de operaciones, se hace uso de subestaciones compuestas por arreglos de transformadores, para poder reducir la tensión a niveles de operación para los sistemas que componen la planta.

Los transformadores que componen las subestaciones son máquinas eléctricas que requieren un monitoreo constante y un mantenimiento regular para poder garantizar su óptimo funcionamiento. Es crucial para el ente técnico priorizar el mantenimiento de estos equipos ya que al momento de una falla o un mal funcionamiento, perjudica directamente la fuente principal de energía eléctrica de la planta, de la cual dependen gran parte de los procesos. Esto pone en alto riesgo la productividad de la misma, ya que se paralizarán todos los procesos en ejecución por falta de energía, lo que causaría grandes pérdidas económicas para la empresa.

Esta situación existe en la empresa CVG Alucasa C.A, donde se han presentado problemas con sus subestaciones por la falta de un monitoreo constante de los equipos encargados de la transformación de energía. Al no realizar un seguimiento adecuado del estado de estos equipos han ocurrido fallas por sobrecalentamiento y hasta pérdidas totales del transformador, colocando a la empresa en una situación donde se ven obligados a parar la producción por periodos prolongados a la espera de equipos nuevos, ocasionando grandes pérdidas económicas.

En la empresa CVG Alucasa C.A existe la necesidad de monitorear constantemente el transformador de una subestación encargada de recibir niveles de voltaje de 34,5 kV y transformarlos a 13,8 kV para la distribución de energía eléctrica por toda la planta. Este transformador de potencia utiliza aceite como dieléctrico. La empresa CVG Alucasa C.A se ve en la necesidad de monitorear las magnitudes físicas de temperatura y humedad del transformador, así como el nivel de aceite .

Todos estos controles son necesarios de implementar con la finalidad de prevenir fallas, daños permanentes en los dispositivos debido a sobrecalentamientos y daños del aislamiento, así como automatizar los procesos de monitoreo para poder garantizar un correcto mantenimiento.

## **1.2 Formulación del Problema**

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se formula la siguiente interrogante: ¿Cómo se puede optimizar el proceso de monitoreo del transformador de la subestación eléctrica de la empresa CVG Alucasa C.A?

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer el diseño de un dispositivo electrónico para la medición de las variables temperatura, humedad y nivel de aceite en el transformador de la subestación eléctrica de la empresa CVG Alucasa C.A ubicada en Guacara, Edo. Carabobo, Venezuela.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Segundo, hoy en día la energía eléctrica es vital para todos los sectores que conforman nuestra sociedad. Al sector industrial le sería imposible funcionar sin una fuente confiable y segura de energía eléctrica. Se tendría que volver a los primeros años de la revolución industrial donde la energía provenía de máquinas a vapor, lo cual reduciría la producción drásticamente y sería económicamente inviable. Muchas empresas optan por tener sistemas secundarios o de respaldo de generación de potencia eléctrica, pero son limitados y generalmente diseñados para casos de emergencia.

En relación con lo anteriormente dicho, podemos establecer la importancia de garantizar una fuente de energía eléctrica para satisfacer todos los requerimientos de una planta industrial. Por esto, la empresa CVG Alucasa C.A debe garantizar que la subestación que les proporciona directamente la energía eléctrica pueda operar sin interrupciones, ya que las mismas generarían grandes pérdidas monetarias a la empresa y no se estarían satisfaciendo las necesidades de los procesos industriales que se llevan diariamente en la planta.

Por último, la presente investigación genera un valor agregado, ya que actualmente no existe un dispositivo similar que pueda ser utilizado para realizar dichas mediciones de temperatura, nivel y humedad de manera simultánea, con la finalidad de supervisar las condiciones operativas de los transformadores en la subestación principal.

### **1.5 Alcance**

La presente investigación está orientada al diseño de un dispositivo electrónico para la adquisición de datos en campo, que sea capaz de captar la temperatura, la humedad y el nivel de tanque de un transformador en la subestación eléctrica principal de la empresa CVG Alucasa C.A, con la finalidad de monitorear dichas variables para poder diagnosticar el estado de operación del transformador. Para esto se debe diagnosticar las condiciones del ambiente donde se van a realizar las mediciones, determinar los rangos de las magnitudes físicas a medir y diseñar el dispositivo. La posterior implementación del mismo compete a la empresa CVG Alucasa C.A.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Toda investigación científica debe de tener fundamentos sólidos basados en enunciados y definiciones que permitan entender el origen del hecho investigado y permita su soporte teórico. Según Gómez (2012) el marco teórico es “un instrumento de gran importancia, pues permite precisar, organizar, y esclarecer todos los elementos que constituyen la descripción del problema”. Apoyándonos en lo anteriormente dicho, se presentan los antecedentes, las bases teóricas y la definición de términos básicos, los cuales constituyen el marco teórico.

#### **2.1 Antecedentes**

Los antecedentes de una investigación son los trabajos anteriores que se encuentran relacionados de manera directa e indirecta con la investigación en desarrollo. Según Arias (2012) los antecedentes son “los estudios previos y tesis de grado relacionadas con el problema planteado, es decir, investigaciones realizadas anteriormente y que guardan alguna vinculación con el problema en estudio.” Por consiguiente, los antecedentes son esenciales para comprender y predecir el rumbo de la investigación.

Ramirez (2009) en su trabajo de grado titulado: “**Sistema de adquisición de datos de sensores analógicos y digitales**” presentado ante el instituto politécnico nacional de México para optar por el título de ingeniero en control y automatización. Dicho trabajo describe el diseño y desarrollo de un sistema de adquisición de datos, el cual está enfocado, a cubrir una de las necesidades académicas que existen dentro del laboratorio de control de procesos, de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Adolfo López Mateos, que al no contar con un sistema de adquisición de datos para que cada uno de los alumnos, evita y frena al alumno para que practique, compruebe, corrija o reafirme los conocimientos adquiridos en las aulas de clase teórica.

El autor llega a la conclusión de que la factibilidad del dispositivo de adquisición de datos es posible siempre y cuando el proceso a monitorear no exija

una precisión definida y/o sea imperativo cumplir con alguna norma o estándar. De esta manera, la investigación previa presenta una fuente relevante para el desarrollo de sistemas electrónicos con la finalidad de monitorear magnitudes físicas en ambientes industriales.

Por otra parte, Churata (2019) en su trabajo de grado titulado: “**Diseño de un sistema de monitoreo en tiempo real del índice de radiación ultravioleta, temperatura y humedad relativa para la región Puno**” presentado ante la universidad nacional del altiplano de Perú para optar por el título de ingeniero electrónico. Su objetivo fue registrar en tiempo real los valores del índice de radiación ultravioleta, temperatura y humedad relativa con el fin de contar con un historial climatológico, para lo cual hicieron uso de un sistema de adquisición de datos con la tarjeta Arduino UNO, el Arduino Ethernet Shield, los sensores de radiación ultravioleta, temperatura y humedad relativa. Con los resultados obtenidos, el autor pudo concluir que es posible construir un sistema de adquisición de datos basado en la placa de desarrollo Arduino UNO. El proyecto expuesto representa un punto importante para la investigación pues aporta información relevante en cuanto a los recursos en componentes electrónicos como es la placa de desarrollo Arduino UNO, demostrando que a pesar de su simplicidad posee un gran potencial para todo tipo de implementaciones.

Por último, Landy(2015) en su trabajo de grado titulado: “ **Desarrollo de un modelo de sistema de control y monitoreo de parámetros operacionales de un transformador de potencia, para el diagnóstico y detección temprana de fallas**” presentado ante la universidad politécnica salesiana de Ecuador para optar por el título de ingeniero eléctrico.

Su investigación se centró en desarrollar un sistema de control y medición de variables operacionales en un transformador de potencia con el objetivo de monitorear su funcionamiento y predecir fallas. Partiendo de los resultados que logró, el autor concluye la vital importancia de un sistema de monitoreo constante puede mejorar en gran proporción la vida útil de una máquina eléctrica como lo es un transformador.

El autor señala que aunque el transformador no se encuentra fuera de “peligro” o de presentar fallas, se puede asegurar que su rendimiento sea óptimo mientras se haga uso correcto de las indicaciones arrojadas por el sistema y se realicen los mantenimientos pertinentes. El trabajo presentado deja en evidencia información y resultados de envergadura para la investigación en proceso, ya que expone la relevancia de un sistema de monitoreo para el cuidado y mantenimiento de máquinas eléctricas esenciales para cualquier entorno industrial.

## **2.2 Bases teóricas**

Las bases teóricas de una investigación son el lugar donde es posible desarrollar los conceptos y las definiciones de manera profunda y descriptiva. Para Arias (2012), las bases teóricas se establecen como el conjunto que “comprende los conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado”. Dentro de este orden de ideas, son esenciales para establecer la teoría que servirá de fundamento para el problema formulado.

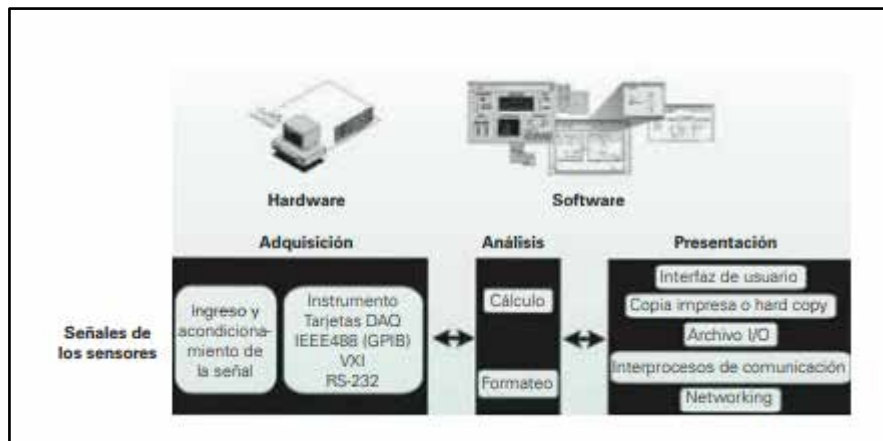
### **2.2.1 Sistema de adquisición de datos**

Para Chicala(2015) define “como un sistema de adquisición o toma de datos” a todo sistema compuesto por los siguientes componentes:

**Computadora:** en esta se lleva a cabo todo el procesamiento de la información, la cual una vez adquirida puede ser exhibida en tiempo real, guardada en un archivo con algún formato de intercambio, transmitida a través de una LAN (Local Area Network) o a través de internet. La información adquirida puede ser analizada por medio de una computadora con algún cálculo complejo previo, como integración, derivación, transformaciones de Fourier, estadísticas, etcétera

**Software de adquisición:** este elemento corresponde al lenguaje de programación a usar, en el que se programará o configura el software encargado de llevar a cabo la funcionalidad deseada por el sistema de adquisición de datos. Normalmente hay dos o más niveles de software. Si los niveles son dos, como mínimo, se tendrá un driver o software de bajo nivel que comunica la tarjeta de adquisición de datos con el sistema operativo de la computadora y un lenguaje de desarrollo generalmente gráfico o utilitario también llamado software de alto nivel, donde se programará o configura la aplicación final con la que interactúa el operador al hacer los proyectos o mediciones.

**Bus de conexión o puerto de conexión:** este elemento tiene como función conectar la computadora con el adquisidor de datos, encontrándose variantes como el bus PCI, ISA, PCMCIA, puerto serial, puerto paralelo, puerto GPIB, USB, Ethernet, etcétera(ver figura 1).



**Figura 1.** Estructura de un sistema de adquisición de datos.

Fuente: Chicala(2015).

**Adquisidor de datos:** este elemento es el que toma los datos del acondicionador y hace la conversión análoga a digital de la información. Hay que tener en cuenta que puede ser un elemento interno o externo a la computadora. Cabe aclarar en este punto que el enlace entre el equipo de cómputo y el elemento adquisidor de datos no tiene que ser permanente, puede haber momentos durante los cuales esté conectado y otros no. Cuando

esté conectado el equipo descarga del adquisidor todos los datos que éste ha almacenado.

**Acondicionador de señal:** la función del acondicionador es adaptar la señal que se recibe del sensor, amplificando, linealizando, filtrándose, etc. Puede alimentar el sensor si éste requiriera alimentación, como en el caso de los RTDs y los extensómetros.

**Sensores:** el sensor va a convertir un parámetro físico, o químico, como temperatura, presión, fuerza, luz, desplazamiento, pH, CO<sub>2</sub>, etc., en un fenómeno eléctrico capaz de ser medido.

### 2.2.2 Microcontrolador

Según Pichucho(2007) establece que “Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene internamente todos los componentes de un computador. Este se utiliza para controlar el funcionamiento de una tarea determinada”. Por lo general, los microcontroladores poseen pines de entradas y salidas se utilizan para conectar motores, relés, actuadores, etc. Una vez que el microcontrolador esté programado, se encargará de ejecutar al pie de la letra la tarea encomendada.

Un microcontrolador está conformado por diversas partes según su función dentro del encapsulado, estas partes son:

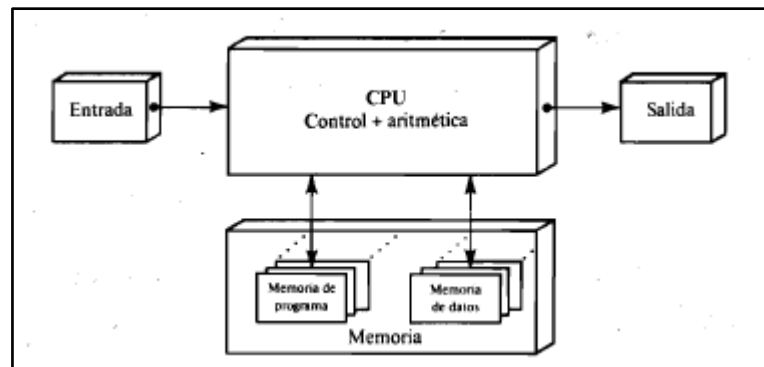
Memoria ROM (Memoria de solo lectura)

Memoria RAM (Memoria de acceso aleatorio)

Líneas de entrada / salida (I/O). También llamados puertos, se utilizan para conectar los elementos externos al microcontrolador.

Lógica de control. Coordina la interacción entre los demás bloques.

Podemos visualizar de manera funcional como se encuentran acopladas según el diagrama de bloques de la figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de un microcontrolador.

Fuente: Tokheim(1990)

### 2.2.3 Sistema embebido

De acuerdo con Heath (2003), existen “muchas definiciones para esto, pero la mejor manera de definirlo es describirlo en términos de lo que no es y con ejemplos de cómo se utiliza”. Un sistema embebido es un sistema basado en un microprocesador que se construye para controlar una función o una serie de funciones y está diseñado para ser programado por el usuario final de la misma manera que un PC. Sí, un usuario puede tomar decisiones relativas a la funcionalidad, pero no puede cambiar la funcionalidad del sistema añadiendo/sustituyendo software. Con un PC, esto es exactamente lo que un usuario puede hacer: un minuto el PC es un procesador de textos y al siguiente es una máquina de juegos, simplemente cambiando el software. Un sistema integrado está diseñado para realizar una tarea concreta, aunque con opciones y de diferentes maneras. Este último punto es importante porque se diferencia del mundo del PC, en el que el usuario final lo reprograma cada vez que se compra y ejecuta un paquete de software diferente. Sin embargo, los PC han proporcionado una fuente fácilmente accesible de hardware y software para los sistemas embebidos y no debería sorprender. No es de extrañar que sean la base de muchos sistemas embebidos.

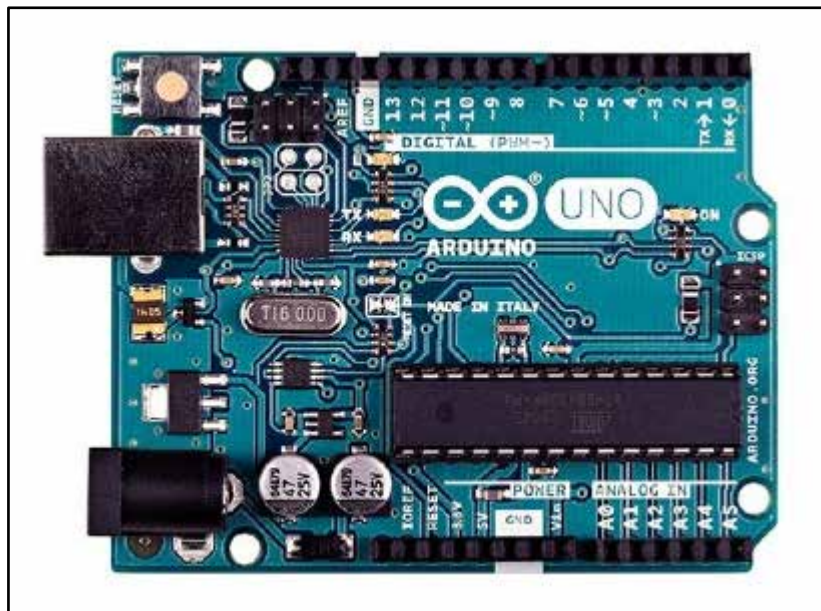
### 2.2.4 Arduino

Garrido (2015) define la plataforma Arduino como una plataforma de prototipado electrónico de hardware libre y placa única. Su diseño original está

basado en la serie de microcontroladores ATmega. Consta de una serie de entradas/salidas digitales y analógicas para múltiples usos. Fue concebido en el Instituto de Diseño de Interacción de Ivrea como una herramienta sencilla para la creación rápida de prototipos, dirigida a estudiantes sin conocimientos de electrónica y programación. Todas las placas Arduino son completamente de código abierto, lo que permite a los usuarios construirlas de forma independiente y eventualmente adaptarlas a sus necesidades particulares. El software también es de código abierto y crece gracias a las contribuciones de usuarios de todo el mundo.

### 2.2.5 Arduino UNO

Para Kurniawan (2015) Arduino/Genuino Uno es una placa de microcontrolador basada en el ATmega328P. Tiene 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales seis pueden utilizarse como salidas PWM), seis entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio (ver figura 3).



**Figura 3.** Frontal de Arduino UNO

Fuente: Kurniawan(2015).

Es el modelo por excelencia y con más usos de las distintas placas desarrolladas por Arduino. La tabla siguiente resume sus componentes(ver figura 4). En el anexo A se puede visualizar su diagrama esquemático:

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje operativo	5V
Voltaje de entrada(recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
Pines digitales E/S	14 (6 de los cuales son PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente continua para pines E/S	20 mA
Corriente continua para pines de 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 2 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad del reloj	16 MHz

**Figura 4.** Especificaciones de Arduino UNO.

Fuente: Kurniawan(2015).

### 2.2.6 Sensores Industriales

Según Creus (2011) en los inicios de la era industrial, la operatoria de los procesos se llevaba a cabo con un control manual de estas variables utilizando sólo

instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos.

Sin embargo, la gradual complejidad con que éstos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al personal de campo de su función de activación física directa en la planta y, al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien en salas aisladas separadas; asimismo, gracias a los instrumentos, ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control manual.

Los instrumentos de medición y de control son relativamente complejos y su función puede comprenderse bien si están incluidos dentro de una clasificación adecuada. Como es lógico, pueden existir varias formas para clasificar los instrumentos, cada una de ellas con sus propias ventajas y limitaciones(ver figura 5).

Se considerarán dos clasificaciones básicas:

Según la función del instrumento.

Según la variable del proceso.

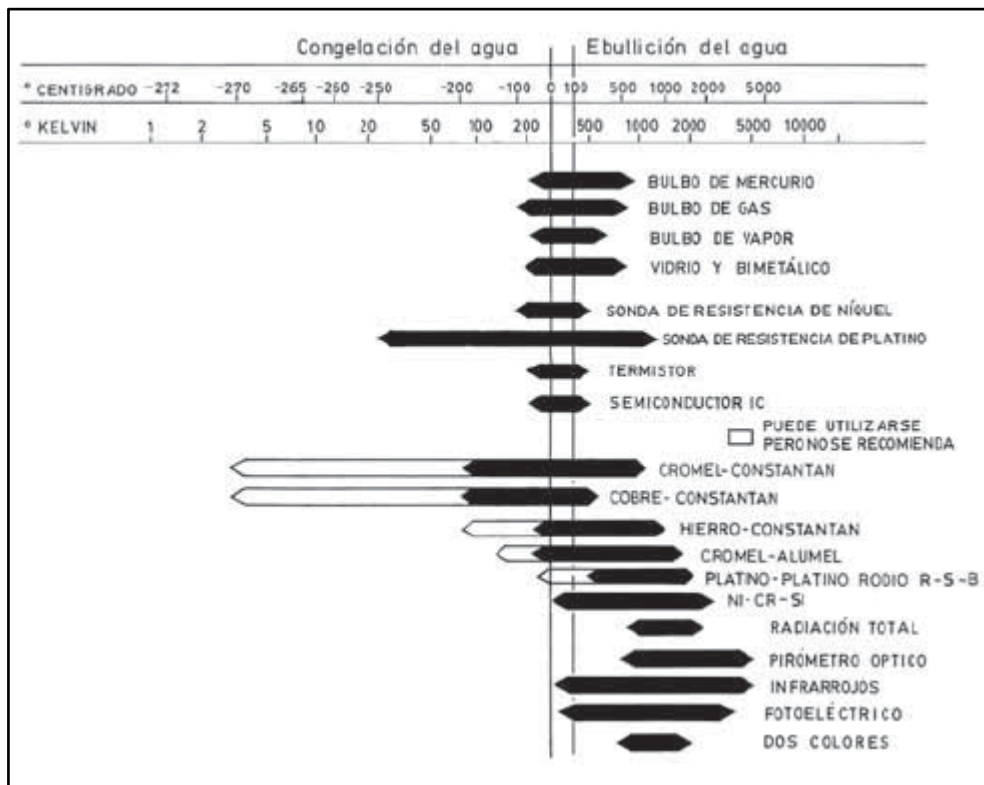


**Figura 5.** Varios tipos de instrumentos.

Fuente: Creus(2011).

### 2.2.7 Sensores de temperatura

Para Creus(2011), la medida de la temperatura es una de las más comunes y de las más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Casi todos los fenómenos físicos están afectados por ella. La temperatura se utiliza, frecuentemente, para inferir el valor de otras variables del proceso(ver figura 6).



**Figura 6.** Campo de medida de los instrumentos de temperatura.

Fuente: Creus(2011).

Existen diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y que son utilizados para medirla:

Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).

Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).

Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).

La f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).

Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

De este modo, se emplean los siguientes instrumentos:

Termómetros de vidrio.

Termómetros bimetálicos.

Elementos primarios de bulbo.

Capilar rellenos de líquido gas o vapor.

Termómetros de resistencia.

Termopares.

Pirómetros de radiación.

Termómetros ultrasónicos.

