

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**ANÁLISIS DE LA CAPACITANCIA Y CONDUCTANCIA  
DEL MÓDULO AM2302 PARA EL MONITOREO DE  
TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LOS PAÑALES DE  
MUNICIÓN DE LAS FRAGATAS MISILERAS**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**SEGUNDA ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN**  
**ELECTRÓNICA NAVAL**

**PRESENTADA POR**

**Lic. SILVA GURRIONERO, DONNA MELODY**  
**Lic. BALLESTEROS MONZON, MELISSA DEL**  
**CARMEN**

**Asesor: Mg. Ing. GONZÁLES PRADO, JULIO CÉSAR**

**LIMA - PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A nuestras madres que siempre están  
en cada momento de nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial a la Universidad Ricardo Palma, y en especial a la plana docente.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 Marco situacional.....	3
1.2 Antecedentes relacionados a la investigación .....	5
<b>CAPÍTULO II: PROPIEDAD DE LA CAPACITANCIA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Capacitor .....	9
2.2 Campo eléctrico.....	9
2.3 Simbología .....	11
2.4 Capacitancia .....	12
2.5 Herramientas de análisis .....	13
2.5.1 Constantes eléctricas fundamentales .....	13
2.5.2 Carga de un electrón.....	14
2.5.3 Ley de coulomb .....	14
2.5.4 Ley de gauss.....	15
2.6 Capacitancia en el sensor de placas paralelas (capacitor con vacío) .....	15
2.7 Propiedades físico químicas del agua.....	20
<b>CAPÍTULO III: PROPIEDAD DE LA CONDUCTANCIA .....</b>	<b>24</b>
3.1 Resistividad.....	24
3.2 Resistividad y Temperatura.....	25
3.3 Resistencia .....	27
3.4 Termistor .....	28
3.4.1 Análisis de las ventajas y desventajas entre los sensores de temperatura.....	31
3.5 Conductancia.....	33
3.6 Componentes básicos de los termistores.....	34
3.6.1 Óxido de itrio.....	34
3.6.2 Óxido de cobre .....	35
3.6.3 Óxido de bario.....	35
<b>CAPÍTULO IV: COMPONENTES DEL SISTEMA DE MONITOREO DE HUMEDAD Y TEMPERATURA .....</b>	<b>38</b>
4.1 Arduino Mega 2560 .....	38

4.1.2 Especificaciones técnicas de la placa AT mega 2560 .....	38
4.2 Módulo AM2302 .....	40
4.2.1 Asignaciones de pin.....	41
4.2.2 Características eléctricas.....	42
4.2.3 Desempeño del sensor .....	43
4.2.3.1 Parámetros del sensor de humedad .....	43
4.2.3.2 Parámetros del sensor de temperatura .....	43
4.2.4 Protocolo de comunicación de bus único .....	44
4.2.4 Bus individual para enviar la definición de datos.....	44
4.2.4.1 Consideraciones en la comunicación de bus único .....	45
4.3 Pantalla LCD.....	46
<b>CAPÍTULO V: DISEÑO Y UBICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA.....</b>	<b>48</b>
5.1 Ubicación del Proyecto .....	48
5.1.1 Pañol de munición.....	49
5.2 Programación .....	51
5.2.1 Estructura.....	51
5.2.2 Valores (variables y constantes) .....	51
5.2.3 Funciones .....	51
<b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
6.1 Cálculo de la capacitancia en condiciones simuladas .....	53
6.1.1 Capacitancia entre placas .....	53
6.1.2 Campo eléctrico.....	54
6.2 Cálculo de la conductancia en condiciones simuladas.....	56
6.3 Presentación del análisis de data y estadígrafos .....	57
6.4 Parámetros calculados y evaluados.....	66
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Comparación entre diversos sensores de temperatura .....	31
Tabla N° 2: Resistencias de termistores más frecuentes (comerciales):.....	32
Tabla N° 3: Parámetros del módulo AM2302 .....	40
Tabla N° 4: Configuración de pines del módulo AM2302 .....	40
Tabla N° 5: Características eléctricas del módulo AM2302.....	41
Tabla N° 6: Parámetros del sensor de humedad .....	42
Tabla N° 7: Parámetros del sensor de Temperatura .....	42
Tabla N° 8: Frecuencias - Variación de voltaje .....	55
Tabla N° 9: Estadísticos en la variación de voltaje .....	56
Tabla N° 10: Frecuencia - Estabilidad de corriente mA.....	56
Tabla N° 11: Estadísticos en la Estabilidad de corriente $\mu$ A.....	56
Tabla N° 12: Frecuencias - Tiempo de respuesta sensor (s).....	57
Tabla N° 13: Estadísticos - Tiempo de respuesta sensor (s).....	57
Tabla N° 14: Frecuencia - Distancia de efectividad por convección en espacio cerrado – amago (m) .....	58
Tabla N° 15: Estadísticos - Distancia de efectividad por convección en espacio cerrado – amago (m) .....	58
Tabla N° 16: Distancia de efectividad por conducción en espacio cerrado calentamiento por amago (m).....	59
Tabla N° 17: Distancia de efectividad por conducción en espacio cerrado – calentamiento por amago (m).....	59
Tabla N° 18: Frecuencias - Medición mínima sensada por variaciones de Temperatura ( $^{\circ}$ C) .....	60
Tabla N° 19: Estadísticos - Medición mínima sensada por variaciones de Temperatura ( $^{\circ}$ C) .....	60
Tabla N° 20: Frecuencias - Medición mínima sensada por variaciones de humedad (%).....	61
Tabla N° 21: Estadísticos - Medición mínima sensada por variaciones de humedad (%).....	61
Tabla N° 22: Precisión en condiciones de repetitividad en periodos cortos.....	62
Tabla N° 23: Estadísticos - Precisión en condiciones de repetitividad en periodos cortos .....	62