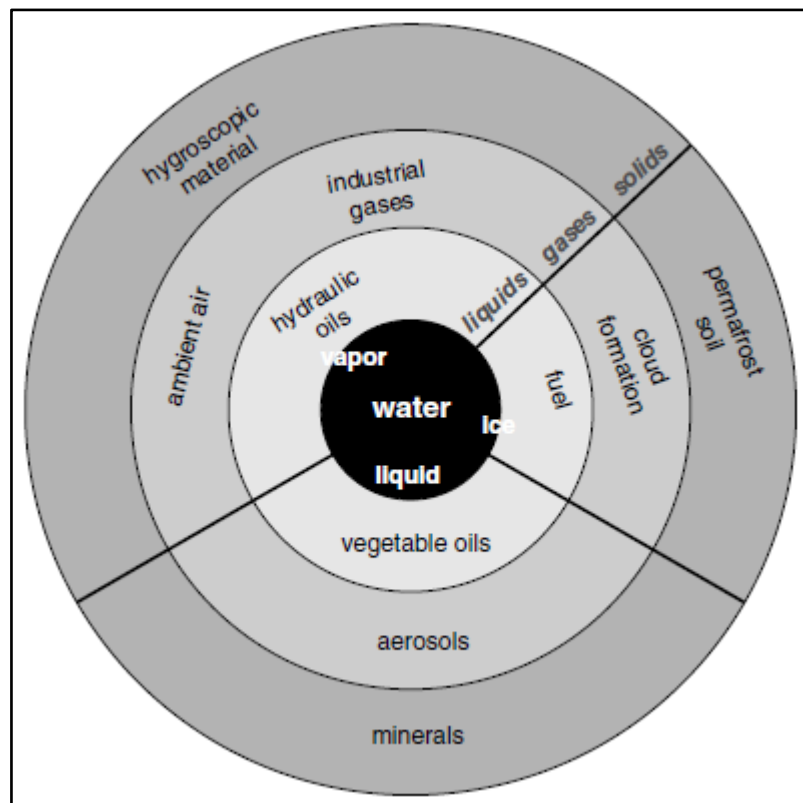
Termómetros de cristal de cuarzo.

### **2.2.8 Sensores de humedad**

Por otra parte, Wernecke,R y Wernecke,J (2014) establecen que para un gran número de procesos industriales y técnicos, la supervisión y el control del contenido de agua en los materiales sólidos, líquidos o gaseosos procesados es una necesidad importante. La correlación y las interacciones del agua y el gas, es decir, el campo de la humedad se describen con precisión mediante las leyes de la termodinámica. El tratamiento teórico de las interacciones del agua en los materiales sólidos es mucho más complejo.

Los materiales a granel son de especial importancia en los procesos de fabricación. Durante el procesamiento, las propiedades adicionales entran en juego, ya que tienen un gran impacto en la medición de la humedad, como la densidad aparente, el tamaño de los granos, las propiedades de flujo, el tamaño de los materiales, etc. El agua en medios sólidos o líquidos puede presentarse en diferentes formas de enlace y estados de agregación. El agua está en constante interacción con

el entorno, que a su vez depende de la presión y la temperatura ambiente. Todo esto debe tenerse en cuenta antes de poder realizar mediciones de humedad significativas. En la práctica, no existe una separación estricta entre los métodos de medición de humedad y los métodos de medición de la cantidad de agua en un medio sólido(ver figura 7).



**Figura 7.** El agua en todos los estados agregados en diferentes materiales.

Fuente:Wernecke,R y Wernecke,J (2014).

Los avances en la medición de la humedad durante las últimas décadas se basan no tanto en el descubrimiento de principios y efectos físicos fundamentalmente nuevos, sino más bien en técnicas establecidas que se han mejorado y desarrollado para ampliar considerablemente su campo de aplicación. La aplicación de fibras ópticas, láseres, nuevos materiales compuestos, el progreso de la litografía de semiconductores y los avances de la nanotecnología y la nanometrología, por nombrar sólo algunos, han dado lugar a una nueva generación

de instrumentos de medición de la humedad. Estos se caracterizan, entre otras cosas, por:

Una gran precisión y exactitud

Un diseño compacto

Bajo consumo de energía eléctrica

La implementación de microprocesadores para el control y el análisis avanzados.

Esto permite la implementación de equipos de medición en aplicaciones que en el pasado, eran demasiado caras o complejas en su realización técnica.

### **2.2.9 Sensores de nivel**

De acuerdo con Creus (2011), en la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales. La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir "inteligencia" en la medida del nivel, y obtener exactitudes en la lectura altas, del orden del  $\pm 0,2\%$ , en el inventario de materias primas o en transformación en los tanques del proceso. El transmisor de nivel "inteligente" hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión. Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y de sólidos, que son dos mediciones claramente diferenciadas (ver figura 8).

Características de los medidores	Categorías de sensores de nivel												
	Tubos de Vidrio	Manómetros	Flotadores / Desplazadores	DP/CELL	Capacitancia	Conductividad	Resistencia	Ultrasonido	Radio Frecuencia	Radioactivo	Térmico	Fotoeléctrico	
PARTES MOVILES	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
SIMPLE/ROBUSTO/CONFIABLE	S	S	N	S	N	N	S	S	S	S	S	S	S
APLICABLE A LIQUIDOS VISCOSOS, Lodos	N	N	N	N	N	N	S	S	N	S	N	S	S
APLICABLES A MATERIALES SECOS	N	N	N	N	S	S	S	S	S	S	N	N	N
NO-METALICO, QUIMICAMENTE RESISTENTE	S	S	N	N	N	N	S	S	N	N	N	S	S
INTRINSICAMENTE SEGURO GRUPOS A,B,C,D,F,G	N	S	N	N	S	S	S	S	S	N	S	S	S
MIDE NIVEL DIRECTAMENTE	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
SENSOR/ MEDIDOR AFECTADO POR													
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL MATERIAL	N	S	S	S	S	S	N	N	S	N	N	S	S
TEMPERATURA DEL MATERIAL	N	S	N	S	S	S	N	SN	?	S	N	S	N
PRESION DEL TANQUE	S	S	N	S	S	S	N	S	N	N	N	N	N
AGITACION	S	N	S	N	N	N	N	S	S	?	N	?	N
ENDOSTRAMIENTO (BUILDUP/COATING)	S	S	S	S	S	S	S	N	?	N	S	S	S
VISCOSIDAD DE MATERIAL	S	S	S	N	S	S	SN	N	N	N	N	N	N
CONDUCTIVIDAD DEL MATERIAL	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N
APLICABLE A TANQUES PEQUEÑOS	S	S	S	S	S	S	S	N	N		N		
PRECISION	B	M	M	M	H	H	H	M	M	M	H	M	M
COSTO RELATIVO	B	M	M	M	M	M	M	M	M	H	M	H	H
PRECISION: H=0.05% A 0.2%; M=0.2% A 1%; B=mayor a 1%													
COSTO RELATIVO: H=alto; M=moderado; B=bajo													

**Figura 8.** Categorías de sensores de nivel.

Fuente: Amaya,E y Goitia,A (1997).

Los medidores de nivel de líquidos trabajan sensando, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática o, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos.

Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal, nivel de flotador, magnético, palpador servo operado y magnetoestrictivo. Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática con:

Medidor manométrico

Medidor de po burbujeo

Medidor de presión diferencial de diafragma

El empuje producido por el propio líquido lo aprovecha el medidor de desplazamiento. Los instrumentos que utilizan las características eléctricas del líquido son:

Medidor resistivo/conductivo

Medidor capacitivo.

Medidor ultrasónico.

Medidor de radar o microondas.

Medidor de radiación.

Medidor láser.

Y los que se basan en otros fenómenos:

Medidor óptico.

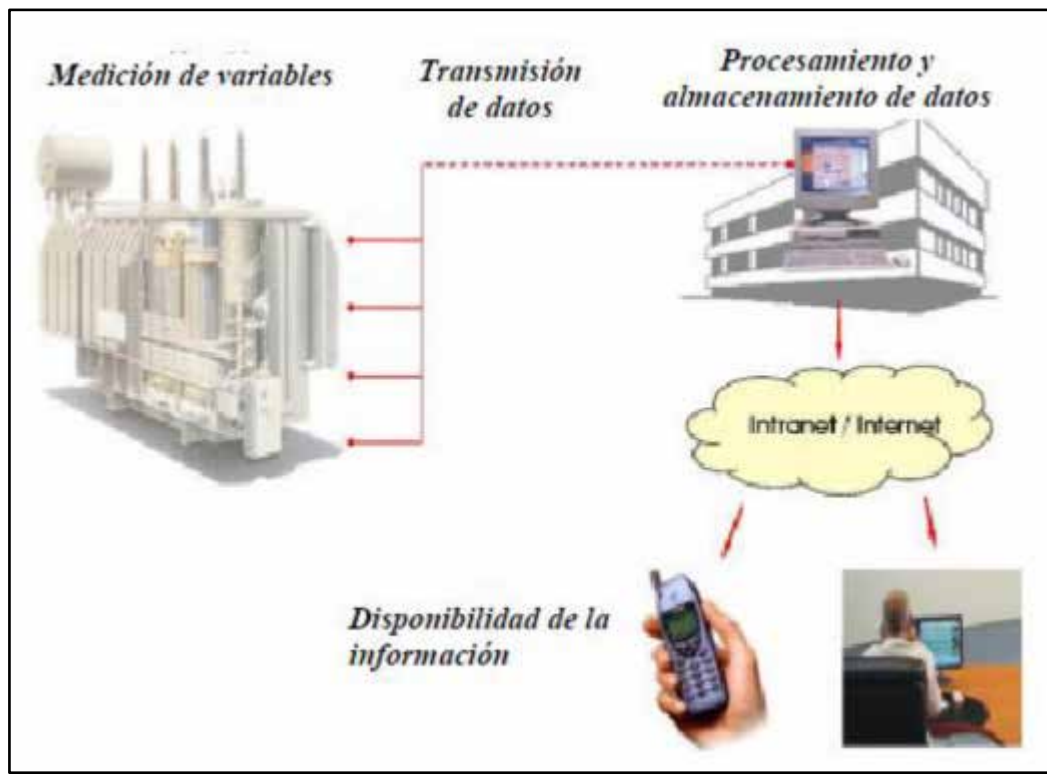
Vibratorio.

Detector de nivel térmico o de dispersión térmica.

#### **2.2.10 Monitoreo de transformadores eléctricos de potencia**

Para Landy (2015), el monitoreo es una manera ordenada o sistemática de adquirir, analizar y utilizar información de un proceso determinado, para realizar un seguimiento permanente al progreso o estado de dicho proceso con la finalidad de que los resultados obtenidos vayan de acuerdo a los objetivos planteados, y para tomar decisiones de gestión. Toda la información adquirida, se visualiza de manera gráfica ya sea mediante pantallas o monitores, de forma remota en campo (ver figura 9).

Las subestaciones eléctricas son parte fundamental para la transmisión y distribución de energía eléctrica hacia los consumidores finales, es por esto que se ve la necesidad de tener un seguimiento constante y obtener información del funcionamiento de los diferentes equipos que componen las subestaciones eléctricas, luego con la información adquirida durante el monitoreo tomar decisiones para cumplir con los programas de operación y mejorar la confiabilidad de las subestaciones, reduciendo así la probabilidad de desabastecimiento de energía eléctrica.



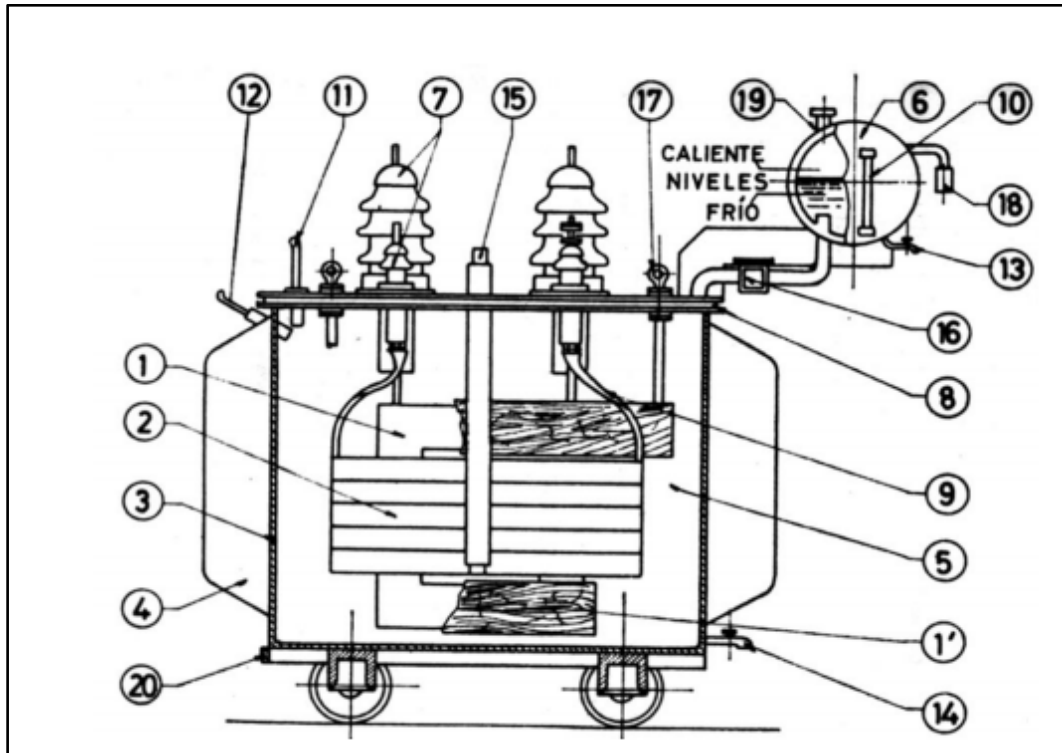
**Figura 9.** Diagrama de sistema de monitoreo.

Fuente: Landy (2015).

### 2.2.11 Transformadores de potencia

De acuerdo con Guidos y Hernandez (2020), un transformador es un dispositivo electromagnético utilizado para aumentar o disminuir una fuerza electromotriz (potencia, tensión eléctrica o voltaje), también se puede utilizar para aislar eléctricamente un circuito. Los transformadores bañados en aceite están en una cubierta llamada cuba que en su interior se encuentra la parte activa del transformador (el núcleo magnético) que se encuentra cubierto de aceite mineral o aceite vegetal, los cuales actúan de aislante eléctrico y refrigerante. El calor generado por la parte activa (núcleo) del transformador se transmite al aceite y este evacua el calor al ambiente a través de la superficie externa de la cuba. Para disipar el calor en algunos casos la cuba posee aletas o radiadores que aumentan la superficie externa. En algunos casos el aceite es refrigerado por otro fluido. A través de un intercambio de calor.

Un transformador de potencia sumergidos en aceite, constan de 20 partes importantes las cuales son(ver figura 10):



**Figura 10.** Partes de un transformador de potencia en aceite.

Fuente: Guidos y Hernandex (2015)

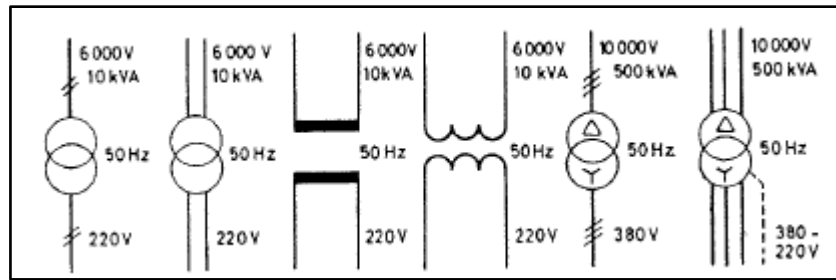
- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| 1. NÚCLEO                  | 11. TERMÓMETRO ACEITE      |
| 2. DEVANADOS               | 12. TERMÓMETRO DEVANADO    |
| 3. CUBA                    | 13. GRIFO DE VACIADO       |
| 4. ALETAS DE REFRIGERACIÓN | 14. GRIFO DE VACIADO(CUBA) |
| 5. ACEITE                  | 15. CAMBIOS DE TENSIÓN     |
| 6. TANQUE DE EXPANSIÓN     | 16. RELÉ BUCHOLZ           |
| 7. AISLADORES              | 17. CÁNCAMOS TRANSPORTE    |
| 8. JUNTA                   | 18. DESECADOR AIRE         |
| 9. CONEXIONES              | 19. TAPON LLENADO          |
| 10. NIVEL DE ACEITE        | 20. PUESTA A TIERRA.       |

### 2.2.12 Tipos de transformadores de potencia

Según Ras (1991), los transformadores pueden estar destinados a transformar potencias de cierta consideración, alimentados por tensión y frecuencia fijas (transformadores de potencia). Pueden usarse en circuitos de la técnica de la comunicación, previstos para trabajar con tensiones y frecuencias diversas (transformadores de comunicación). Otra aplicación consiste en facilitar la conexión adecuada de aparatos de medida o de protección (transformadores de medida). Por los sistemas de tensiones, se clasifican en monofásicos, trifásicos, trifásicos-exafásicos, trifásicos-dodecafásicos, trifásicos-monofásicos, etc. Según aumenten la tensión o la disminuyen, se denominan transformadores elevadores o transformadores reductores (TE y TR). Según el medio ambiente para el que estén preparados, pueden ser transformadores para interior o tipo intemperie. De acuerdo con el elemento refrigerante que requieran, en transformadores en seco, en baño de aceite, con pyraleno (askarel).

Según puedan proporcionar permanentemente su potencia nominal con refrigeración natural o no, se distinguen los transformadores con refrigeración natural de los transformadores con refrigeración forzada. El arrollamiento que recibe la energía activa se llama primario; el que la suministra, secundario. El arrollamiento con mayor tensión recibe el nombre de devanado de alta (AT) o, aunque menos usual, mejor devanado de tensión superior, el de menor tensión es el de devanado de baja (BT) o devanado de tensión inferior. Los conceptos devanado de alta y devanado de baja, no coinciden, necesariamente, con los correspondientes a devanados o arrollamientos primario y secundario. Pueden existir transformaciones alta-alta, baja-baja, alta-baja y baja-alta.

Los principales símbolos para la representación de transformadores son (ver figura 11):



**Figura 11.** Símbolos de representación para transformadores.

Fuente: Ras (2015)

### 2.2.13 Fallas en transformadores de potencia

Para Guidos y Hernandez (2020), las fallas en los transformadores de potencia son una estadística vital para predecir sucesos posteriores a fallas que puedan dejar fuera de servicio al transformador, es indispensable observar las variaciones de parámetros en las pruebas de mantenimiento, una falla en un transformador de potencia es tan importante ya que su costo monetario e importancia para la red eléctrica. Es necesario saber y entender estos cambios.

Ellos definen dos tipos de fallas principales en los transformadores de potencia, relacionadas con el envejecimiento y aleatorios:

**Definición de fallas relacionadas con el envejecimiento:** durante el curso de su vida, un transformador experimentará daños irreversibles cambia su capacidad de servicio y esto se define como el envejecimiento. Debido a la existencia de estos procesos de envejecimiento, las resistencias del transformador disminuyen gradualmente y puede deteriorarse más rápido de lo normal si alguna anomalía o deterioro proceso de deterioro estructural se produce.

**Definición de fallas aleatorias:** los otros tipos de fallas ocurriendo en el tiempo, son los causados por las tensiones aleatorias que exceden accidentalmente las fuerzas de un transformador.

### 2.2.14 Refrigerantes en transformadores de potencia en aceite

Por un lado, Ras (1991) establece que la función del aceite es doble, actúa como aislante y como agente refrigerante (por convección). Su bajo índice

dieléctrico relativo motiva a que tienda a rebajarlos gradientes de tensión de los aislantes sólidos con los que trabaja en serie.

Los aceites para transformadores son de naturaleza mineral. Proceden de la destilación fraccionada de petróleos, a la que sigue un proceso de refinado. La composición química depende de la procedencia. Básicamente se trata de una mezcla compleja de hidrocarburos. Por lo expuesto, se comprende que resulte difícil, y que carezca de valor práctico, su análisis químico. Ciertamente, y según proporciones de unas u otras moléculas, se habla de aceites con base parafínica o aromática. La rigidez dieléctrica de los aceites usados es del orden de los 200 kV/cm. Pequeñas cantidades de agua (humedad) o de impurezas, hacen descender aquel valor una décima parte y aun menos. De ahí la importancia de su vigilancia y conservación.

El aceite experimenta un proceso de envejecimiento. Significa que, con el tiempo, se altera, se oxida, forma productos ácidos y puede llegar a crear lodos. Contribuyen factores varios, siendo los principales: el aire (el oxígeno), temperaturas (sobrecargas, calentamientos locales, entre otros), la luz y las radiaciones ultravioletas. Con el envejecimiento, el aceite empeora en cuanto a características aislantes y refrigerantes, llegando a resultar inservible. Para alargar el proceso, modernamente se emplean, en ocasiones, productos químicos inhibidores. La buena conservación del aceite implica evitar sobrecargas fuertes o prolongadas, desecadores inutilizados (saturados), refrigeraciones inadecuadas (temperaturas ambientales excesivas, cantidades de refrigerante insuficientes). En el anexo B se pueden observar diferentes hojas técnicas de aceites para transformadores de potencia. Las características principales de un aceite nuevo según la recomendación VDE 0370/10.66, son (ver figura 12) :

<b>Densidad</b>	a 15 °C, valor máximo 0,890 a 20 °C, valor máximo 0,887
<b>Viscosidad</b>	a 20 °C, valor máximo 30 c St a – 30 °C, valor máximo 1 800 c St
<b>Punto de inflamación</b>	valor mínimo 140 °C
<b>Cenizas</b>	inapreciables
<b>Azufre corrosivo</b>	exento
<b>Indice de neutralización</b>	inapreciable
<b>Indice de saponificación</b>	valor máximo 0,10 mg KOH/g de aceite.

**Figura 12.** Características de un aceite nuevo.

Fuente: Ras (2015)

En relación con lo anterior, Guidos y Hernandez (2020) establecen que el tipo de refrigeración de un transformador se designa mediante cuatro letras, según la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI). Las dos primeras se refieren al refrigerante primario la que está en contacto con su parte activa (Núcleo) y las últimas dos se refieren al refrigerante secundario. De cada par de letras, la primera indica de qué tipo de fluido se ocupará para enfriar y la segunda señala su modo de circular(ver figura 13).

Tipo de fluido	Símbolo	Tipo de circulación	Símbolo
Aceite Mineral	O	Natural	N
Pyraleno	L	Forzada	F
Gas	G		
Agua	W		
Aire	A		
Aislante sólido	S		

**Figura 13.** Nomenclatura para refrigeración de transformadores de potencia.

Fuente: Guidos y Hernandex (2015)

### **2.3 Bases legales**

A continuación, se presenta el marco legal que sustenta la estructura jurídica de la presente investigación. Según Palella (2010), se refiere a las bases legales "como las normativas jurídicas que sustenta el estudio desde la carta magna, las leyes orgánicas, las resoluciones, decretos, entre otros".

Podemos resaltar el artículo 110 la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), el cual reconoce y garantiza el desarrollo de la ciencia para la comunidad:

“El Estado reconocerá el interés público de la ciencia, la tecnología, el conocimiento, la innovación y sus aplicaciones y los servicios de información necesarios por ser instrumentos fundamentales para el desarrollo económico, social y político del país, así como para la seguridad y soberanía nacional. Para el fomento y desarrollo de esas actividades, el Estado destinará recursos suficientes y creará el sistema nacional de ciencia y tecnología de acuerdo con la ley. El sector privado deberá aportar recursos para las mismas. El Estado garantizará el cumplimiento de los principios éticos y legales que deben regir las actividades de investigación científica, humanística y tecnológica. La ley determinará los modos y medios para dar cumplimiento a esta garantía.”(p. 16).

Además, se evalúa el soporte legal en la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación en su artículo 21, el cual dicta:

“La autoridad nacional con competencia en materia de ciencia, tecnología, innovación y sus aplicaciones creará mecanismos de apoyo, promoción y difusión de invenciones e innovaciones populares, que generen bienestar a la población o logren un impacto económico o social en la Nación.”(p. 27).

### **2.4 Definición de términos básicos**

Los términos básicos son los conceptos o definiciones básicos clave que conforman el trabajo investigado. Según Tamayo (2004), la definición de términos básicos "es la aclaración del sentido en que se utilizan las palabras o conceptos empleados en la identificación y formulación del problema.". Por esto, se elabora una lista o glosario de los términos principales del problema formulado,

**Adquisición de datos:** Se define como el proceso que recolecta muestras de señales del mundo real para su posterior procesamiento y uso por máquinas o sistemas computarizados.

**Código Abierto:** Modelo de desarrollo de software y/o hardware basado en la colaboración abierta. Se enfoca en los beneficios prácticos de hacer público el acceso al código fuente de un software y/o al diseño del hardware.

**Dieléctrico:** es todo material caracterizado por la formación de dipolos eléctricos en su interior a nivel molecular. Son muy poco conductores (prácticamente aislantes) por los cuales tienen muchos usos prácticos.

**Embebido:** Elemento que fue diseñado para realizar una o pocas funciones dedicadas, generalmente dentro de un sistema computacional en tiempo real.

**Humedad:** es la cantidad de vapor de agua en el aire. Es la característica más variable de la atmósfera.

**Monitoreo:** el proceso sistemático de adquirir, procesar y emplear información para hacer seguimiento al desarrollo de un determinado proceso o conjunto de eventos con una finalidad específica.

**Nivel de tanque:** corresponde al nivel de material, generalmente líquido, que se almacena en un recipiente determinado, por ejemplo, un tanque. Dicha variable se emplea para conocer la cantidad determinada de material existe en el recipiente.

**Refrigeración:** es el proceso por el cual se consigue la disminución de la temperatura del cuerpo a través de la transferencia de calor. Dicha transferencia puede ocurrir por convección, radiación y contacto.

**Sistema de control:** Sistema encargado de gestionar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otros dispositivos o sistemas mediante lazos de

control. Pueden existir sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado, depende del requerimiento de control.

**Sensor:** Es un dispositivo que mide la entrada física de su entorno y la convierte en datos que pueden ser interpretados por un ser humano o una máquina. Según la señal entregada, los sensores pueden ser de tipo eléctricos, neumáticos, hidráulicos, entre otros.

**Transductor:** es un dispositivo que convierte la energía de una forma a otra. Por lo general, un transductor convierte una señal con un tipo de energía a otra señal con otro tipo de energía distinta a la original

**Transformador de potencia:** es una máquina eléctrica estática que se utiliza en subestaciones para realizar la transformación de energía en media y alta tensión haciendo uso del electromagnetismo. Aprovecha los principios físicos para modificarlos niveles de voltaje y/o corriente manteniendo la potencia eléctrica entregada.

**Temperatura:** La temperatura es una medida objetiva de lo caliente o frío que se encuentra un objeto. Es un medio para determinar la energía interna contenida en un sistema determinado.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Según Tamayo (2004), define al marco metodológico como “Un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento”, dicho conocimiento se adquiere para relacionarlo con las hipótesis presentadas ante los problemas planteados”. En este mismo orden de ideas, todo marco metodológico de una investigación, define el uso de métodos, técnicas, instrumentos, estrategias y procedimientos a utilizar en dicho estudio.

#### **3.1 Tipo de la Investigación**

Tomando en cuenta la naturaleza de la presente investigación, dicho trabajo se encuentra en la categoría de proyecto factible, ya que tiene como objetivo el diseño de un dispositivo electrónico para la medición de las variables temperatura, humedad y nivel de aceite en el transformador de la subestación eléctrica de la empresa CVG Alucasa C.A en Venezuela.

Según el Manual de Tesis de Grado y Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Libertador, (2006), plantea que un proyecto factible:

“Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos y necesidades de organizaciones o grupos sociales que pueden referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos, o procesos. El proyecto debe tener el apoyo de una investigación de tipo documental, y de campo, o un diseño que incluya ambas modalidades”(p. 16).

En esta perspectiva, se toma en cuenta dicha modalidad, debido a que el objetivo general del actual trabajo es diseñar un dispositivo electrónico con características determinadas para su futura implementación, por lo cual se limita solo al diseño y no a la concepción de un resultado tangible.

### **3.2 Diseño de la Investigación**

En cuanto al diseño de la presente investigación, se basa en una investigación de campo, ya que los datos para el diseño del dispositivo y la información sobre las variables a medir serán recogidos directamente del área de trabajo, en este caso el área donde se encuentran el transformador en el recinto de la empresa CVG Alucasa C.A en Venezuela.

La Universidad Pedagógica Libertador (2006) expresa:

“Se entiende por Investigación de Campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios”. (p.17)

### **3.3 Nivel de la Investigación**

El nivel de la investigación busca definir la profundidad con la que se aborda la misma, siendo los posibles tipos de nivel: de nivel explicativo, de nivel exploratorio y de nivel descriptivo.

Según Arias (2012), establece que:

“La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere”. (p. 24)

De acuerdo con lo anteriormente dicho, la presente investigación tiene un nivel descriptivo.

### **3.4 Población y Muestra**

La población representa todas las unidades de la investigación que se estudia de acuerdo a la naturaleza del problema, es decir, la suma total de las unidades que se van a estudiar, las cuales deben poseer características comunes dando origen a la investigación. Según Arias (2012), señala que “es el conjunto de elementos con características comunes que son objetos de análisis y para los cuales serán válidas las conclusiones de la investigación”.

Para el presente trabajo, la población está formada por el conjunto de dispositivos de adquisición de datos necesarios para resolver la problemática de la subestación eléctrica de la empresa CVG Alucasa C.A en Venezuela.

Por otra lado, la muestra es una parte de la población, o sea, un número de individuos u objetos seleccionados científicamente, cada uno de los cuales es un elemento del universo. Según Balestrini(2006), la muestra “es obtenida con el fin de investigar, a partir del conocimiento de sus características particulares, las propiedades de una población”.

En la presente investigación la muestra son los dispositivos para la medición de temperatura, humedad y nivel.

### **3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Según Tamayo (2004), define que una técnica de recolección de datos “es la forma de expresión operativa del diseño de investigación y que especifica concretamente cómo se hizo la investigación”. Por otro lado, Arias (2012) expresa que las técnicas de recolección de datos “son las distintas formas o maneras de obtener la información”. Al respecto, para obtener la información en el campo donde se presenta el problema se utilizará como técnicas la observación directa y la entrevista.

Por otro parte, Arias (2012) expresa que “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. Por lo tanto, son aquellos que le

permiten al investigador poder medir u observar variables físicas de interés para realizar todo lo relacionado con el fenómeno a estudiar.

En el presente trabajo de grado, se utilizará como instrumentos la lista de cotejo y una entrevista estructurada realizada a un especialista del área.

### **3.6 Fases Metodológicas**

#### **Fase I: “Diagnosticar la situación actual del transformador en las subestaciones eléctricas de la empresa CVG Alucasa”**

Para esta primera fase es necesario evaluar las condiciones actuales del transformador de potencia tensión que presta servicio en la empresa CVG Alucasa. Se realizará una visita técnica a la empresa CVG Alucasa, donde se diagnosticara la condición del transformador de potencia, así como también se aplicará una entrevista estructurada a el especialista de la subestación eléctrica, con la finalidad de obtener información desde la perspectiva del personal que interactúa con los transformadores.

#### **Fase II: “Identificar los puntos críticos asociados a la variables temperatura, humedad y nivel de aceite en el transformador de 10 MVA de la sub estación eléctrica de la empresa CVG Alucasa”**

En este apartado, se analiza profundamente los parámetros que permitirán establecer los puntos de medición en cuanto a las magnitudes físicas asociadas a las variables de proceso. De esta manera, al momento de realizar el diseño del dispositivo electrónico, se tomará en cuenta que es un “estado óptimo” y un “estado deficiente” para que el operario que utilice dicho dispositivo pueda atender las necesidades del mismo.

Para esto es necesario:

Análisis de los sensores de temperatura existentes para su posterior selección

Análisis de los sensores de humedad existentes para su posterior selección

Análisis de los sensores de nivel existentes para su posterior selección

Análisis de los componentes electrónicos necesarios para el diseño

Evaluación de los posibles arreglos circuitales para el diseño

**Fase III: “Diseñar un dispositivo electrónico para la medición de las variables temperatura, humedad y nivel de tanque del transformador de la subestación eléctrica de la empresa CVG Alucasa C.A”**

Al tener conocimiento de todo aquello que se requiera y se deba mejorar del proceso, se procederá a la etapa de diseño, donde se incorporen todos los factores determinados en la fase II y se realizarán tanto los planos como especificaciones correspondientes al sistema.

**Fase IV: “Evaluar la factibilidad técnica, operativa, económica y ambiental para la implementación de la propuesta”**

Por último, también se realizará un estudio a profundidad del modelo para evaluar su factibilidad, mediante la evaluación del mismo y una entrevista a un experto para certificar dicha factibilidad.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de las cuatro fases metodológicas establecidas para concretar trabajo de investigación, las mismas tienen correspondencia con los objetivos específicos del estudio, facilitando la materialización y ejecución de actividades que permitieron cumplir con el objetivo general que se planteó.

#### **4.1 Fase I: “Diagnóstico de la situación actual del transformador en las subestaciones eléctricas de la empresa CVG Alucasa”**

##### **4.1.1 Observación Directa**

En la primera fase, se realizó una visita a la planta de la empresa CVG Alucasa. Se observó que el suministro de energía eléctrica se realiza a través de una subestación de nivel 34,5 KV a 13,8 kv con un grupo de transformadores de potencia de 2 x 10 MVA. En el apéndice A se pueden observar imágenes del transformador y el recinto de la subestación. Es de notar que para el presente estudio se tomará el transformador 1. La subestación está compuesta por 9 celdas o interruptores marca SIEMENS que permiten distribuir en media tensión a las siguientes zonas: Nave A, Laminador Primario, Nave B, Laminador Intermedio, Nave G, Laminador 11-NaveC. La sub estación está diseñada para que los transformadores compartan la carga de la planta, actualmente solo el transformador 2 trabaja y asume la carga total. En la inspección de campo, se observa que existen los siguientes instrumentos en el transformador: termómetro de bulbo y capilar para las zonas de cuba y núcleo del transformador, estos están operativos. Medición de nivel de lectura directa del tipo electromagnético, este dispositivo se encuentra en mal estado y por último no existe medición de humedad en el transformador.

En el apéndice B se puede visualizar la lista de cotejo realizada al ingeniero de sistemas eléctricos de potencia para evaluar las condiciones actuales en que se realiza el monitoreo del transformador. Al implementar dicho instrumento dio como

resultado el nivel de desempeño insuficiente, cumpliendo solamente el criterio de funcionalidad.

#### 4.1.2 Entrevista semi-estructurada a ingeniero encargado.

Con la finalidad de precisar de una manera óptima la situación actual del transformador de la empresa CVG Alucasa C.A y así diagnosticar mejor sus necesidades para la elaboración de la presente investigación, se elabora una entrevista estructurada al ingeniero de sistemas eléctricos de potencia. Los datos críticos de la entrevista se muestran a continuación (ver cuadro 1).

**Cuadro 1.** Primera entrevista estructurada al ingeniero de sistemas eléctricos de potencia.

Pregunta	Respuesta
Pregunta N°1: ¿Cómo se mide la variable de temperatura en el transformador de la subestación?	Termómetros de bulbo
a: ¿Por qué es importante el monitoreo de esta variable?	Para evitar daños al bobinado del transformador
b: ¿Recomienda usted algún sensor específico y/o de algún tipo en especial?	Sugiero un termopar
c: ¿En qué parte del transformador será realizada la medición?	En la cuba y núcleo
Pregunta N°2: ¿Cómo se mide la variable de humedad en el transformador de la subestación?	No existe medición de esa variable
a: ¿Por qué es importante el monitoreo de esta variable?	La humedad ocasiona daños destructivos a los transformadores
b: ¿Recomienda usted algún sensor específico y/o de algún tipo en especial?	Sin conocimiento
c: ¿En qué parte del transformador será realizada la medición?	Núcleo del transformador
Pregunta N°3: ¿Cómo se mide la variable de nivel de tanque del aceite presente en el transformador de la subestación?	Sensor tipo visor electromagnético

a: ¿Por qué es importante el monitoreo de esta variable?	El aceite es refrigerante del equipo su ausencia ocasiona pérdidas de aislamiento
b: ¿Recomienda usted algún sensor específico y/o de algún tipo en especial?	No se recomienda
c: ¿En qué parte del transformador será realizada la medición?	Tanque de aceite
Pregunta N°4: ¿Cómo se necesita presentar al operador las mediciones?	De manera visual en una pantalla

Elaborado por: Ochoa A (2021).

Según la entrevista anterior, se pueden extraer varias conclusiones/puntos relevantes que ayudarán en el desarrollo de la presente investigación. Primero, se evidencia como la temperatura es medida de forma analógica y mostrada directamente en el sitio donde es medida, lo cual hace imposible su traslado o transmisión de una forma más óptima para que su monitoreo sea más eficiente. Segundo, no existe una medida para la humedad presente en el aceite, la cual lo degrada y hace que varias de sus funciones, como la de generar un aislamiento, se vean comprometidas, poniendo en peligro la integridad física y operacional del transformador. Por último, la medición de nivel de aceite se realiza igual que la de temperatura de forma analógica y en el sitio, lo que dificulta su seguimiento para predecir y prevenir fallas que puedan dejar al transformador fuera de operación. Además, para facilitar la lectura de las variables se mostrarán a través de una interfaz de usuario por pantalla para facilitar su lectura.

#### **4.2 Fase II: “Identificación de los puntos críticos asociados a la variables temperatura, humedad y nivel de aceite en el transformador de 10 MVA de la sub estación eléctrica de la empresa CVG Alucasa”**

Para la presente fase, se utiliza la información obtenida en la Fase I de la presente investigación y se procederá realizar una segunda encuesta para determinar a fondo las necesidades de los sensores a emplear en el diseño.

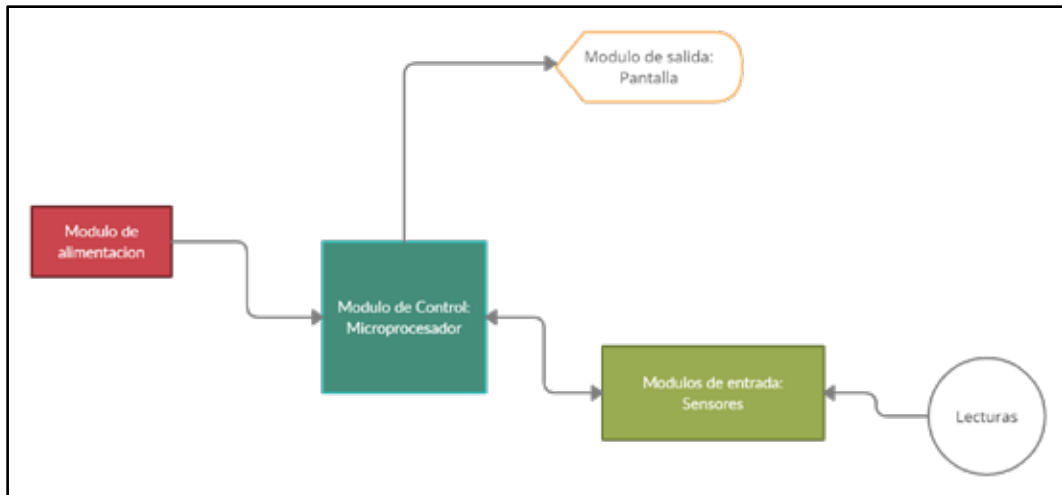
**Cuadro 2.** Segunda entrevista estructurada al ingeniero de sistemas eléctricos de potencia.

Pregunta	Respuesta
Pregunta N°1: ¿Cuál es la temperatura de operación del transformador?	55 C°
Pregunta N°2: ¿Cuál es el rango de operación del tanque de aceite del transformador?	No posee escala solo nivel mínimo, medio y máximo
Pregunta N°3: ¿Cuál es el rango de operación de la humedad presente en el aceite del transformador?	No hay medidor de humedad
Pregunta N°4: ¿Qué impedimentos ambientales y físicos existen para los sensores en el medio?	No hay
Pregunta N°5: Con respecto a la pregunta anterior ¿Cómo se podrían solucionar estos impedimentos?	No aplica

Elaborado por: Ochoa A (2021).

Según la entrevista anterior, se pueden extraer varias conclusiones/puntos relevantes que ayudarán en el desarrollo de la presente investigación. Primero, se evidencian como se censan las variables actualmente en el transformador, lo cual hay que tener en cuenta para optimizar su lectura y facilitar la tarea del operario. Por último, se observa que no hay impedimentos en el ambiente que puedan obstaculizar la tarea de medición.

Con respecto a lo anteriormente dicho, se diseñará un sistema de adquisición de datos compuesto por módulos o bloques cuyos componentes forman una parte esencial del dispositivo total. Estos módulos serán principalmente (sin dejar por fuera la posibilidad de mejoras y/o expansiones con más funcionalidades) en su totalidad cuatro, los cuales serán un módulo de control, un módulo de salida tipo interfaz usuario, un módulo de alimentación y un módulo de entrada más los componentes periféricos necesarios (ver figura 14).



**Figura 14.** Diagrama representativo de bloques de los módulos del dispositivo.

Fuente: Ochoa, A (2021).

Por lo tanto, primero se procede a determinar la estructura de los módulos que van a constituir al dispositivo. Segundo, se procede a la evaluación y selección de los sensores adecuados que cumplan con las condiciones necesarias para el módulo de entrada. Por último, se determinan los componentes para los demás módulos y se hace una lista de los posibles componentes necesarios.

#### **4.2.1 Evaluación y estructuración de los diagramas circuitales que conforman el diseño por bloques o módulos**

##### **4.2.1.1 Módulo de alimentación**

El módulo de alimentación es el encargado de convertir la energía de tipo AC a energía DC, para la energización de todos los demás módulos y componentes que trabajan con corriente directa. Se necesitan dos módulos, uno para energizar el Arduino y otro para energizar los sensores que así lo requieran(ver figura 15).



**Figura 15.** Diferentes tipos de fuentes AC-DC.

Fuente: TecnoConciencia(2021).

#### 4.2.1.2 Módulo de salida

El módulo de salida se encarga de mostrar las variables medidas de manera gráfica y evidenciar el estado de monitoreo de la máquina a la cual el sensor le está haciendo el seguimiento, permitiendo al operario saber las condiciones de trabajo de la misma(ver figura 16 y 17).



**Figura 16.** Diferentes tipos de pantallas LCD.

Fuente: TecnoConciencia(2021).



**Figura 17.** Controlador de comunicación I2C.

Fuente: TecnoConciencia(2021).

#### 4.2.1.3 Módulo de entrada

Nos referimos al módulo de entrada como los sensores de temperatura, humedad y nivel de aceite con sus respectivas conexiones y circuitos necesarios para la protección de la señal censada contra de interferencia externas, por lo cual sus lecturas sean precisas y exactas(ver figura 18).



**Figura 18.** Diferentes tipos de sensores industriales.

Fuente: Vaisala(2021).

#### 4.2.1.4 Módulo de control

El módulo de control está conformado por el microcontrolador encargado de procesar los datos. Para el presente diseño se realizará una tabla comparativa con tres opciones que pueden ser de gran ayuda para el diseño.

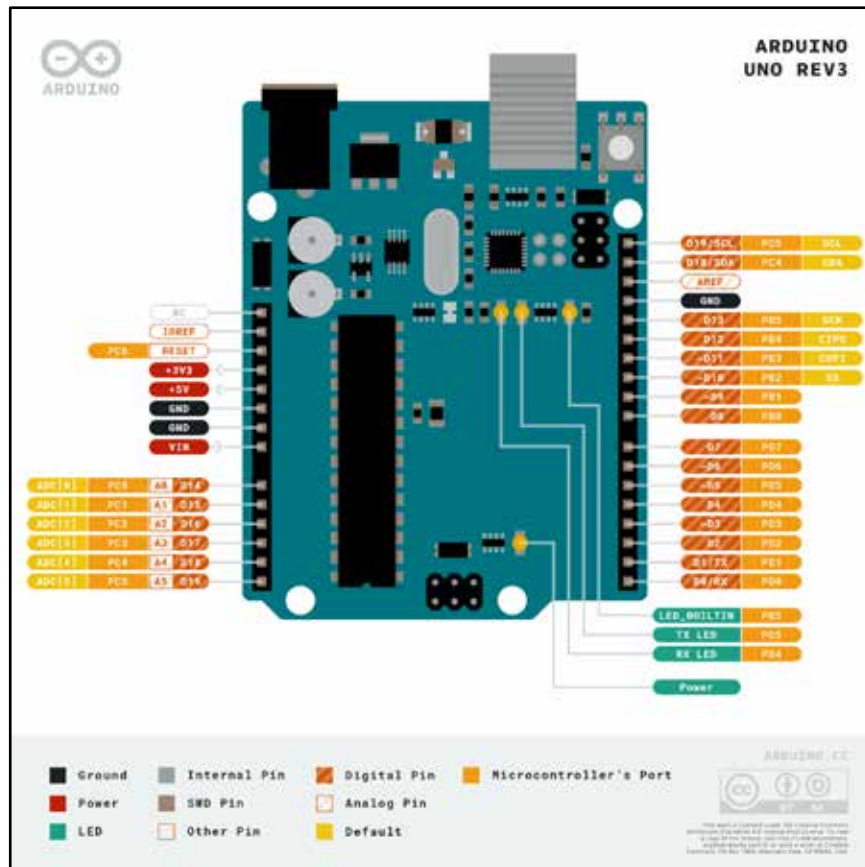
**Cuadro 3.** Cuadro comparativo para la selección del controlador.

Controlador	Descripción	Ventajas	Desventajas
<b>Arduino UNO R3</b>	Es una placa de desarrollo de hardware libre basada en el chip ATmega328P. Posee pines de lectura analógicos, entradas y salidas digitales, entradas y salidas PWM. Además, hay una extensa variedad de módulos (sensores, actuadores, entre otros) individuales que expanden sus funcionalidades.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tiene gran variedad de aplicaciones</li> <li>•Es económica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•No es útil para sistemas complejos</li> <li>•Tiempos de respuesta medio en comparación a otras placas</li> </ul>
<b>NodeMCU</b>	Es una placa de desarrollo basada en el chip ESP8266. Posee varias utilidades, aunque la más notable es que viene con un módulo de comunicación WiFi integrado, haciéndola ideal para aplicaciones de tipo IoT (internet de las cosas, por sus siglas en inglés).	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Posee un módulo de comunicación WiFi integrado</li> <li>•Muy económica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Posee pocos periféricos en comparación a otras placas</li> <li>•Trabaja a 3,3 V</li> </ul>
<b>STM32</b>	Es una placa de desarrollo basada en las arquitecturas 32-bit RISC ARM Cortex-MX. Comparada con otras placas, esta posee gran nivel de procesamiento y velocidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alta velocidad de procesamiento</li> <li>•Ideal para sistemas complejos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Su programación es compleja</li> <li>•La documentación sobre su programación es escasa</li> </ul>

Elaborado por: Ochoa A (2021).

Según lo observado en el cuadro 3, se puede concluir que la mejor opción es la placa Arduino UNO R3. Primero, es económica y muy versátil a la hora de utilizarla. Segundo, posee una extensa variedad de periféricos que pueden expandir sus funcionalidades, desde sensores de todo tipo hasta módulos de comunicación.

Por último, la comunidad que desarrollo módulos, componentes y código para la placa es muy extensa y con una vasta documentación, permitiendo así a los proyectos desarrollados su sostenibilidad y mantenimiento a largo plazo En la figura 19 se evidencia el diagrama de pines de salida de la placa de desarrollo Arduino UNO R3.



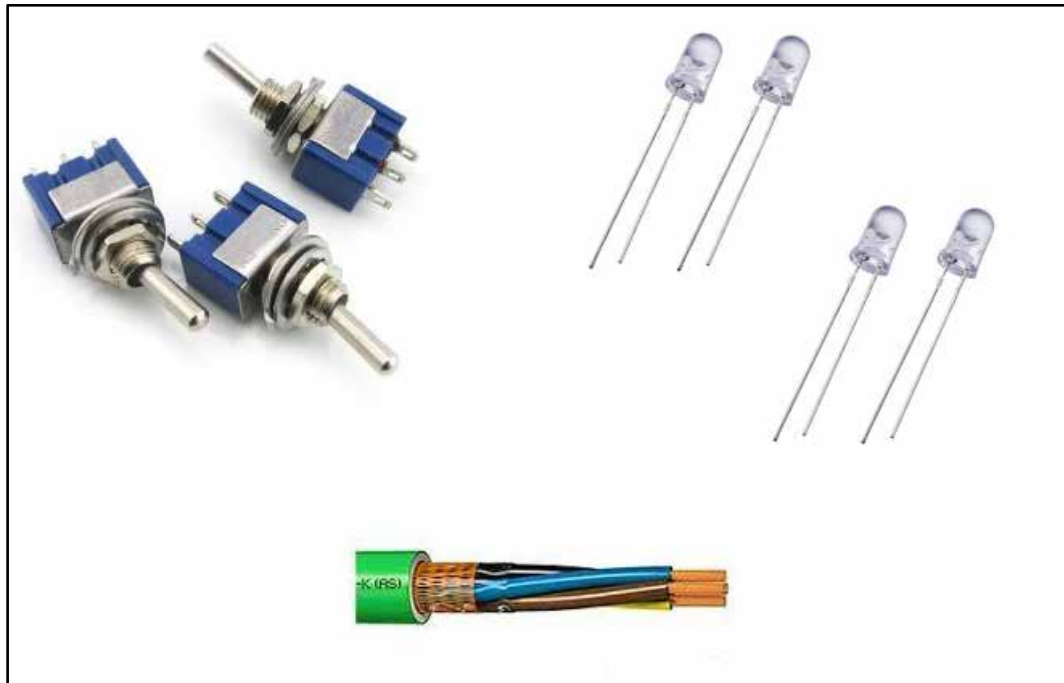
**Figura 19.** Diagrama de pines de salida de la placa Arduino UNO R3.

Fuente: Arduino(2021).

#### 4.2.1.5 Perifericos

Se utilizarán varios componentes electrónicos y materiales necesarios para el diseño. Se utilizaran dos switch(uno por cada fuente de energía) para cortar la energía del dispositivo y los sensores de medición cuando estos no estén en uso. Por otro lado, se utilizara un led de color verde que indique el correcto fucionamineto del controlador. Por último, se emplearán cables de control(ver figura 20) para

transportar la información desde el lugar de medición hasta donde se instalará el dispositivo.



**Figura 20.** Varios componentes electrónicos.

Fuente: TecnoConciencia y CablesSRCTa(2021).

#### 4.2.2. Evaluación y selección de los sensores de temperatura, humedad y nivel de aceite haciendo uso de un cuadro comparativo

##### 4.2.2.1 Sensor de temperatura

**Cuadro 4.** Cuadro comparativo para la selección del sensor de temperatura

Tipo de sensor	Principio de funcionamiento	Ventajas	Desventajas
<b>Termistor</b>	Se aprovecha del efecto de la variación de la resistencia de un material semiconductor determinado, variando en consecuencia de los cambios de temperatura percibidos. Pueden existir dos tipos , de coeficiente de temperatura positivo(a mayor temperatura mayor resistencia) y de coeficiente negativo(a mayor temperatura menor resistencia).	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Son buenos reaccionando a cambios instantáneos de temperatura</li> <li>•Son económicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Poseen rangos muy pequeños de temperatura</li> <li>•Su relación resistencia-temperatura tiene una linealidad muy pobre</li> </ul>

<b>Termopar (Termocupla)</b>	Su funcionamiento se basa en el efecto Seebeck, el cual ocurre en la unión de dos metales de naturaleza diferente expuestos a una variación de temperatura, resultando en una variación de voltaje proporcional a la temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Son robustos y económicos</li> <li>•Resisten altos niveles de temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Generan bajas tensiones</li> <li>•Linealidad mediana</li> </ul>
<b>Por resistencia (RTD)</b>	Su principio de funcionamiento depende de la variación de la resistencia a medida que varía la temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Linealidad razonable</li> <li>•Variaciones muy estables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tiempo de reacción muy lento</li> <li>•Poseen rangos medianos de temperatura</li> </ul>

Elaborado por: Ochoa A (2021).

Evaluando el cuadro comparativo anteriormente presentado, la opción más óptima y eficiente para el presente diseño debido a las temperaturas manejadas, a la labor de monitoreo y la robustez necesaria del sensor, será un termopar. Existen diferentes tipos de termopares dependiendo de los metales empleados para diferentes aplicaciones, por ejemplo, el termopar tipo J se puede utilizar para dicha aplicación. Además, se puede tener en cuenta la adición de un termopozo, el cual sirve para proteger la sonda de medición y así prolongar su vida útil. En el anexo C se pueden observar ejemplos de diferentes fabricantes.

#### 4.2.2.2 Sensor de humedad

**Cuadro 5.** Cuadro comparativo para la selección del sensor de humedad

<b>Tipo de sensor</b>	<b>Principio de funcionamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Capacitivo</b>	Su principio de funcionamiento depende de la variación de la constante dieléctrica del medio en consecuencia de la humedad presente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Resistentes a altas temperaturas</li> <li>•Se pueden utilizar en muchas aplicaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Precisión mediana</li> <li>•Costos altos</li> </ul>
<b>Resistivo</b>	Su funcionamiento se basa en medir la variación de resistencia debido a la humedad. Se realiza la medición entre dos conductores utilizando el medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Su construcción es sencilla</li> <li>•Muy buena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sensibles a contaminación</li> <li>•Depende de la</li> </ul>

	donde se quiere realizar la medición de humedad como “camino”, logrando medir la resistencia en función de la humedad del mismo.	precisión	temperatura presente en el ambiente
--	--	-----------	-------------------------------------

Elaborado por: Ochoa A (2021).

Evaluando el cuadro comparativo anteriormente presentado, la opción que más se ajusta para el presente diseño es el sensor capacitivo, ya que se quiere saber su humedad presente en el aceite por varios motivos. Primero, el exceso de agua presente en el aceite disminuye la rigidez dieléctrica. Por último, la contaminación del aceite con humedad hace que su vida útil sea más corta, acortando el tiempo entre intervalos de mantenimiento y reemplazo. En el anexo D se pueden observar ejemplos de diferentes fabricantes.

#### 4.2.2.3 Sensor de nivel

**Cuadro 6.** Cuadro comparativo para la selección del sensor de nivel

Tipo de sensor	Principio de funcionamiento	Ventajas	Desventajas
<b>Ultrasónico</b>	Su funcionamiento se basa en el uso de las ondas sonoras. Se emiten cierta cantidad de ondas sonoras y se determina el tiempo que tardan en regresar al receptor ubicado cerca del emisor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Buen desempeño en ambientes húmedos</li> <li>•Velocidad de respuesta moderada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Son susceptibles a fluctuaciones de viento(partículas en el aire)</li> <li>•Mediciones erróneas en medios de líquidos espumosos</li> </ul>
<b>Capacitivo</b>	Su funcionamiento consiste en detectar la variación en la capacitancia que se forma al posicionar un objeto cerca del frente del sensor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Detección sin contacto</li> <li>•Respuesta a la variación rápida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Calibración tediosos para medios no conductores</li> <li>•Mediciones inexactas en presencia de constantes dieléctrica son homogéneas</li> </ul>
	Su funcionamiento se basa en el uso	•Alta inmunidad a	•Dependen de la

<b>Óptico difuso</b>	de la luz. Se emite un haz de luz y se determina el tiempo que el objeto tarda en reflejar al receptor ubicado cerca del emisor.	<p>las interferencias de tipo electromagnéticas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Velocidad de detección alta</li> </ul>	<p>reflectividad del objeto que va a configurar para la medición</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Funcionamiento deficiente cuando el área reflectiva del objeto es muy pequeña</li> </ul>
----------------------	--	--	---

Elaborado por: Ochoa A (2021).

Evaluando el cuadro comparativo anteriormente presentado, la opción más adecuada y eficaz para el presente diseño debido a la naturaleza del fluido y al ambiente donde realizará las mediciones el sensor será un sensor ultrasónico. Dicho sensor tiene una velocidad moderada de respuesta un alcance más que suficiente para el rango de medición. En el anexo E se pueden observar ejemplos de diferentes fabricantes.

#### **4.2.3 Evaluación de los componentes y periféricos necesarios para el diseño del dispositivo :**

En el siguiente cuadro se puede observar los posibles componentes que se van a necesitar para el desarrollo de cada módulo:

**Cuadro 7.** Posibles componentes por módulos para la elaboración del diseño.

Módulo	Lista de posibles componentes
De alimentación	•Fuente AC-DC con voltaje variable
De control	•Placa de desarrollo Arduino UNO R3
De salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Pantalla LCD 2x16</li> <li>•Controlador I2C</li> </ul>
De entrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sensor de temperatura</li> <li>•Sensor de humedad</li> <li>•Sensor de nivel</li> </ul>
Periféricos	•LEDs

- Interruptores de baja tensión
- Cables de control
- Núcleos de ferrita

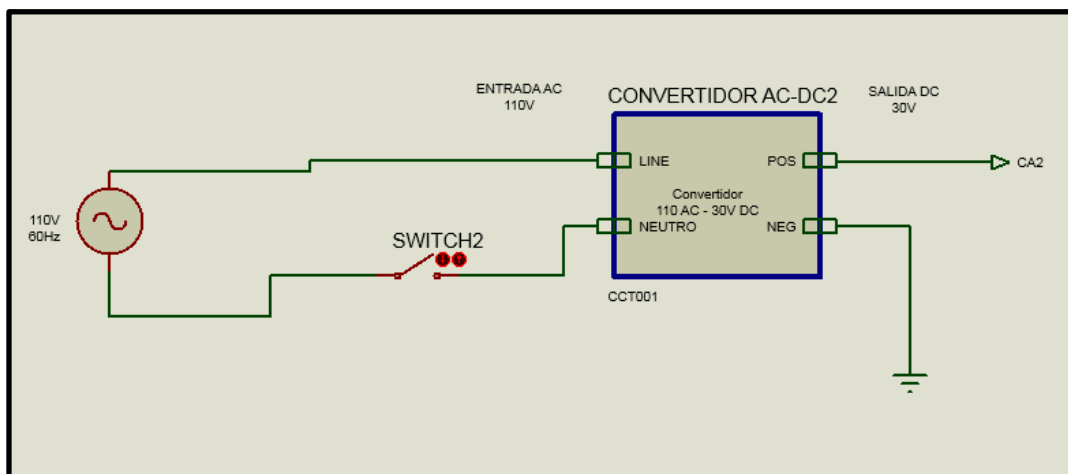
Elaborado por: Ochoa A (2021).

### 4.3 Fase III: “Diseño de un dispositivo electrónico para la medición de las variables temperatura, humedad y nivel de aceite en el transformador de la subestación eléctrica de la empresa CVG Alucasa C.A.”

En la presente fase se definirá y estructura el diseño de cada módulo que constituye el diseño. Por último, se presentará el diseño de una manera global.

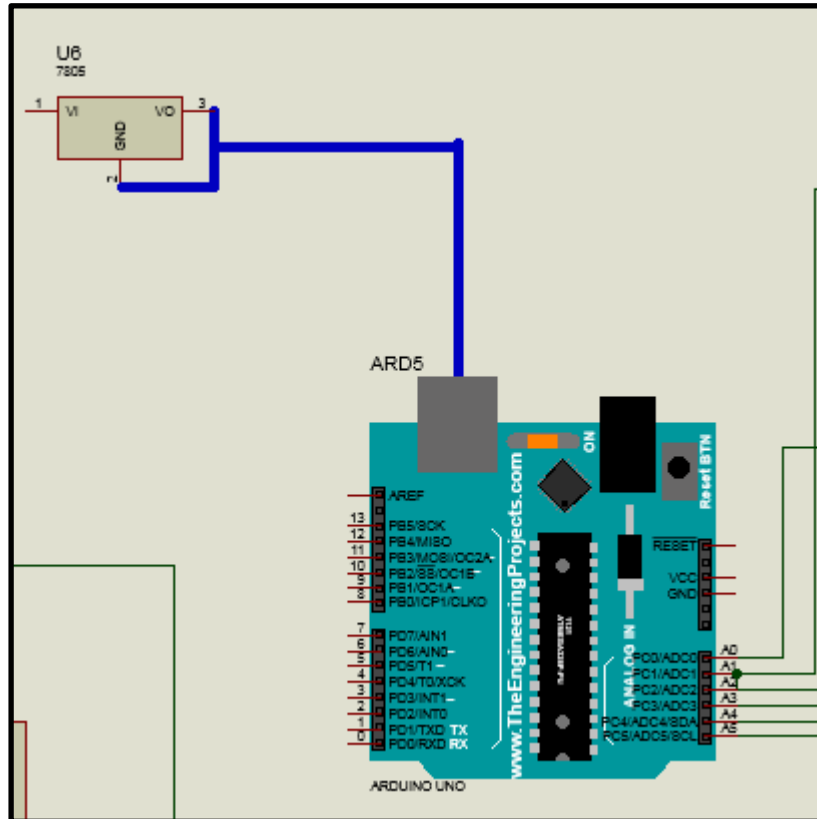
#### 4.3.1 Diseño del módulo de alimentación

Para el diseño se utilizara una fuente de alimentación que posea una entrada a 110V AC y una salida en un rango de 30 V DC y para la corriente un rango de [2 - 5]A. Dicha fuente será adquirida de fuentes ya fabricadas, ya que estas son más económicas y tienen una gran fiabilidad en cuanto a desempeño. El módulo poseerá un switch de encendido/apagado en caso que se desee desactivar el circuito para futuras revisiones y/o reemplazos de componentes(ver en la figura 21). Los valores de corriente dependen de las necesidades de los sensores que requieren alimentación externa para funcionar y los del voltaje se pueden ajustar con reguladores. De dicha fuente se puede colocar un regulador de voltaje de 5V para alimentar la placa de desarrollo Arduino UNO R3 por medio del conector Jack (ver en la figura 22).



**Figura 21.** Diagrama de conexión para el módulo de alimentación.

Fuente: Ochoa(2021).

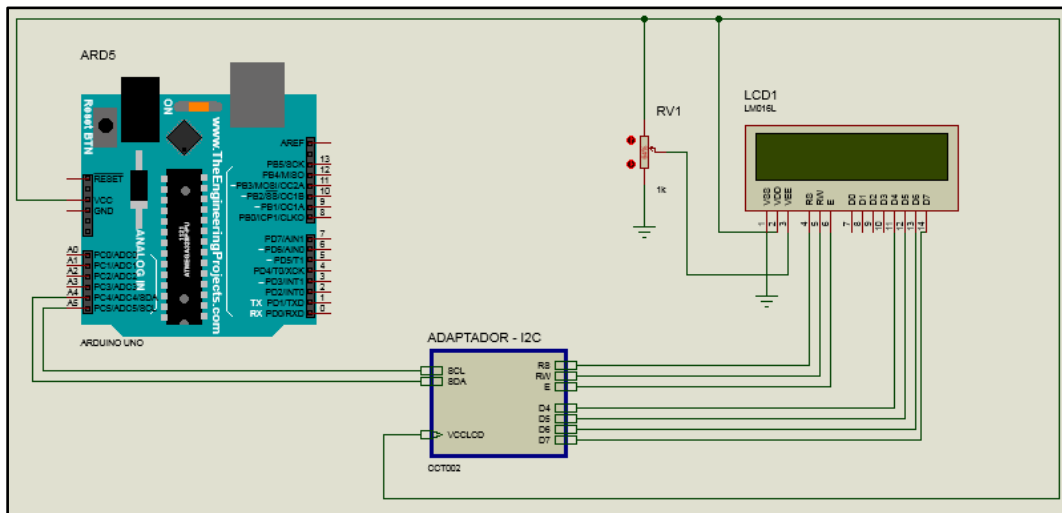


**Figura 22.** Diagrama de conexión para el Arduino.

Fuente: Ochoa(2021).

#### 4.3.2 Diseño del módulo de salida

Se utilizará una pantalla LCD con una resolución de 16 columnas por dos filas. Dicha pantalla funciona a 3,3V, pero posee una conversión interna para trabajarla a 5V. Para facilitar el manejo de la pantalla LCD se utilizara un adaptador de comunicación I2C conformado por el controlador PCF8574T, que permite la conversión de la comunicación serie a paralelo para optimizar la cantidad de pines empleados en el Arduino para el control de la pantalla. Se puede observar la conexión con el módulo de control(la placa de desarrollo Arduino UNO R3 con la pantalla LCD(ver figura 23). En el anexo F se puede visualizar información más detallada del comportamiento interno de la pantalla y el adaptador.

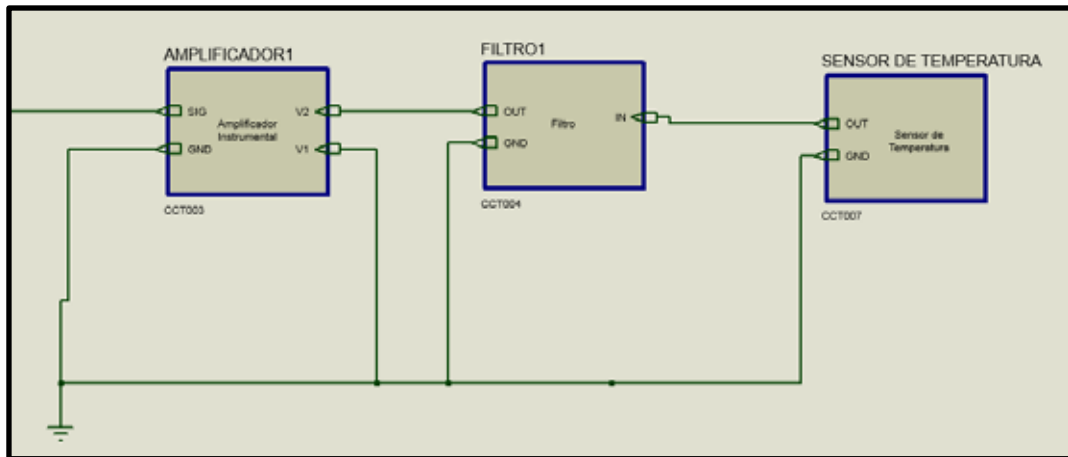


**Figura 23.** Diagrama de conexión para la pantalla LCD.

Fuente: Ochoa(2021).

### 4.3.3 Diseño del módulo de entrada

Se hará uso de los tres sensores seleccionados en la fase dos de la presente investigación. Primero se tiene el sensor de temperatura, el cual es un termopar tipo J. En la figura 24 se puede observar como la señal que entrega el sensor pasa por dos etapas antes de llegar al Arduino. Una primera etapa de filtrado y una segunda etapa de amplificación. Dicho orden se debe a que el entorno es sensible al ruido, por lo cual primero se filtra la señal para luego amplificarla, evitando así amplificar perturbaciones no deseadas. Se tiene que tener en cuenta que hay termopares que vienen con un amplificador y filtro incluidos en su presentación, por lo que lo único que se necesita hacer es conectar los terminales directamente al controlador.

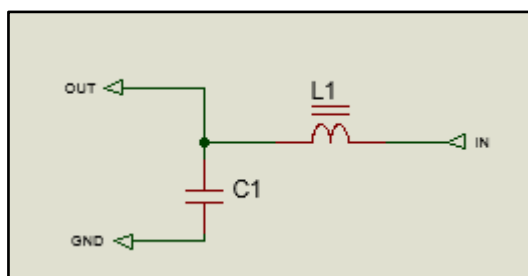


**Figura 24.** Diagrama de conexión para el sensor de temperatura.

Fuente: Ochoa(2021).

Por un lado, para cada sensor se utilizó una etapa de filtrado. Se puede ver en la figura 25 que la etapa de filtrado está compuesta por un filtro de ferrita y un capacitor en modo de desacoplamiento. El filtro de ferrita permite eliminar cualquier tipo de corrientes parásitas presentes y el capacitor permite que cualquier tipo de corriente pico proveniente de la bobina del núcleo sea drenada a tierra de forma segura sin dañar la entrada del controlador, además de estabilizar la entrada del controlador y eliminar interferencias.

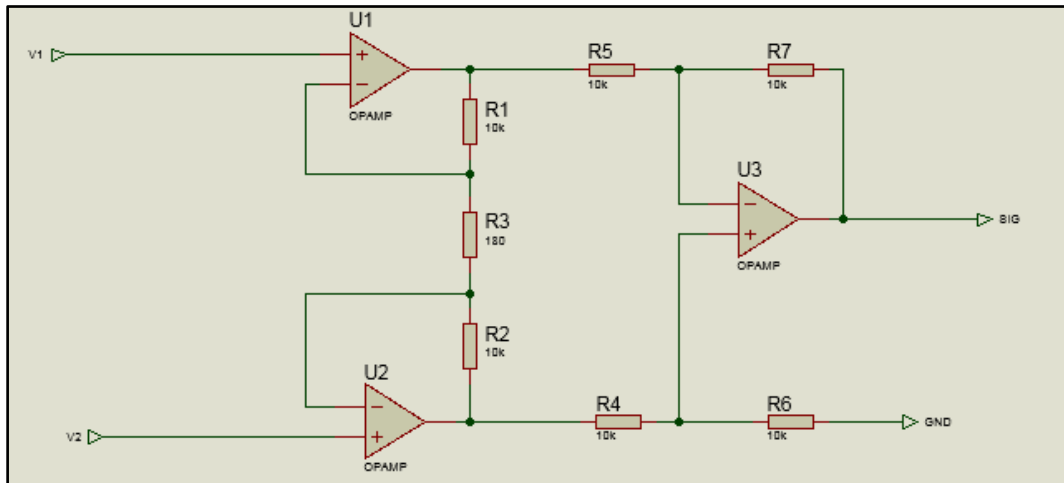
Se tiene que recalcar que hay sensores que ya vienen con dichas protecciones de manera interna, lo cual dependerá del fabricante. Sin embargo, se decidió usar este sistema de filtrado de manera que se asegure una correcta lectura de la magnitud física. Para la elección del núcleo de ferrita se tienen que tener en cuenta las corrientes que se van a manejar y la frecuencia en la cual se quiere trabajar, al igual que para el capacitor.



**Figura 25.** Diagrama del filtro utilizado en el diseño.

Fuente: Ochoa(2021)

Por otro lado, la etapa de amplificación está compuesta por un amplificador de instrumentación(ver figura 26).



**Figura 26.** Diagrama de la etapa de amplificación.

Fuente: Ochoa(2021).

Los valores de la resistencia de ganancia (R3) se calcularon en base a la fórmula que establece la relación del voltaje de salida del amplificador(el que recibe el Arduino), la diferencia de voltaje a la entrada del amplificador(los valores que provienen de la termocupla) y las resistencias que conforman el circuito(ver ecuación 1).

$$V_{out} = (V_2 - V_1) (1 + 2R_1 / R_g) \quad (1)$$

El rango de temperatura y la equivalencia en voltaje de la termocupla se encuentra definido en la hoja de datos del fabricante de la termocupla. Se utilizó como ejemplo la tabla del anexo G, donde se puede observar que el voltaje máximo de  $V_{MAX} = 36,07 \text{ mV}$  para una temperatura máxima de  $640^\circ\text{C}$ . Para el voltaje

mínimo se toma la referencia de neutro, es decir, un voltaje de 0V DC, por lo cual si sustituido  $V_2 = V_{MAX}$  y  $V_1 = 0$  en la ecuación para despejar  $R_g$ , 1 quedaría:

$$V_{out} = ( V_{MAX} - 0 ) ( 1 + 2R_1 / R_g ) \quad (1.a)$$

$$V_{out} / V_{MAX} = ( 1 + 2R_1 / R_g ) \quad (1.b)$$

$$V_{out} = ( V_{MAX} - 0 ) ( 1 + 2R_1 / R_g ) \quad (1.c)$$

$$V_{out} / V_{MAX} = ( 1 + 2R_1 / R_g ) \quad (1.d)$$

$$R_g = 2R_1 / [( V_{out} / V_{MAX} ) - 1] \quad (2)$$

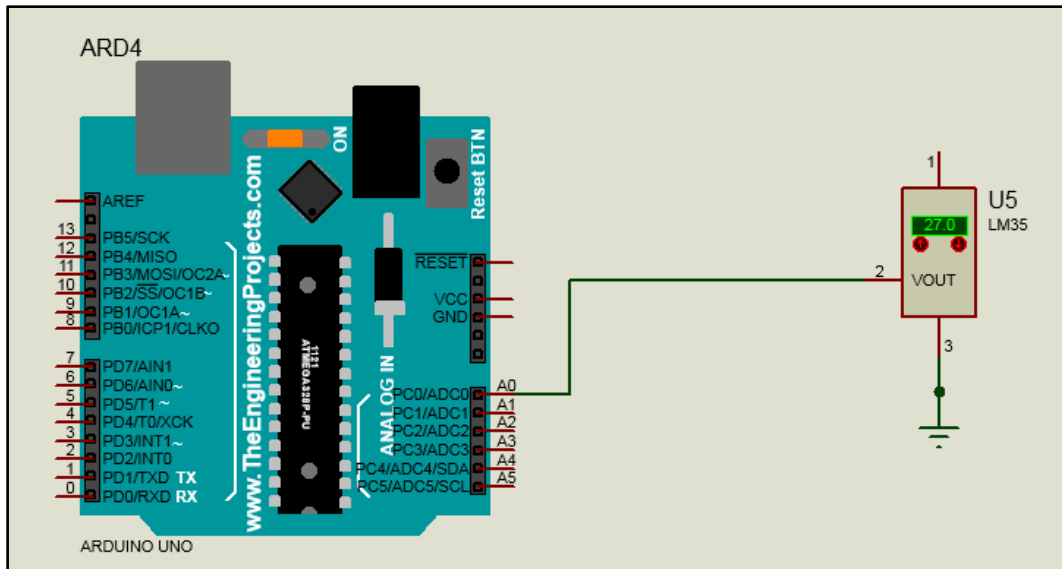
Se tiene que tomar en cuenta que el voltaje máximo que recibe un pin analógico del Arduino es de  $V_{LÍMITE} = 5V$  DC, por lo que el voltaje de salida del amplificador no debe superar este valor ya que si lo hace ocasionará daños al Arduino. Para calcular el valor de la resistencia de ganancia se deben sustituir  $V_{out} = V_{LÍMITE} = 5 V$ ,  $V_{MAX} = 36,07$  mV y  $R_1 = 10.000$

$$R_g = 2(10.000) / [( 5 / 0,03607 ) - 1]$$

$$R_g$$

Hay que tener en cuenta que cada fabricante tiene sus propias tablas y los valores pueden variar ligeramente. Para el único sensor que se utilizó una etapa de amplificación fue para la termocupla, ya que por lo general lo necesitan. Sin embargo, hay fabricantes que ya implementan la amplificación de manera interna en el sensor.

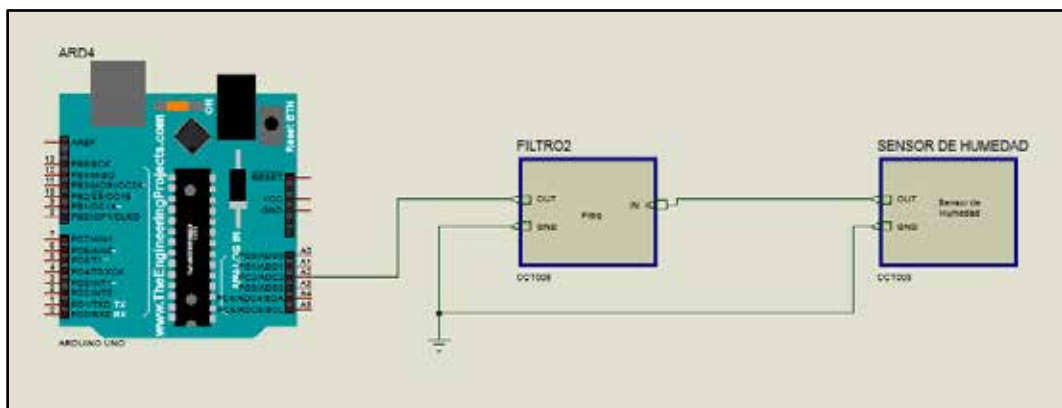
Para toda medida de temperatura se necesita un valor de referencia, por lo cual se hará uso del encapsulado LM335, con el cual se va medir la temperatura ambiente y esta se le sustrae a la temperatura medida por la termocupla, dando como resultado la temperatura real. En la figura 27 podemos observar la conexión del LM335 al Arduino. En el anexo H se puede observar la hoja de datos del LM335.



**Figura 27.** Diagrama de conexión para el sensor de temperatura de referencia.

Fuente: Ochoa(2021).

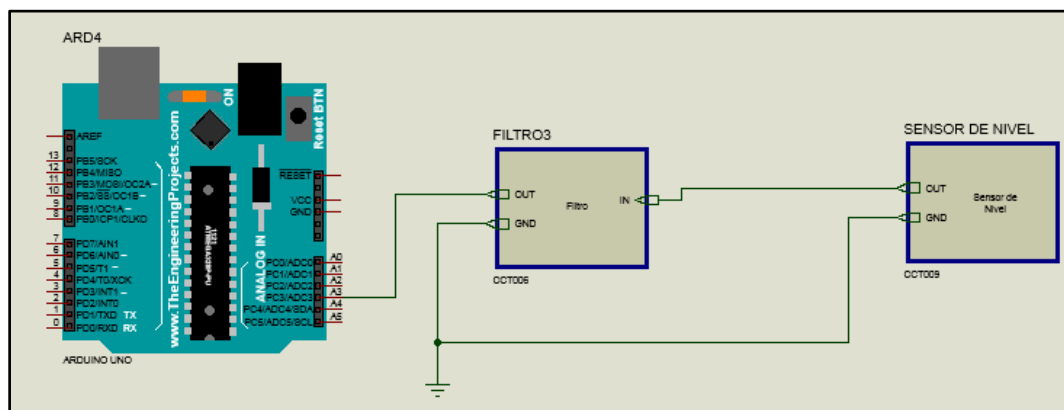
Segundo, tenemos el sensor de humedad, para el cual se seleccionó un sensor capacitivo. Al igual que para el sensor de temperatura, muchos sensores de humedad de tipo capacitivo ya vienen con circuitos de filtrado y amplificación de manera interna, por lo cual la aplicación de estos dependerá del fabricante. Para este diagrama incluimos el mismo circuito de filtrado que utilizamos para la termocupla(ver figura 28).



**Figura 28.** Diagrama de conexión para el sensor de humedad de tipo capacitivo.

Fuente: Ochoa(2021).

Por último, tenemos el sensor de nivel, para el cual se seleccionó un sensor ultrasónico. Al igual que para el sensor de temperatura y el sensor de humedad, muchos sensores ultrasónicos ya vienen con circuitos de filtrado y amplificación de manera interna, por lo cual la aplicación de estos dependerá del fabricante. Para este diagrama incluimos el mismo circuito de filtrado que utilizamos para el sensor de temperatura y para el sensor de humedad(ver figura 29).



**Figura 29.** Diagrama de conexión para el sensor de nivel de tipo ultrasónico.

Fuente: Ochoa(2021).

#### 4.3.4 Diseño del módulo de control

Se utilizará la placa de desarrollo Arduino UNO R3, la cual será programada en lenguaje C/C++ para que el arduino muestre por pantalla las variables que son medidas por los sensores respectivos. El control del dispositivo lo gestiona el Arduino, el cual en su programación posee una estructura de dos bloques principales de código, uno para la inicialización del programa y el otro es un bucle indefinido que se repite periódicamente. El proceso consiste en que cada sensor trabaja de manera individual registrando su respectiva magnitud. Cada vez que esto sucede, el arduino registra los cambios de voltaje en sus pines analógicos. Para los sensores de nivel y humedad la lectura se almacena directamente con una resolución de 12 bits. Para la temperatura ocurre igual con la diferencia que hay que restarle la temperatura ambiente. Este proceso ocurre periódicamente mientras el bloque de

código cíclico en el arduino se repite y registra los valores, almacenados en una memoria dinámica y trabajando con ellos.

En el apéndice C, se puede observar el código, donde existen tres estados dependiendo del valor analógico leído, un estado intermedio “Bien” que indica que la variable se encuentra en el rango estable que el programador desea calibrar dependiendo de los requerimientos necesarios mientras existan los estados “Baja” y “Alta”, que indican que la variable se encuentra por debajo del valor mínimo necesario y por encima del valor máximo permitido, respectivamente. También, se le agregó una instrucción al final de la función setup() que enciende un LED de color azul, indicando que el programa inició correctamente.

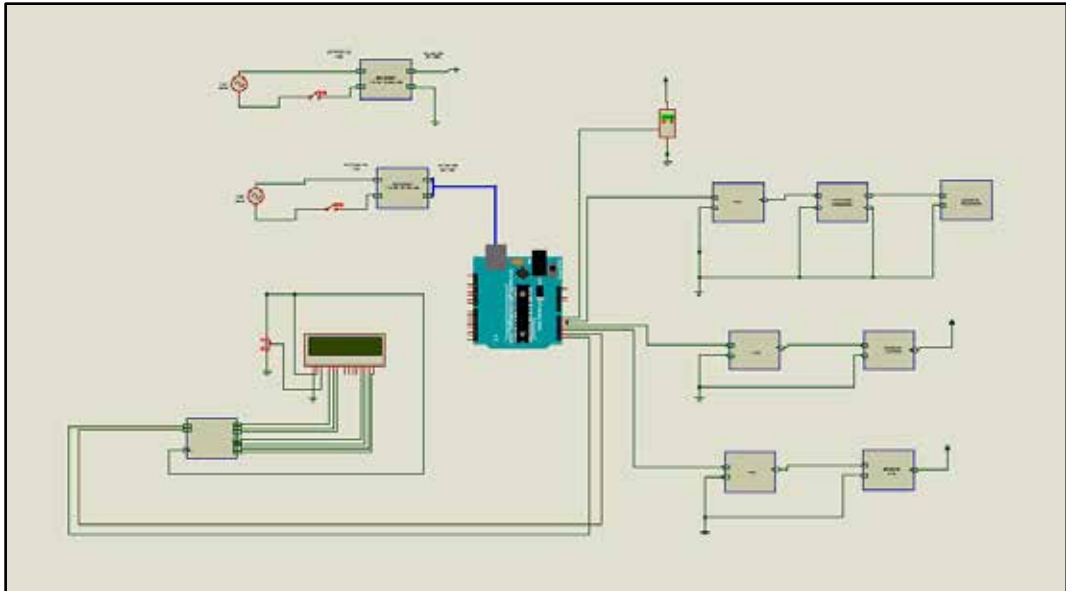
Haciendo referencia a la calibración del “código”, se puede observar como la función writeStatus() encargada de mostrar por pantalla el estatus de la variable medida está calibrada en tres intervalos usando como límites los parámetros de valor mínimo y valor máximo de la variable a medir, lo cual será designado por el programador dependiendo de los límites deseados que están vinculados a los sensores seleccionados y las necesidades del entorno. Antes de utilizar los valores leídos, hay que realizar su respectiva conversión.

Los pines analógicos del Arduino poseen una resolución de 10 bits, es decir, tienen un rango de valores decimales que van de 0 a 1023 (de 0V a 5V). Para esta conversión se tiene un factor de conversión que depende de la relación voltaje/magnitud medida de cada variable según el transductor/sensor que se implemente (los valores pueden variar según el fabricante), por lo cual los mostrados en el apéndice C son solamente de uso demostrativo.

Finalmente, se puede observar que se sustrae el valor de la temperatura de referencia de la temperatura del sensor después de haber pasado por el proceso de conversión, para poder mostrar la temperatura real. Además se utiliza un led que indica la correcta inicialización del código.

#### **4.3.5 Presentación del dispositivo completo**

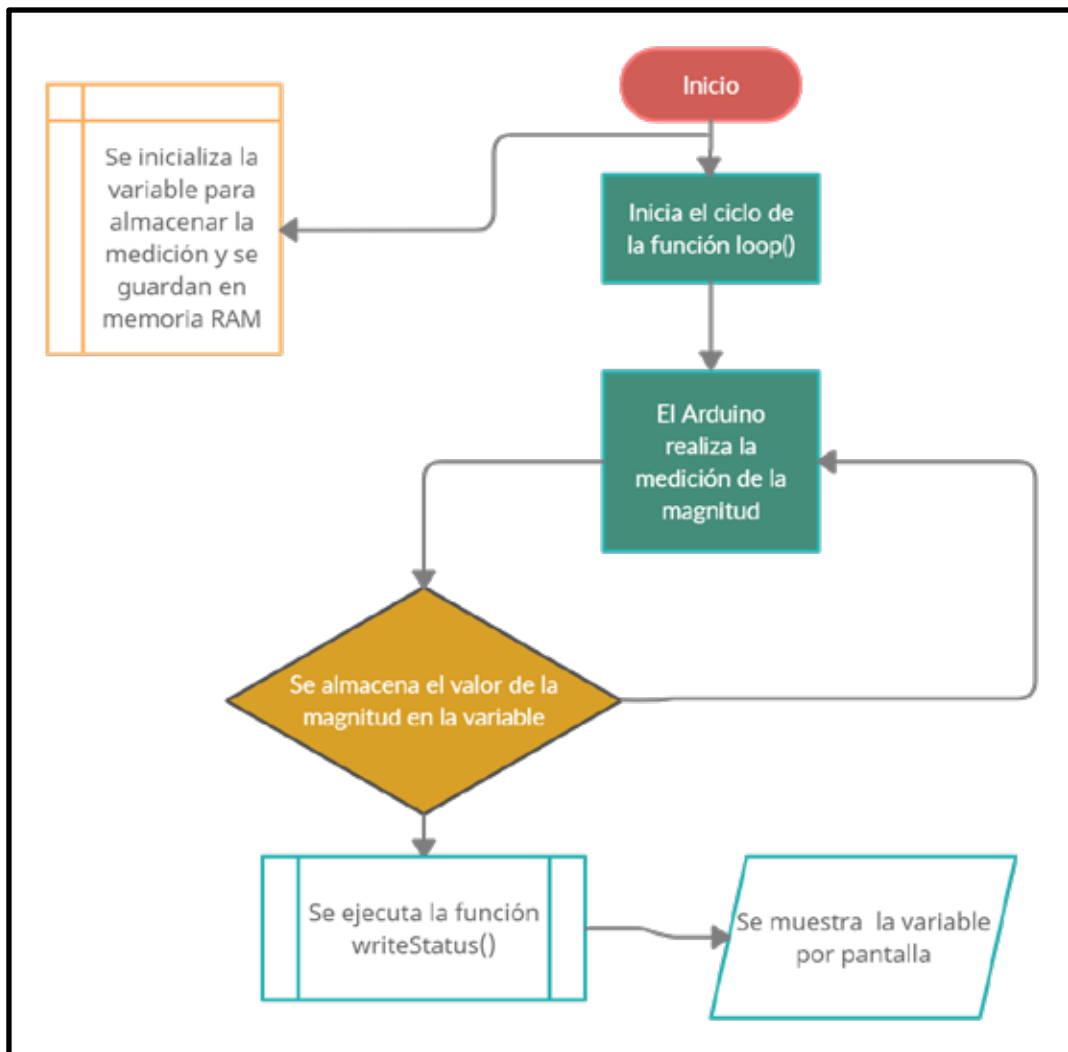
Para el diseño completo se muestra el diagrama de conexión esquemático del dispositivo en su totalidad (ver figura 30).



**Figura 30.** Diagrama de conexión para dispositivo completo.

Fuente: Ochoa(2021).

Además, para tener una mejor representación gráfica de las funciones del diseño, se presenta el diagrama de flujo que dicta el funcionamiento del dispositivo(ver figura 33).



**Figura 31.** Diagrama de flujo del funcionamiento del dispositivo.

Fuente: Ochoa(2021).

El diagrama de flujo muestra el proceso de sensando que inicia al momento de encender el dispositivo. Primero, el diagrama comienza con la inicialización de los registros de memoria(en la memoria RAM) del arduino, creando las variables necesarias para almacenar los valores registrados, convertirlos y mostrarlos por pantalla. Segundo, el arduino recibe las señales en sus pines analógicas y realiza la medición. Dicho proceso ocurre cíclicamente con un retardo en el orden de los milisegundos para que la magnitud almacenada en memoria se pueda mostrar por pantalla. Por último, por cada iteración se representa la magnitud en pantalla.

#### **4.4 Fase IV: “Evaluación de la factibilidad técnica, operativa, económica y ambiental para la implementación de la propuesta.”**

Según Gómez (2012), la factibilidad se “refiere a indicar cómo la investigación podrá proponer algunas soluciones”. Partiendo de la anterior definición, la factibilidad puede ser verdadera o falsa para un determinado aspecto de la investigación, haciendo posible o no posible su ejecución en la práctica. Para el presente trabajo se evaluaron la factibilidad técnica, operativa, económica y ambiental.

##### **4.4.1. Factibilidad técnica:**

La factibilidad técnica indica de si se dispone de los conocimientos, habilidades y materiales para el desarrollo e implantación del proyecto. Desde un punto de vista técnico, la fabricación del dispositivo es factible, debido a que la estructura del mismo puede ser ensamblada con las herramientas correctas en la empresa CVG Alucasa C.A. También se cuenta con servicios locales e internacionales para la adquisición de los materiales que conforman el diseño.

##### **4.4.1. Factibilidad operativa:**

Se refiere a todos los recursos humanos involucrados en el proyecto y su disposición a permitir que el cambio generado por el proyecto sea llevado a cabo. Desde el punto de vista operativo, es posible para ser empleado por el ingeniero encargado y los técnicos bajo su cargo gracias a su fácil uso, mientras estos últimos sean instruidos correctamente en cuanto al funcionamiento del dispositivo.

##### **4.4.1. Factibilidad económica:**

Para la evaluación de factibilidad económica se realizó un estudio de los materiales y componentes que constituyen el diseño. Se usó uso de un cuadro de costos por módulo haciendo referencia al costo individual de cada material y componente para después calcular un subtotal por módulo y finalmente calcular un total global del diseño. En el cuadro 8 se puede observar los costos del diseño.

**Cuadro 8.** Componentes por módulos para la elaboración del diseño

Módulo	Componente	Cantidad	Precio individual (\$)	Sub-Total
--------	------------	----------	------------------------	-----------

Alimentación	Convertidor AC-DC 110V AC - 5V DC, 2A para el Arduino	1	10 - 20	10 - 20
	Convertidor AC-DC 110V AC - [5 - 30]V, 2A para sensores con alimentación externa	1	60 - 80	60 - 80
Control	Arduino UNO REV3	1	23	23
Salida	Adaptador I2C	1	1,01	1,01
	Display LCD 2x16	1	3,90	3,90
Entrada	Sensor de humedad capacitivo	1	200 - 300	200 - 300
	Sensor de nivel ultrasónico	1	300 - 500	300 - 500
	Termocupla Tipo J	1	60 - 100	60 - 100
	Integrado LM335	1	0,83	0,83
	Termopozo	1	30 - 70	30 - 70
Periféricos	Cable de control calibre 16 AWS [20 - 30]m	3	50 - 60	50 - 60
	Capacitor electrolítico 470uF	3	0,43	1,29
	Carcasa del dispositivo realizada con filamento de tipo ABS por método de impresión 3D (incluye diseño)	1	70 - 120	70 - 120
	Diodo de color verde	1	0,22	0,22
	Diodo de color azul	1	0,22	0,22
	Núcleo de ferrita	3	4	12
	Push button	1	0,54	0,54

	Resistencia de 160	1	0,11	0,11
	Switch de baja tensión 110V	1	0,82	0,82
<b>Total</b>				824,0 - 2.086,84

Elaborado por: Ochoa A (2021).

Del cuadro anterior se puede observar que el total del diseño puede variar en un rango de \$[824,0 - 2.086,84] sin tomar en cuenta los costos de traslado de los componentes por si no se adquieren en la localidad y existe la necesidad de buscarlos a nivel nacional y/o internacional. La variación del precio depende principalmente de los sensores que se utilicen. La factibilidad económica dependerá de la empresa y su evaluación sobre su costos y gastos.

#### **4.4.1. Factibilidad ambiental:**

La factibilidad ambiental del diseño se refiere al mínimo impacto de carácter negativo que proporcione al ambiente. El dispositivo no causará ningún tipo de contaminación ya que no genera ningún tipo de residuo o desecho, sin contar la energía en forma de calor disipada al ambiente que es despreciable en comparación con el entorno de operación. Además, también favorece al entorno donde se implementará ya que dicho sistema proporciona una manera de prevenir y evitar fallas eléctricas que pueden corromper el funcionamiento correcto de la máquina, causando así daños al medio ambiente presente.

## **CONCLUSIÓN**

Con la presente investigación, se demuestra de manera científica en la primera fase de la misma, mediante instrumentos de recolección de datos cómo las circunstancias presentes en la subestación eléctrica de la empresa CVG Alucasa C.A, en Guacara, Edo.Carabobo, con respecto al monitoreo del transformador de potencia para su correcto cuidado y mantenimiento no son las óptimas y existe la oportunidad de progreso mediante el diseño y uso de un dispositivo electrónico que facilita al operario la medición y lectura de las variables críticas para el bienestar de la máquina.

Una vez realizado el diagnóstico de la situación presente, se procede a su segunda fase, donde se realiza la identificación de los puntos críticos previos necesarios para el diseño del dispositivo. Se registra la información de campo sobre las tres magnitudes a monitorear y se resaltan los aspectos relevantes para el diseño. Al analizar cada variable se evidencia la importancia del seguimiento de cada una, por lo cual es importante un dispositivo que lo realice.

La medición temperatura permite evitar sobrecalentamientos en el núcleo del transformador, preservando su vida útil.

La medición humedad permite una evaluación en tiempo real de calidad del aceite para asegurar que el mismo este cumpliendo sus funciones, ya que los análisis más rigurosos son mediante pruebas químicas para los cuales se tiene que realizar mantenimiento a la máquina para realizar su extracción y realizar pruebas químicas en laboratorios.

La medición del nivel de aceite permite prevenir la falta del mismo ocasionadas por fugas y todas las fallas que esto genera.

Luego, se evalúan la estructura del diseño del dispositivo junto con los sensores, componentes y periféricos que lo constituyen. Se hace uso de tablas comparativas para la elección del microcontrolador y los tres sensores que componen el dispositivo, cumpliendo las necesidades del mismo.

Siguiendo con el punto anterior, se procede a la tercera fase del presente trabajo, donde se esquematiza en cuatro módulos (alimentación, control, entrada y salida) el dispositivo. Al momento de presentar las estructuras de cada módulo, se hace de manera general aportando varias opciones y no un diseño estricto para que

el mismo sea adaptable, por lo cual se evidencia así de manera más clara los beneficios que otorga el diseño.

Su adaptabilidad permite que en un momento futuro se pueda adaptar el diseño a las condiciones del entorno.

Otorga al ingeniero encargado y los técnicos bajo su cargo la facilidad de poder monitorear los parámetros de transformador sin la necesidad de entrar al recinto físico donde se encuentra ubicado, ofreciendo así más eficiencia y seguridad al operario.

Gracias a su programación flexible, el ingeniero encargado puede ajustar los parámetros y calibración de los distintos tipos de sensores que pueden utilizarse, dependiendo de las necesidades del entorno.

Además, se expone el funcionamiento detallado del diseño. Por último, se termina con la cuarta fase, evaluando las factibilidades técnica, operativa, económica y ambiental.

## **RECOMENDACIONES**

La presente investigación representa solo el proceso de desarrollo y planificación del diseño del dispositivo. Es por esto que se proponen las siguientes recomendaciones para su seguimiento e implementación:

Realizar un estudio económico por parte de la empresa según el presupuesto de la misma destinado a finiquitar la elección de los sensores según su precio y fabricante.

Realizar el ajuste del código y la calibración de los sensores en condiciones de trabajo.

Realizar una simulación y prueba de los sensores para comprobar su comportamiento en condiciones de trabajo normales y críticas.

Expandir el estudio para realizar una transmisión de datos de manera remota que le indique al operario periódicamente los cambios en las mediciones.

Expandir el estudio para realizar una transmisión de los datos y enviarlos hasta el sistema correspondiente al centro de control con la finalidad de automatizar completamente el proceso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación**. (Sexta Edición). Caracas: Episteme.

Amaya, E y Goitia, A (1997). **Instrumentación industrial**. (Primera Edición). Caracas: PCI Entretenimiento S.A.

Balestrini, M. (2006). **Como se elabora el proyecto de investigación**. (Séptima Edición). Caracas: BL Consultores Asociados.

Chicala, C. (2015). **Adquisición de datos: medir para controlar y conocer**. (Primera Edición). México : CENGAGE Learning.

Churata, J. (2019). **Diseño de un sistema de monitoreo en tiempo real del índice de radiación ultravioleta, temperatura y humedad relativa para la región Puno**. [Tesis en línea]. Disponible en:

[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11682/Churata\\_Choque\\_Julio\\_Cesar.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11682/Churata_Choque_Julio_Cesar.pdf?sequence=1&isAllowed=y)  
[Consulta, 1 de Diciembre de 2020].

Creus, A. (2011). **Instrumentación industrial**. (Octava Edición). México: Alfa Omega.

Garrido, J. (2015). **Fundamentos de Arduino**. (Primera Edición). México: Grupo Planeta México.

Gomez, S. (2012). **Metodología de la Investigación**. (Primera Edición). México: Red Tercer Milenio.

Guidos, D y Hernandez, J. (2015). **Desarrollo de un modelo de sistema de control y monitoreo de parámetros operacionales de un transformador de potencia, para el diagnóstico y detección temprana de fallas**. [Tesis en línea]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/21289/1/An%C3%A1lisis%20de%20fallas%20en%20transformadores%20de%20potencia%20y%20su%20prevenci%C3%B3n.pdf> [Consulta, 6 de mayo de 2021].

Heath, S(2003). **Diseño de sistemas embebidos**. (Segunda Edición). Oxford: Newnes.

Hurtado (2008). **Metodología de la Investigación**. (Cuarta Edición). Caracas: Quirón Ediciones.

Kurniawan, A. (2015). **Arduino Uno: guía para el principiante**. (Primera Edición). Indonesia: Gagas Media.

Landy, W. (2015). **Desarrollo de un modelo de sistema de control y monitoreo de parámetros operacionales de un transformador de potencia, para el diagnóstico y detección temprana de fallas**. [Tesis en línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8861/1/UPS-CT005050.pdf> [Consulta, 5 de julio de 2021].

López, P. (2004). **Población, muestra y muestreo**. [Artículo en línea] Disponible en: <https://bit.ly/2UuleKk> [Consulta, 4 de Febrero de 2021].

Mijares, H. y García, L. (2007) **Manual de Investigación para trabajo especial de grado de la UJAP**. San Diego. Editorial UJAP.

Morles, V. (1994). **Sobre la metodología como ciencia y el método científico: un espacio polémico**. [Artículo en línea]. Disponible en:

[http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-97922002000100006&script=sci\\_abstrac](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-97922002000100006&script=sci_abstrac) [Consulta, 6 de marzo de 2021].

Parella, Santa y Martins, Feliberto (2010), **Metodología de la investigación cuantitativa**. (2° Edición). Caracas-Venezuela. Editorial Fedupel.

Pichucho, J. (2007). **Módulo para verificar el funcionamiento de los programas grabados en el PIC16F84A**. [Tesis en línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1307/1/CD-0616.pdf> [Consulta, 10 de Marzo de 2021].

Ramirez, F. (2009). **Sistema de adquisición de datos de sensores analógicos y digitales**. [Tesis en línea]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6296/1/SISTEMADQUISICION.pdf> [Consulta, 5 de Marzo de 2021].

Ras, E (1991). **Transformadores de potencia, de medida y de protección**. Barcelona: Editorial: Marcombo.

Sabino, C (1992). **El proceso de investigación**. Caracas: Editorial PANAPO.

Sampieri, R.; Collado, C. y Baptista, P. (1997) **Metodología de la Investigación**. Naucalpán de Juárez. McGraw Hill Interamericana de México.

Serna A., Ros F. y Rico J. (2010). **Guía práctica de sensores**. [Libro en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2OuPv7W> [Consulta, 5 de Febrero de 2021]. .

Tamayo y Tamayo (2004). **El Proceso de la Investigación científica: incluye evaluación y administración de proyectos de investigación**. México: Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL (2006). **Manual de trabajo de grado de maestría y tesis doctorales**. Reimpresión de 3° Edición. Caracas Venezuela.

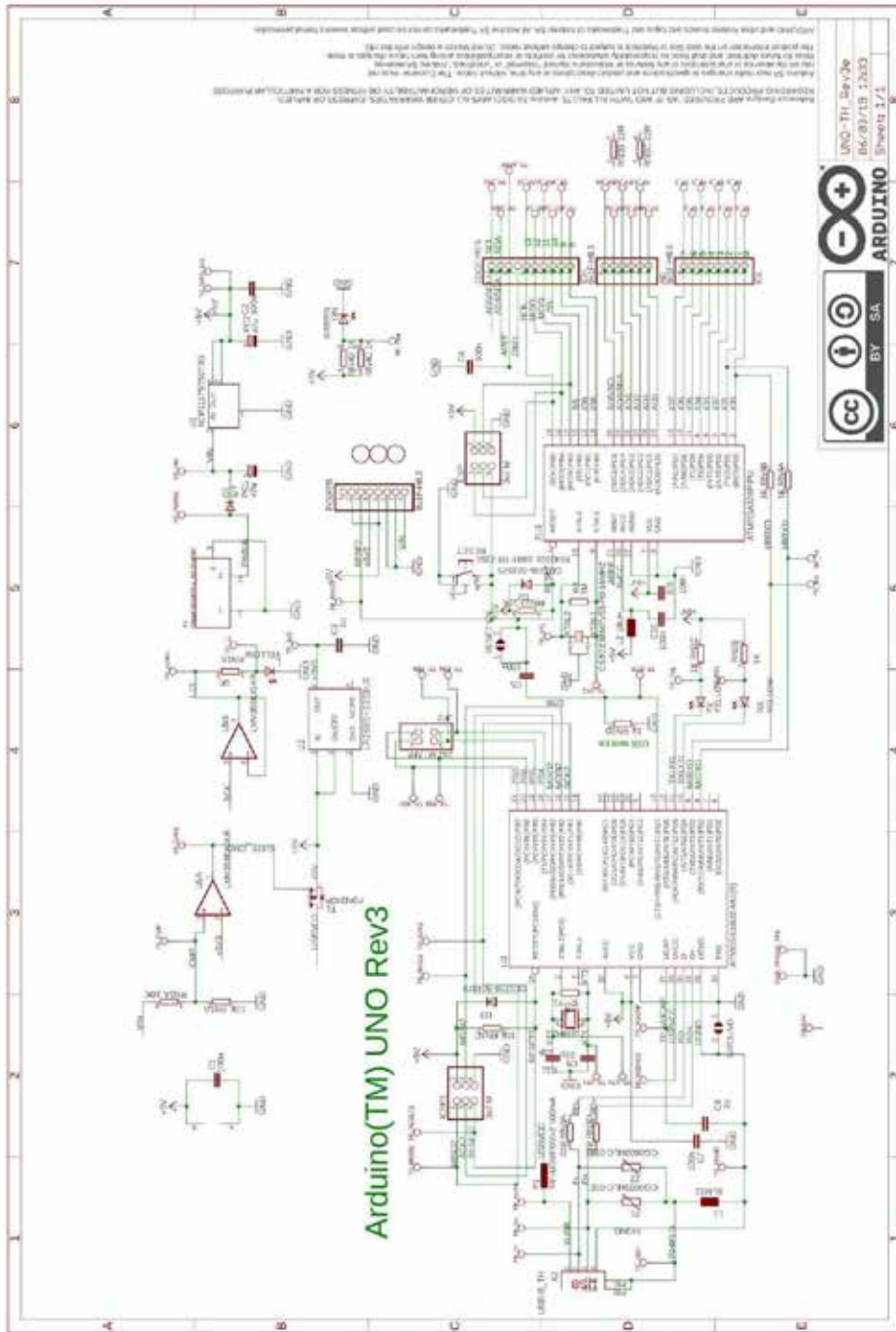
Wernecke, R y Wernecke, J (2014). **Industrial Moisture and Humidity Measurement A Practical Guide**. (Primera Edición). Alemania: Wiley-VCH.



## **ANEXOS**

**Anexo A.** Diagrama esquemático de la placa de desarrollo Arduino UNO REV3.





**Anexo B.** Hojas de datos (parcial) de diferentes tipos de aceites empleados en transformadores de potencia.

## MEZCLA Y ENVASADO DE ACEITES LUBRICANTES PARA MOTOR Y USO INDUSTRIAL



### Motores de combustión interna:

- SL
- Diesel
- 4 Tiempos
- 2 Tiempos Aire
- 2 Tiempos Agua



### Semi-sintéticos / Sintéticos:

- SL
- SM



### Transmisiones Automotrices:

- Transmisión Automática
- Tractores



### Lubricantes Industriales:

- Hidráulicos
- Turbina
- Engranaje
- Refrigeración



### Especialidades:

- Marinos



### MEJORADORES DE ÍNDICE DE VISCOSIDAD

El Mejorador de Índice de Viscosidad Paramin 8080 es utilizado en la mezcla de aceites lubricantes sintéticos con una estabilidad de corte de 24.





**Aceite Mineral Aislante Nuevo para Transformadores de Potencia  
ET/5103**

PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO ENSAYO	VALOR USUAL	VALOR LÍMITE
<b>Clase</b>	<b>U: Aceite para transformador no inhibido.</b>			
<b>FUNCIÓN</b>				
Viscosidad a 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	ISO 3104	10 - 11	< 12
Viscosidad a -30 °C	mm <sup>2</sup> /s	ISO 3104	950	< 1800
Punto de congelación	°C	ISO 3016	-45	< -40
Contenido de agua	mg/kg	IEC 60814	< 5 (puesta en servicio)	< 30 ( cisterna) < 40 ( bidón)
Tensión de ruptura eléctrica	kV	IEC 60156	> 60 (puesta en servicio)	> 30 (suministro)
Densidad a 20°C	g/ml	ISO 3675 o ISO 12185	0,840 – 0,880	< 0,895
Factor de disipación dieléctrica a 90°C		IEC 60247 o IEC 61620	< 0,002	< 0,005
<b>REFINO/ESTABILIDAD</b>				
Aspecto		--	Transparente y brillante	
Acidez	mg KOH/g	IEC 62021-1	<0,01	< 0,01
Tensión interfásica	mN/m	ISO 6295	>40	> 40
Contenido en azufre total		BS 2000 parte 373 o ISO 14596	--	--
Azufre corrosivo		DIN 51353	No corrosivo	
Aditivo antioxidante		IEC 60666	No detectable	
Contenido en 2-furfural	mg/kg	IEC 61198	<0,1	< 0,1
<b>PRESTACIONES</b>				
Estabilidad a la oxidación - Acidez total	mg KOH/g	IEC 61125 (met. C)	0,4	< 1,2
Estabilidad a la oxidación - Lodos	%	IEC 61125 (met. C)	< 0,2 (puesta en servicio)	< 0,8
Estabilidad a la oxidación - Factor de disipación dieléctrica a 90°C		IEC 60247	< 0,05	< 0,5
Formación de gases		IEC 60628, A	--	--
<b>SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE</b>				
Punto de inflamación	°C	ISO 2719	140 -160	> 135
Contenido en PCA	%	BS 2000 parte 346		< 3
Contenido en PCB	%	IEC 61619	No detectable	

**Anexo C.** Hojas de datos (parcial) de varios termopares tipo J.

# Termopares aislados listos para utilizarse con conductores pelados

Disponibilidad de longitudes, aislamientos y configuraciones personalizadas



- ✓ Disponible en prácticos paquetes de 5 unidades
- ✓ Aislamiento PFA, Kapton® o trenzado de vidrio
- ✓ Conductores con diámetro de 0,8, 0,5, 0,25, 0,13 y 0,08 mm
- ✓ Longitudes estándar de 1 y 2 m
- ✓ Calibración disponible
- ✓ Cantidades OEM disponibles

OMEGA CAL  
SERIE 5-TC (SLE)  
EN 40584-3  
Tolerancia clase 1

"TT" Aislamiento PFA



Cable con aislamiento PFA y calibre fino de 40

"GG" Aislamiento de trenzado de vidrio



Aislamiento KAPTON®

## ¡Etiquetas adhesivas TAP también disponibles!

Las etiquetas adhesivas del termopar fijan las sondas de alambre a la superficie. Las etiquetas adhesivas TAP tienen un grosor de 0,064 mm y pueden utilizarse a una temperatura máxima de 180 °C. Están hechas de una película de poliamida con un adhesivo de silicona sensible a la presión.

Consulte [es.omega.com](http://es.omega.com) para obtener más detalles e información sobre pedidos.



El modelo TAP, rollo de 100 etiquetas adhesivas, se muestra en un tamaño inferior al real.

Para hacer su pedido, visite [es.omega.com/5tc](http://es.omega.com/5tc) para consultar precios y detalles

N.º de modelo y de color conforme a IEC	Calibre CAE	Diámetro en mm	Aislamiento
5TC-GG-(*)I-20-(**)	20	0,81	Trenzado de vidrio
5TC-GG-(*)I-24-(**)	24	0,51	Trenzado de vidrio
5TC-GG-(*)I-30-(**)	30	0,25	Trenzado de vidrio
5TC-TT-(*)I-20-(**)	20	0,81	PFA
5TC-TT-(*)I-24-(**)	24	0,51	PFA
5TC-TT-(*)I-30-(**)	30	0,25	PFA
5TC-TT-(*)I-36-(**)	36	0,13	PFA
5TC-TT-(*)I-40-(**)	40	0,08	PFA
5TC-KK-(*)I-20-(**)	20	0,81	Kapton®
5TC-KK-(*)I-24-(**)	24	0,51	Kapton®
5TC-KK-(*)I-30-(**)	30	0,25	Kapton®

\* Insertar calibración J, K, T, o E. \*\* Especificar longitud. Insertar "1M" para 1 m o "2M" para una longitud de 2 m. Nota: para cables GG, KK o TT existe un coste adicional por metro, por paquete de 5 unidades. Ejemplo de pedido: 5TC-TT-KI-36-1M, 5 cada uno, termopares con aislamiento PFA, calibración de tipo K (CHROMEGA®-ALOMEGA®), conductor de 0,13 mm de diámetro, 1 m de largo, terminales de conductores desnudos.

**Anexo D.** Hojas de datos (parcial) de varios sensores de humedad de tipo capacitivos.



## MMP8 Moisture in Oil Probe



### Features

- Continuous online measurement of moisture in oil and temperature
- Temperature measurement range: -40 ... +180 °C (-40 ... +356 °F)
- Measurement accuracy up to  $\pm 0.01 a_w$  ( $\pm 1 \%RS$ )
- Incorporates the proven Vaisala HUMICAP<sup>®</sup> sensor, used for over 20 years in oil applications
- Modbus<sup>®</sup> RTU over RS-485
- Traceable calibration certificate: 6 points for humidity, 1 point for temperature
- Compatible with Indigo series transmitters and Inight PC software

Vaisala HUMICAP<sup>®</sup> Moisture in Oil Probe MMP8 enables fast and reliable measurement of moisture in oil. It uses the proven Vaisala HUMICAP<sup>®</sup> sensor, which was developed for demanding dissolved moisture measurements in transformer and lubrication oils, hydraulic fluids, and other liquids.

### Reliable Vaisala HUMICAP<sup>®</sup> technology

MMP8 incorporates the latest-generation Vaisala HUMICAP<sup>®</sup> 180L2 sensor, which is the result of over 20 years of field experience. It was developed for demanding moisture measurement in transformer and lubrication oils and other liquids.

The sensor's excellent chemical tolerance provides accurate and reliable measurement over a wide measurement range. The HUMICAP<sup>®</sup> 180L2 sensor has excellent sensitivity in the dry end of the range, which is typically needed in transformer applications.

### Measure the margin to water saturation

MMP8 measures dissolved moisture in oil in terms of the water activity ( $a_w$ ), relative saturation (%RS), and temperature (T). Water activity or

relative saturation indicate directly whether there is a risk of free water formation. This data is relevant in lubrication oil applications where detecting water ingress and preventing free water formation is crucial. The measurement is independent of oil type and age.

MMP8 can also output ppm, the average mass concentration of water in oil. Vaisala has this conversion readily available for specific oils, including mineral transformer oil. This allows continuous measurement of ppm concentration in power transformer condition monitoring.

For other oils, the oil-specific conversion coefficients can be calculated if the water solubility of the oil is known and the solubility characteristic remains constant.

### Easy installation

When installed with the ball valve kit, the MMP8 is ideal for installation into processes where the probe needs to be installed or removed while the process is running. Probe installation depth is adjustable. Pressure fitting options are ISO 1/2" and NPT 1/2". MMP8 is delivered with a manual pressing handle that allows the probe to be pushed against process pressure.



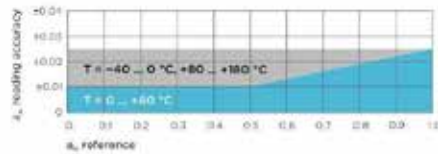
DNV GL type approval certificate no. TAA00002YT

## Technical data

### Measurement performance

Water activity	
Measurement range	0 ... 1 $a_w$
$T_{90}$ response time <sup>1)</sup>	30 min
Sensor	HURCAP <sup>®</sup> 130L2
Accuracy <sup>2)</sup>	±0.01 $a_w$ (±1 %RS)
Temperature	
Measurement range	-40 ... +180 °C (-40 ... +356 °F)
Accuracy at +20 °C (+68 °F)	±0.2 °C (0.36 °F)

1) At +20 °C (+68 °F) in still air.  
2) Range 0 ... 0.9  $a_w$ , including repeatability, hysteresis, and reproducibility. See accuracy graph below.



MMP8  $a_w$  measurement accuracy

### Operating environment

Operating temperature of probe head	-40 ... +180 °C (-40 ... +356 °F)
Operating temperature of probe body	-40 ... +80 °C (-40 ... +176 °F)
Storage temperature range	-40 ... +80 °C (-40 ... +176 °F)
Operating pressure range	0 ... 40 bar (0 ... 580 psia)
Installation pressure	Up to 10 bar (145 psia)
IP rating of probe body	IP66
Ball valve	
Operating temperature	Up to +120 °C (+248 °F)
Operating pressure	Up to 40 bar (0 ... 580 psia)

### Inputs and outputs

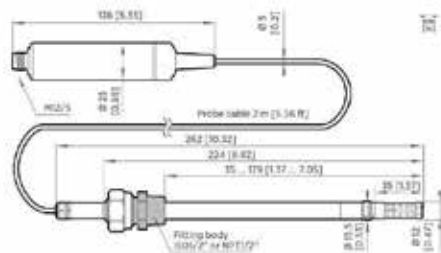
Operating voltage	15 ... 50 V DC
Current consumption	10 mA typical
Digital output	RS-485, non-isolated
Protocols	Modbus RTU
Output parameters	
	Relative saturation (%RS)
	Temperature (°C)
	Water activity
	Water mass fraction (ppm <sub>w</sub> )

### Compliance

EU directives	EMC Directive (2014/53/EC) RoHS Directive (2011/65/EU)
EMC compatibility	EN 61326-1, industrial environment
Type approvals	DIN V GL certificate no. TAA00003 YT
Compliance marks	CE, China RoHS, RoCM, WEEE

### Mechanical specifications

Connector	M12 5-pin A-coded male
Weight	510 g (18.0 oz)
Fiber options	Stainless steel grid standard filter Stainless steel grid filter for high flow rates (> 1 m/s)
Probe cable length	2 m (6.56 ft)
Adjustable installation depth	35 ... 179 mm (1.37 ... 7.05 in)
Materials	
Probe	AISI 316L
Probe body	AISI 316L
Cable jacket	PEP



MMP8 dimensions

### Accessories

Ball valve ISO 1/2" with welding joint	BALLVALVE-1
Ball valve ISO 1/2" - ISO 3/4" with thread joint	BALLVALVE-2
Indigo USB adapter <sup>1)</sup>	USB2

1) Vaisala Indigo software for Windows available at [www.vaisala.com/indigo](http://www.vaisala.com/indigo)

## EE1900

### Humidity Measurement Module for OEM Applications

The EE1900 humidity module is optimised for the measurement of relative humidity (RH) or dew point temperature (Td) in climate chambers. With outstanding temperature compensation across the working range from -70 °C to 180 °C (-94 °F to 356 °F) and the choice of stainless-steel and plastic (PPS) probes, the module is suitable for a wide range of applications.

The excellent measuring accuracy of the EE1900 rests on the innovative E+E humidity and temperature sensing element HMC01. The proprietary E+E coating protects the sensor from dust, dirt and corrosive agents. Therefore, the EE1900 module features excellent long term stability even in harsh environment.

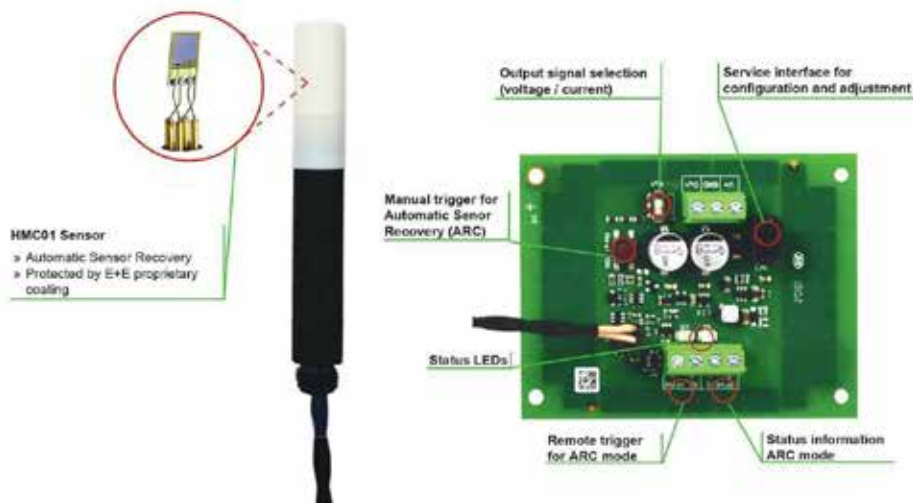
In applications with chemical contamination, the EE1900 stands out by the **Automatic Sensor ReCover** (ARC) function. The controlled, strong heating outgases the chemicals from the sensing element to ensure reliable and stable measurements.

The analogue output of the EE1900 can be set to current or voltage with a slide switch. The service interface and the free EE-PCS configuration software allow for output scaling and adjustment of the humidity measurement.

The high-quality, flexible probe cable up to 3 m facilitates mounting of the EE1900. The electronics board is available in two sizes, for easy integration into existing climate chambers and other machines.



### Features



### Order Example

<b>EE1900-PCB5</b>	
PCB size:	55 x 46.5 mm (2.17 x 1.83")
Probe material:	plastic (PPS)
Probe length:	45 mm
Cable length:	0.5 m
E+E Sensor coating	without coating
Filter:	PTFE Filter
Output:	relative humidity (% RH)
Output signal:	0-10 V
Scaling 1 low:	0
Scaling 1 high:	100

### Scope of supply

- EE1900 according to ordering guide
- Inspection certificate according to DIN EN 10204 – 3.1

### Accessories (see datasheet „Accessories“)

- Mounting flange 12 mm	HA010201
- Configuration cable with USB adapter	HA011017
- Stainless steel wall mounting clip Ø12 mm	HA010225

**Anexo E.** Hojas de datos (parcial) de varios sensores de nivel de tipo ultrasónico.

# ULTRASONIC LEVEL TRANSMITTER AND CONTROLLER



## LVCN210 Series



- ✓ Level Detection, Switch and Control Functions Up to 3 m (9.8')
- ✓ Fast and Easy Configuration Via Free Software Download and USB Adaptor
- ✓ Narrow 5.08 cm (2") Beam Width and Short 10 cm (4") Dead Band
- ✓ Four Programmable Relays
- ✓ PVDF Transducer and 6P Polycarbonate Enclosure
- ✓ Automatic Temperature Compensation For Accurate Measurement

OMEGA's LVCN210 Series ultrasonic level transmitter and controller provides continuous level measurement up to 3 m (9.8') with a 4 to 20 mA signal output, and is configured via our free software download. The level sensor has 4 programmable relays with selectable hysteresis and fail-safe logic. The embedded level controller can lower cost by replacing external control hardware. This non-contact liquid level sensor is ideally suited for corrosive, sticky or dirty liquids, and is widely selected for day tank, skid, IBC, sump and process tank level applications.

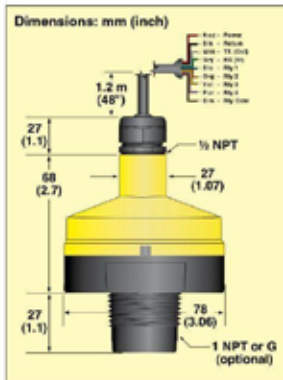
### SPECIFICATIONS

**Range:** 3 m (9.8')  
**Accuracy:** ±0.2% of range  
**Resolution:** 1 mm (0.039")  
**Dead Band:** 10 cm (4")  
**Beam Width:** 5.08 cm (2")  
**Configuration:** Free PC Windows® USB 2.0. The level sensor is configurable via our free PC software and USB adaptor. The sensors are offered with and without USB connectors. Connectors can be used to configure many compatible level products. Download your free copy at: [omega.com/ftp](http://omega.com/ftp)  
**Memory:** Non-volatile  
**Supply Voltage:** 24 Vdc (loop)  
**Consumption:** 0.5 W  
**Loop Resistance:** 400Ω max  
**Signal Output:** 4 to 20 mA, two-wire  
**Signal Invert:** 4 to 20 mA or 20 to 4 mA  
**Signal Fail-Safe:** 4 mA, 20 mA, 21 mA, 22 mA or hold last  
**Contact Type:** (4) SPST relays  
**Contact Rating:** 60 VA, 1A max  
**Contact Fail-Safe:** Power loss; Hold last  
**Echo Loss:** Open, close or hold last



LVCN210.

**Hysteresis:** Selectable  
**Process Temp:** -7 to 60°C (20 to 140°F)  
**Temp Comp:** Automatic  
**Ambient Temp:** -35 to 60°C (-31 to 140°F)  
**Pressure:** Maximum Working Pressure = 2 bar (30 psi)  
**Enclosure Rating:** Type 6P, encapsulated, corrosion resistant and submersible  
**Enclosure Material:** Polycarbonate  
**Trans. Material:** PVDF  
**Cable Jacket Mat:** Polyurethane  
**Cable Type:** 9-conductor, shielded  
**Cable Length:** 1.2 m (48")  
**Process Mount:** 1 NPT (1" G optional)  
**Mount Gasket:** FKM  
**Classification:** General purpose  
**Compliance:** CE, RoHS



To Order Visit [omega.com/lvcn210](http://omega.com/lvcn210) for Pricing and Details

Model No.	Description
LVCN210	Level transmitter 4 to 20 mA and 4 relays, and USB connector, range 3 m (9.8')
LVCN210-B	Level transmitter 4 to 20 mA and 4 relays (requires LVCN414-USB), range 3 m (9.8')
LVM-31	Side mounting bracket 1 NPT for schedule 40
LVU800-2N40	2 NPT to 1 NPT reducer for schedule 40
LVCN414-USB	USB connector

Comes complete with mounting gasket and operator's manual.  
 For units with G threads add "G" to model number, for additional cost.  
 Configuration software for programming available free at [omega.com/ftp](http://omega.com/ftp)  
**Ordering Example:** LVCN210, level transmitter with relays and USB connector, 1 NPT, 3 m (9.8') range.

K-1

K

## Sensor de nivel ultrasónico UFM



### Ventajas

- Principio de medición sin contacto
- Opciones para medición de distancia, volumen y nivel
- Opcional con salidad continua o relés

### Usos

- El UFM es un sensor de ultrasonidos para la medición continua del nivel sin contacto con el fluido.

### Aplicaciones

- En depósitos o contenedores en prácticamente toda la industria.
- Adecuado para líquidos agresivos y neutros si las partes en contacto del sensor son resistentes al medio (vapor) de acuerdo con la tabla de resistencia de ASV.
- No es adecuado para medios donde se pueda formar espuma.

### Función

- El sensor consta de un transductor ultrasónico el cual continuamente transmite impulsos cortos de ultrasonidos a la superficie del medio. Los impulsos son recibidos por el sensor en forma de ecos.
- El tiempo entre la transmisión y la recepción de los pulsos se mide. Este tiempo es proporcional a la distancia y por lo tanto a la altura de llenado del medio. La conversión de estos valores a p.ej. distancia, altura de llenado y volumen se realiza mediante procesador en el cabezal de conexión.
- Los valores de salida se pueden visualizar mediante LCD y/o transmitir a través de las salidas correspondientes.
- Dispone de versiones con salida de 4 relés programables, salida de corriente a 4 hilos o 2 hilos.
- En la versión a dos hilos, la misma conexión se utiliza para la señal de salida y para la alimentación.

### Versión

- Versión de relé [Relay]
- Versión de corriente [4 hilos]
- Versión de corriente [2 hilos]

### Señal De Salida

- Versión de relé:
  - 4 relés de cierre, NO, 8 A/ 230 VCA
  - Función de conmutación NC/NO programable
- Versión de corriente (Sistema de 4 hilos):
  - 0/4 ... 20 mA
  - el nivel de llenado min./ max. es ajustable
- Versión de corriente (Sistema de 2 hilos):
  - 4 ... 20 mA
  - el nivel de llenado min./ max. es ajustable

### Operación

- Versión de relé
  - con unidad de visualización y mando
- Versión señal 4 hilos
  - mediante potenciómetro integrado
  - opcional unidad de visualización y control (Display)
- Versión señal 2 hilos
  - mediante pulsadores en el cabezal

### Cabeza De Conexión

- Carcasa: PP, reforzado con fibra de vidrio
- Tapa de la carcasa: PP, reforzado con fibra de vidrio
- Junta de la tapa: NBR

### Sensor

- Carcasa del sensor: PVDF
- Juntas de sensor: FPM

### Conexión Del Proceso

- conexión roscada: 1 1/2"

### Principio De Medición

- Ultrasonidos

### Magnitud De Medida

- nivel de llenado
- zona muerta: 0,25 m
- resolución de medición  $\leq 1$  mm
- precisión  $\pm 0,2\%$ FS
- variación temperatura max. 0,04 % /K
- frecuencia de ultrasonidos 75 kHz
- ángulo del haz (-3dB) 14°
- Intervalo de medición 1,4 sec

### Rango De Medición

- 0,25 - 6 m

### Tensión De Alimentación

- 18 ... 30 VCC

### Cable De Conexión

- Diámetro exterior del cable 7 a 13 mm
- Sección nominal máx. 1,5 mm<sup>2</sup>

### Clase De Protección

- cabezal: IP67
- sensor: IP68

### Temperatura Ambiente

- -20 ... +70°C

### Presión Ambiente

- 0,8 ... 1,1 bar

**Humedad Relativa Del Aire**

- 20 ... 85%

**Posición De Montaje**

- vertical.

**Accesorios**

- Unidad de visualización y control  
Código.: 141032

**Unidad De Visualización Y Control**

- Carcasa: ABS
- Tapa de la carcasa: PA, transparente
- Indicación: Pantalla LCD gráfica con iluminación
- Elementos de mando: 4 teclas
- Carátula: poliéster
- La unidad de visualización y control es absolutamente necesaria para el ajuste de la versión relé
- Los parámetros ajustados se pueden guardar y copiar en otro sensor
- Después de la calibración el display puede retirarse del sensor

**Anexo F.** Hoja de datos (parcial) del adaptador I2C y su chip PCF8574.



## I2C Serial Interface 1602 LCD Module

This is I2C interface 16x2 LCD display module, a high-quality 2 line 16 character LCD module with on-board contrast control adjustment, backlight and I2C communication interface. For Arduino beginners, no more cumbersome and complex LCD driver circuit connection. The real significance advantages of this I2C Serial LCD module will simplify the circuit connection, save some I/O pins on Arduino board, simplified firmware development with widely available Arduino library.



SKU: [DSP-1182](#)

### Brief Data:

- Compatible with Arduino Board or other controller board with I2C bus.
- Display Type: Negative white on Blue backlight.
- I2C Address: 0x38-0x3F (0x3F default)
- Supply voltage: 5V
- Interface: I2C to 4bits LCD data and control lines.
- Contrast Adjustment: built-in Potentiometer.
- Backlight Control: Firmware or jumper wire.
- Board Size: 80x36 mm.

### Setting Up:

Hitachi's HD44780 based character LCD are very cheap and widely available, and is an essential part for any project that displays information. Using the LCD piggy-back board, desired data can be displayed on the LCD through the I2C bus. In principle, such backpacks are built around PCF8574 (from NXP) which is a general purpose bidirectional 8 bit I/O port expander that uses the I2C protocol. The PCF8574 is a silicon CMOS circuit provides general purpose remote I/O expansion (an 8-bit quasi-bidirectional) for most microcontroller families via the two-line bidirectional bus (I2C-bus). Note that most piggy-back modules are centered around PCF8574T (SO16 package of PCF8574 in DIP16 package) with a default slave address of 0x27. If your piggy-back board holds a PCF8574AT chip, then the default slave address will change to 0x3F. In short, if the piggy-back board is based on PCF8574T and the address connections (A0-A1-A2) are not bridged with solder it will have the slave address 0x27.



Address selection pads in the I2C-to-LCD piggy-back board.

Table 5. PCF8574A address map

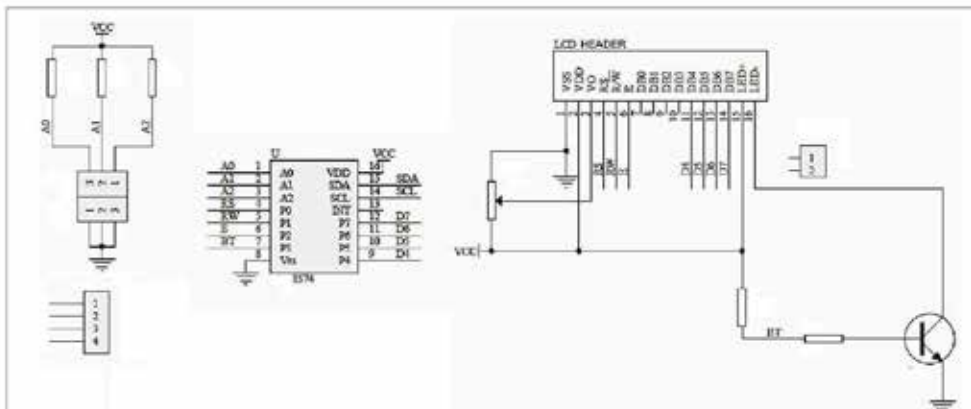
Pin connectivity			Address of PCF8574A								Address byte value		7-bit hexadecimal address without R/W
A2	A1	A0	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	R/W	Write	Read	
V <sub>SS</sub>	V <sub>SS</sub>	V <sub>SS</sub>	0	1	1	1	0	0	0	-	70h	71h	38h
V <sub>SS</sub>	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	0	1	1	1	0	0	1	-	72h	73h	39h
V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	0	1	1	1	0	1	0	-	74h	75h	3Ah
V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	V <sub>DD</sub>	0	1	1	1	0	1	1	-	76h	77h	3Bh
V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	V <sub>SS</sub>	0	1	1	1	1	0	0	-	78h	79h	3Ch
V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	0	1	1	1	1	0	1	-	7Ah	7Bh	3Dh
V <sub>DD</sub>	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	0	1	1	1	1	1	0	-	7Ch	7Dh	3Eh
V <sub>DD</sub>	V <sub>DD</sub>	V <sub>DD</sub>	0	1	1	1	1	1	1	-	7Eh	7Fh	3Fh

Address Setting of PCF8574A (extract from PCF8574A data specs).

*Note: When the pad A0-A2 is open, the pin is pull up to VDD. When the pin is solder shorted, it is pull down to VSS.*

*The default setting of this module is A0-A2 all open, so is pull up to VDD. The address is 3Fh in this case.*

Reference circuit diagram of an Arduino-compatible LCD backpack is shown below. What follows next is information on how to use one of these inexpensive backpacks to interface with a microcontroller in ways it was exactly intended.



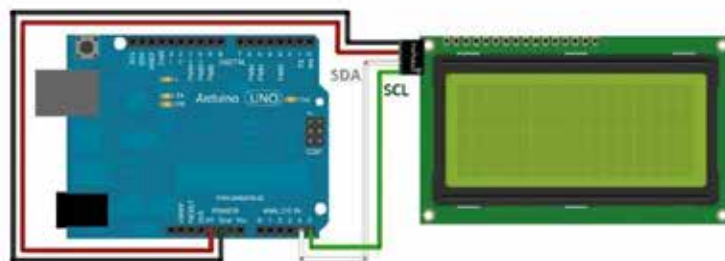
Reference circuit diagram of the I2C-to-LCD piggy-back board.

### I2C LCD Display.

At first you need to solder the I2C-to-LCD piggy-back board to the 16-pins LCD module. Ensure that the I2C-to-LCD piggy-back board pins are straight and fit in the LCD module, then solder in the first pin while keeping the I2C-to-LCD piggy-back board in the same plane with the LCD module. Once you have finished the soldering work, get four jumper wires and connect the LCD module to your Arduino as per the instruction given below.



LCD display to Arduino wiring.



Remote 8-bit I/O expander for I<sup>2</sup>C-bus

PCF8574

**1 FEATURES**

- Operating supply voltage 2.5 to 6 V
- Low standby current consumption of 10  $\mu$ A maximum
- I<sup>2</sup>C to parallel port expander
- Open-drain interrupt output
- 8-bit remote I/O port for the I<sup>2</sup>C-bus
- Compatible with most microcontrollers
- Latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs
- Address by 3 hardware address pins for use of up to 8 devices (up to 16 with PCF8574A)
- DIP16, or space-saving SO16 or SSOP20 packages.

**2 GENERAL DESCRIPTION**

The PCF8574 is a silicon CMOS circuit. It provides general purpose remote I/O expansion for most microcontroller families via the two-line bidirectional bus (I<sup>2</sup>C).

The device consists of an 8-bit quasi-bidirectional port and an I<sup>2</sup>C-bus interface. The PCF8574 has a low current consumption and includes latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs. It also possesses an interrupt line ( $\overline{\text{INT}}$ ) which can be connected to the interrupt logic of the microcontroller. By sending an interrupt signal on this line, the remote I/O can inform the microcontroller if there is incoming data on its ports without having to communicate via the I<sup>2</sup>C-bus. This means that the PCF8574 can remain a simple slave device.

The PCF8574 and PCF8574A versions differ only in their slave address as shown in Fig.9.

**3 ORDERING INFORMATION**

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCF8574P; PCF8574AP	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)	SOT38-1
PCF8574T; PCF8574AT	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1
PCF8574TS	SSOP20	plastic shrink small outline package; 20 leads; body width 4.4 mm	SOT266-1

Remote 8-bit I/O expander for I<sup>2</sup>C-bus

PCF8574

4 BLOCK DIAGRAM

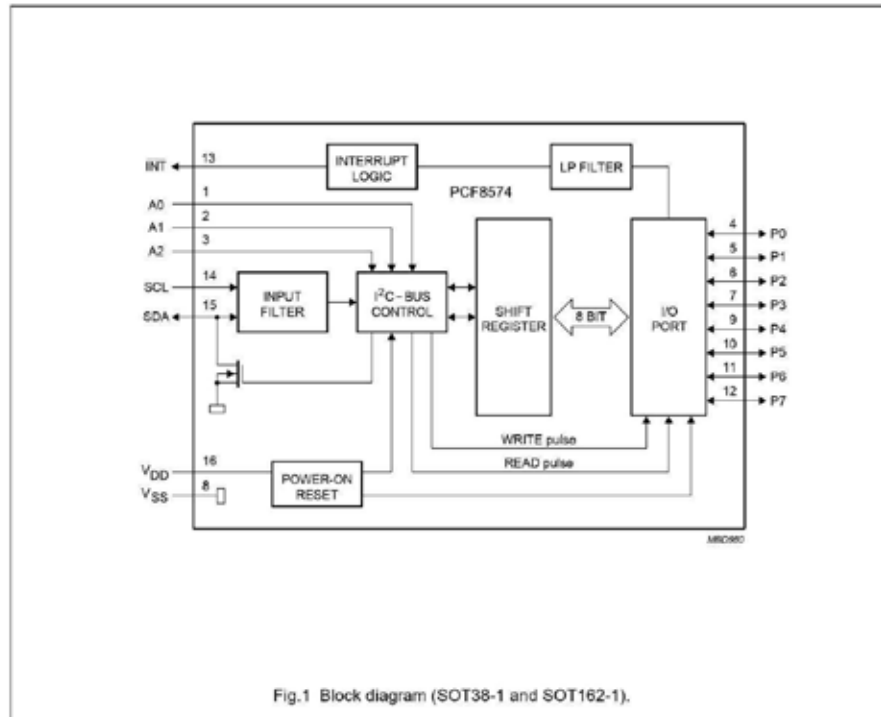


Fig.1 Block diagram (SOT38-1 and SOT162-1).

Remote 8-bit I/O expander for I<sup>2</sup>C-bus

PCF8574

5 PINNING

SYMBOL	PIN		DESCRIPTION
	DIP16; SO16	SSOP20	
A0	1	6	address input 0
A1	2	7	address input 1
A2	3	9	address input 2
P0	4	10	quasi-bidirectional I/O 0
P1	5	11	quasi-bidirectional I/O 1
P2	6	12	quasi-bidirectional I/O 2
P3	7	14	quasi-bidirectional I/O 3
V <sub>SS</sub>	8	15	supply ground
P4	9	16	quasi-bidirectional I/O 4
P5	10	17	quasi-bidirectional I/O 5
P6	11	19	quasi-bidirectional I/O 6
P7	12	20	quasi-bidirectional I/O 7
INT	13	1	interrupt output (active LOW)
SCL	14	2	serial clock line
SDA	15	4	serial data line
V <sub>DD</sub>	16	5	supply voltage
n.c.	-	3	not connected
n.c.	-	8	not connected
n.c.	-	13	not connected
n.c.	-	18	not connected

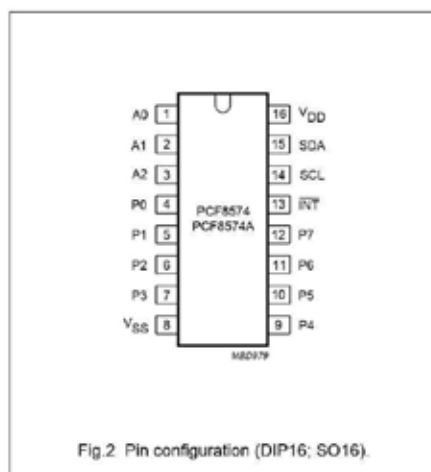


Fig.2 Pin configuration (DIP16; SO16).

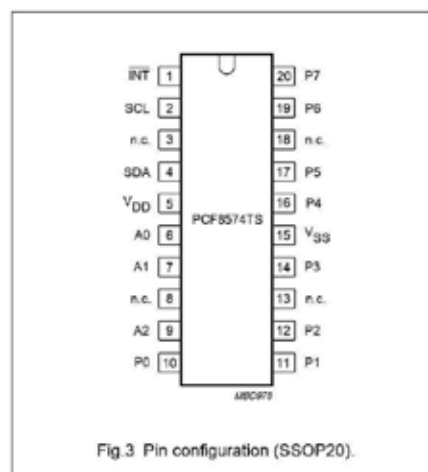


Fig.3 Pin configuration (SSOP20).

**Anexo G.** Hoja de datos (parcial) de la termocupla tipo J de la empresa fabricante CEIV.

# Termopar tipo J (°C)

Tabla termopar tipo J, Voltaje como una función de la Temperatura (°C)  
[www.ceiv.com.mx](http://www.ceiv.com.mx) | [info@ceiv.com.mx](mailto:info@ceiv.com.mx)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Comportamiento Termico electrico en mV												
250	13.555	13.611	13.666	13.722	13.777	13.833	13.888	13.944	13.999	14.055	14.110	250
260	14.110	14.166	14.221	14.277	14.332	14.388	14.443	14.499	14.554	14.609	14.665	260
270	14.665	14.720	14.776	14.831	14.887	14.942	14.998	15.053	15.109	15.164	15.219	270
280	15.219	15.275	15.330	15.386	15.441	15.496	15.552	15.607	15.663	15.718	15.773	280
290	15.773	15.829	15.884	15.940	15.995	16.050	16.106	16.161	16.216	16.272	16.327	290
300	16.327	16.383	16.438	16.493	16.549	16.604	16.659	16.715	16.770	16.825	16.881	300
310	16.881	16.936	16.991	17.046	17.102	17.157	17.212	17.268	17.323	17.378	17.434	310
320	17.434	17.489	17.544	17.599	17.655	17.710	17.765	17.820	17.876	17.931	17.986	320
330	17.986	18.041	18.097	18.152	18.207	18.262	18.318	18.373	18.428	18.483	18.538	330
340	18.538	18.594	18.649	18.704	18.759	18.814	18.870	18.925	18.980	19.035	19.090	340
350	19.090	19.146	19.201	19.256	19.311	19.366	19.422	19.477	19.532	19.587	19.642	350
360	19.642	19.697	19.753	19.808	19.863	19.918	19.973	20.028	20.083	20.139	20.194	360
370	20.194	20.249	20.304	20.359	20.414	20.469	20.525	20.580	20.635	20.690	20.745	370
380	20.745	20.800	20.855	20.911	20.966	21.021	21.076	21.131	21.186	21.241	21.297	380
390	21.297	21.352	21.407	21.462	21.517	21.572	21.627	21.683	21.738	21.793	21.848	390
400	21.848	21.903	21.958	22.014	22.069	22.124	22.179	22.234	22.289	22.345	22.400	400
410	22.400	22.455	22.510	22.565	22.620	22.676	22.731	22.786	22.841	22.896	22.952	410
420	22.952	23.007	23.062	23.117	23.172	23.228	23.283	23.338	23.393	23.449	23.504	420
430	23.504	23.559	23.614	23.670	23.725	23.780	23.835	23.891	23.946	24.001	24.057	430
440	24.057	24.112	24.167	24.223	24.278	24.333	24.389	24.444	24.499	24.555	24.610	440
450	24.610	24.665	24.721	24.776	24.832	24.887	24.943	24.998	25.053	25.109	25.164	450
460	25.164	25.220	25.275	25.331	25.386	25.442	25.497	25.553	25.608	25.664	25.720	460
470	25.720	25.775	25.831	25.886	25.942	25.998	26.053	26.109	26.165	26.220	26.276	470
480	26.276	26.332	26.387	26.443	26.499	26.555	26.610	26.666	26.722	26.778	26.834	480
490	26.834	26.889	26.945	27.001	27.057	27.113	27.169	27.225	27.281	27.337	27.393	490
500	27.393	27.449	27.505	27.561	27.617	27.673	27.729	27.785	27.841	27.897	27.953	500
510	27.953	28.010	28.066	28.122	28.178	28.234	28.291	28.347	28.403	28.460	28.516	510
520	28.516	28.572	28.629	28.685	28.741	28.798	28.854	28.911	28.967	29.024	29.080	520
530	29.080	29.137	29.194	29.250	29.307	29.363	29.420	29.477	29.534	29.590	29.647	530
540	29.647	29.704	29.761	29.818	29.874	29.931	29.988	30.045	30.102	30.159	30.216	540
550	30.216	30.273	30.330	30.387	30.444	30.502	30.559	30.616	30.673	30.730	30.788	550
560	30.788	30.845	30.902	30.960	31.017	31.074	31.132	31.189	31.247	31.304	31.362	560
570	31.362	31.419	31.477	31.535	31.592	31.650	31.708	31.766	31.823	31.881	31.939	570
580	31.939	31.997	32.055	32.113	32.171	32.229	32.287	32.345	32.403	32.461	32.519	580
590	32.519	32.577	32.636	32.694	32.752	32.810	32.869	32.927	32.985	33.044	33.102	590
600	33.102	33.161	33.219	33.278	33.337	33.395	33.454	33.513	33.571	33.630	33.689	600
610	33.689	33.748	33.807	33.866	33.925	33.984	34.043	34.102	34.161	34.220	34.279	610
620	34.279	34.338	34.397	34.457	34.516	34.575	34.635	34.694	34.754	34.813	34.873	620
630	34.873	34.932	34.992	35.051	35.111	35.171	35.230	35.290	35.350	35.410	35.470	630
640	35.470	35.530	35.590	35.650	35.710	35.770	35.830	35.890	35.950	36.010	36.071	640

**Anexo H.** Hoja de datos (parcial) del integrado LM335.



## LM135-LM235-LM335

### Precision temperature sensors

#### Features

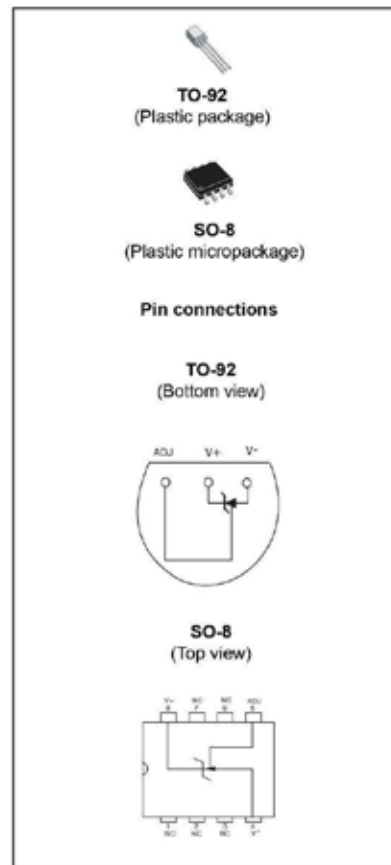
- Directly calibrated in °K
- 1°C initial accuracy
- Operates from 450µA to 5mA
- Less than 1Ω dynamic impedance

#### Description

The LM135, LM235, LM335 are precision temperature sensors which can be easily calibrated. They operate as a 2-terminal Zener and the breakdown voltage is directly proportional to the absolute temperature at 10mV/°K.

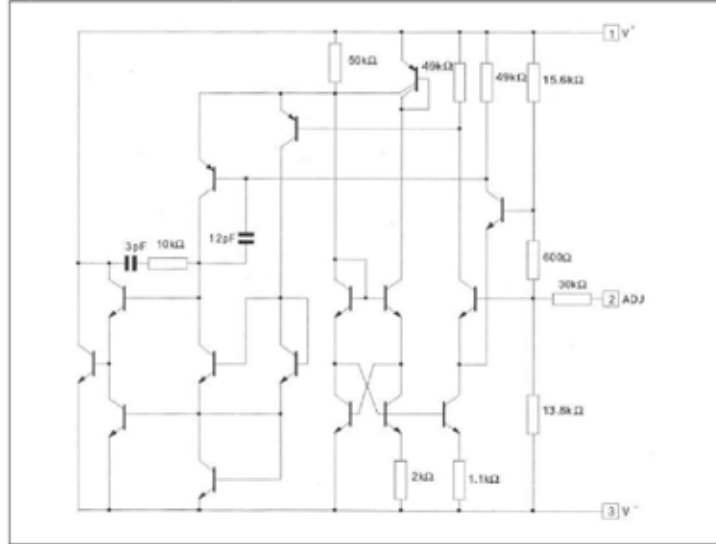
The circuit has a dynamic impedance of less than 1Ω and operates within a range of current from 450µA to 5mA without alteration of its characteristics.

Calibrated at +25°C, the LM135, LM235, and LM335 have a typical error of less than 1°C over a 100°C temperature range. Unlike other sensors, the LM135, LM235, LM335 have a linear output.



## 1 Schematic diagram

Figure 1. Schematic diagram



## 2 Absolute maximum ratings

Table 1. Absolute maximum ratings (AMR)

Symbol	Parameter	LM135	LM235	LM335- LM335A	Unit
$I_R$ $I_F$	Current Reverse Forward		15 10		mA
$T_{oper}$	Operating free-air temperature range <sup>(1)</sup> Continuous Intermittent	-55 to +150 +150 to +200	-40 to +125 +125 to +150	-40 to +100 +100 to +125	°C
$T_{slg}$	Storage temperature range		-65 to +150		°C

1.  $T_j \leq 150^\circ\text{C}$

### 3 Temperature accuracy

Table 2. Temperature accuracy

Parameter	LM135 - LM235 - LM335A			LM335			Unit
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Operating output voltage $T_{case} = +25^{\circ}C, I_R = 1mA$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated temperature error ( $I_R = 1mA$ ) $T_{case} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{case} \leq T_{max}$		1 2	3 5		4 5	6 9	$^{\circ}C$
Temperature error with $25^{\circ}C$ calibration $T_{min} \leq T_{case} \leq T_{max}, I_R = 1mA$ LM135 - LM235 LM335 LM335A		0.5 0.5	1.5 1		1 2		$^{\circ}C$
Calibrated error at extended temperature $T_{case} = T_{max}$ (intermittent)		2			2		$^{\circ}C$
Non-linearity ( $I_R = 1mA$ ) LM135 - LM235 LM335 LM335A		0.3 0.3	1 1.5		0.3	1.5	$^{\circ}C$

### 4 Electrical characteristics

Table 3. Electrical characteristics

Parameter	LM135 - LM235			LM335-LM335A			Unit
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Operating output voltage change with current $450\mu A \leq I_R \leq 5mA$ at constant temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic impedance ( $I_R = 1mA$ )		0.5			0.6		$\Omega$
Output voltage temperature drift		+10			+10		mV/ $^{\circ}C$
Time constant Still air Air 0.5m/s Stirred oil		80 10 1			80 10 1		s
Time stability ( $T_{case} = +125^{\circ}C$ )		0.2			0.2		$^{\circ}C/kh$

Note: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self-heating must be considered

Figure 2. Reverse voltage change

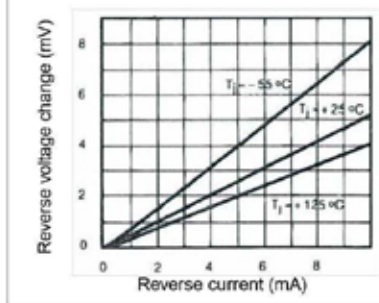


Figure 3. Calibrated error

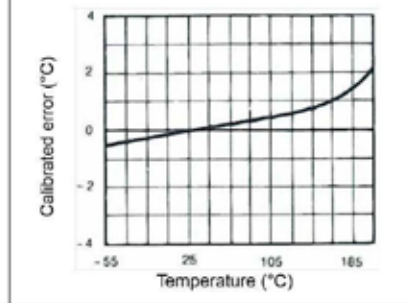


Figure 4. Reverse characteristics

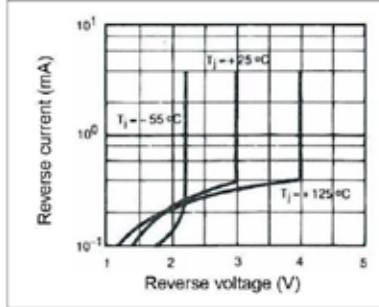


Figure 5. Response time

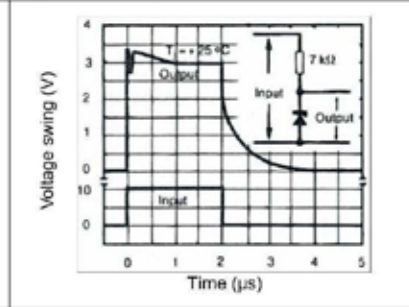


Figure 6. Dynamic impedance

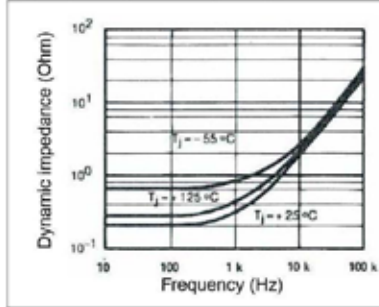


Figure 7. Noise voltage

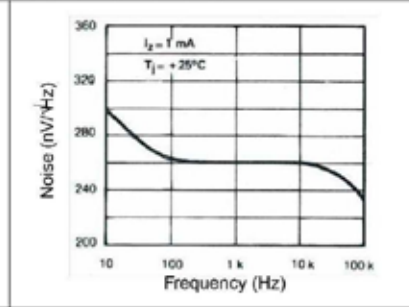


Figure 8. Thermal resistance junction to air

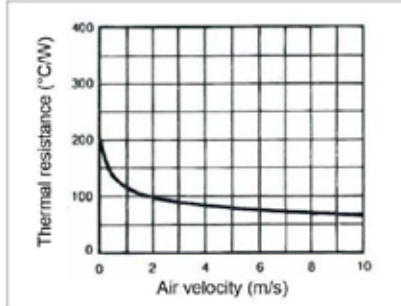


Figure 9. Thermal time constant

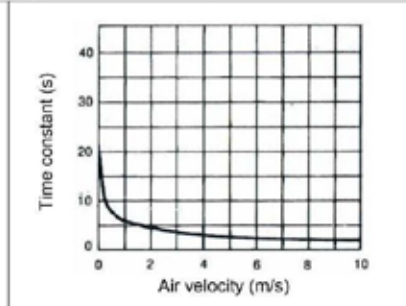


Figure 10. Thermal response in still air

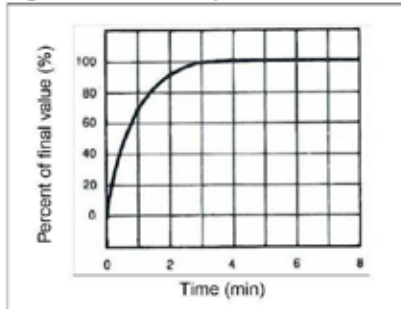


Figure 11. Thermal response in stirred oil bath

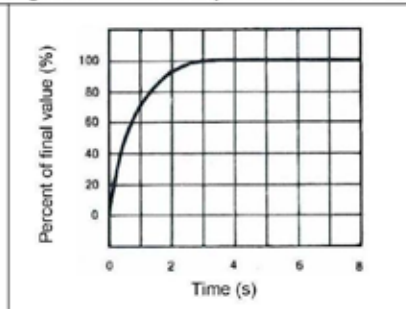
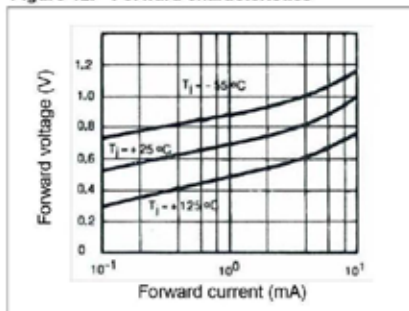


Figure 12. Forward characteristics



## **APÉNDICES**

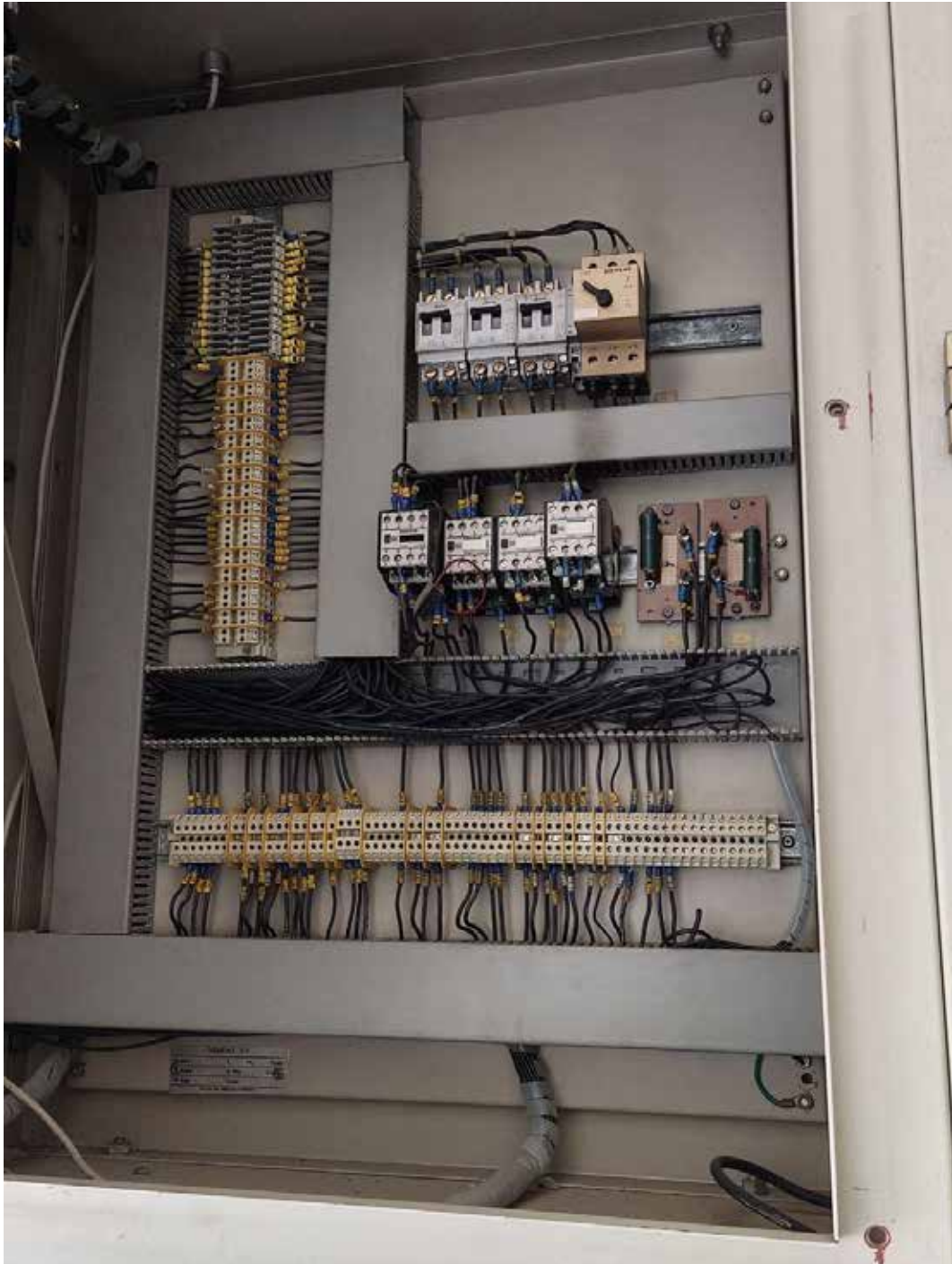
**Apéndice A.** Imágenes del transformador y el recinto.











**Apéndice B.** Lista de cotejo realizada al ingeniero de sistemas eléctricos de potencia.

Instrumento aplicado al ingeniero eléctrico de sistemas de potencia para evaluar la eficiencia y condiciones del proceso de monitoreo del transformador de la subestación eléctrica		
Criterios	Sí cumple	No cumple
<b>Eficiencia:</b> Permite al operario evaluar las condiciones de operación de la máquina de una manera cómoda y accesible.		
<b>Funcionalidad:</b> Permite al operario realizar su trabajo, sin considerar el gasto de los recursos (como el tiempo).		
<b>Precisión:</b> Las mediciones son los más cercanos a la realidad, permitiendo tomar decisiones adecuadas para el mantenimiento de la máquina.		
<b>Seguro:</b> Permite que la evaluación de las condiciones de la máquina se haga sin poner en peligro la integridad física de la persona.		
<b>Prevención de fallas:</b> Permite diagnosticar de manera óptima la máquina para poder realizar el mantenimiento adecuado y prevenir fallas.		
Según la cantidad de criterios cumplidos, se tiene el nivel de desempeño presentado de manera cualitativa.		
Valoración de los criterios	Nivel de desempeño	
Cinco criterios cumplidos	Destacado	
Cuatro criterios cumplidos	Suficiente	
Solo un criterio cumplido	Insuficiente	

**Apéndice C.** Ejemplo representativo de código en lenguaje C/C++ para la programación del Arduino.