Tabla N° 24: Frecuencia en la medición de la Precisión en condiciones diarias.....	63
Tabla N° 25: Estadísticos - Precisión en condiciones diarias .....	63
Tabla N° 26: Test de investigación electrónica .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Símbolo del capacitor en estado no polarizado.....	11
Figura N° 2: Símbolo del capacitor polarizado.....	11
Figura N° 3: Campo eléctrico entre placas paralelas con cargas opuestas.....	16
Figura N° 4: Modelo idealizado del campo eléctrico.....	16
Figura N° 5: Placas conductoras con cargas opuestas.....	18
Figura N° 6: Moléculas del agua en forma de V.....	21
Figura N° 7: Representación espacial bidimensional de la molécula de agua.....	21
Figura N° 8: Molécula de agua con carga eléctrica .....	21
Figura N° 9: Flujo de corriente .....	28
Figura N° 10: Símbolo del termistor ntc .....	29
Figura N° 11: Termistor del módulo AM2302 .....	29
Figura N° 12: Comportamiento de los sensores en función a la temperatura .....	29
Figura N° 13: Configuración de la molécula del óxido de itrio.....	33
Figura N° 14: Configuración de la molécula del óxido de cobre.....	34
Figura N° 15: Configuración de la molécula del óxido de bario .....	35
Figura N° 16: Placa Arduino MEGA 2560.....	38
Figura N° 17: Conexiones del procesador ATmega 2560 .....	38
Figura N° 18: Diagrama de salida de pines.....	41
Figura N° 19: Protocolo de comunicación de bus único AM2302 .....	43
Figura N° 20: Circuito y comunicación del procesador AM2302 .....	44
Figura N° 21: Vista frontal de la pantalla LCD 4x20 .....	45
Figura N° 22: Vista posterior de la pantalla LCD 4x20.....	46
Figura N° 23: Fragata Misilera FM-58 en Operaciones con Helicóptero .....	47
Figura N° 24: Montaje 127/54 mm. de la Fragata Misilera Clase Carbajal / Aguirre ...	47
Figura N° 25: Sensores instalados por diseño en las Fragatas misileras Clase Carbajal y Aguirre.....	48
Figura N° 26: Imagen referencial de la munición 127/54 mm.....	48
Figura N° 27: Diseño sintetizado para la medición de temperatura y humedad – FM ..	49
Figura N° 28: Captura de Pantalla .....	50
Figura N° 29: Puesta a punto del diseño de medición de temperatura y humedad Módulo AM2302.....	51



## RESUMEN

El presente trabajo académico denominado: “Análisis de la Capacitancia y Conductancia del Módulo AM2302 para el Monitoreo de Temperatura y Humedad en los compartimentos de Munición de las Fragatas Misileras”, es del tipo descriptiva, de diseño experimental, analiza la capacitancia en el capacitor de placas paralelas a fin de comprender parte de los aspectos teóricos del fenómeno eléctrico que sensan la humedad en el aire, debido a las propiedades del agua; asimismo, se analiza la propiedad de la conductancia en el termistor globular a bases de óxido de itrio, bario y cobre, a fin de comprender su comportamiento. Se concluye que el capacitor de placas paralelas del módulo AM2302 tiene un valor de  $2.12 \times 10^{-13}$  Faradios (dos fracciones de mil millonésimas partes de un Faradio), por lo tanto, genera un campo eléctrico que usa como dieléctrico al aire, por lo que, correctamente instalado permite el monitoreo de la humedad, en cualquier ambiente con menos de 50% de humedad, como en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú. Asimismo, se concluye que el termistor globular del módulo AM2302 tiene una conductancia desde 0.1 S (siemens), lo cual garantiza un mayor flujo de electrones a través del semiconductor a base de itrio, cobre y bario, por lo que instalado correctamente permite el monitoreo de la temperatura, en cualquier ambiente con menos de 30 °C, como en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú. Este trabajo pretende develar parte de la ciencia detrás de los sensores del módulo AM2302.

**Palabras claves:** Capacitancia, Conductancia, AM2302, Humedad, Campo eléctrico, Arduino Mega 2560, Temperatura.

## ABSTRACT

The present academic work called: "Analysis of the Capacitance and Conductance of the Module AM2302 for the Monitoring of Temperature and Humidity in the Ammunition Compartments of the Missile Frigates", is of the descriptive type, of experimental design, analyzes the capacitance in the capacitor of parallel plates in order to understand part of the theoretical aspects of the electrical phenomenon that senses moisture in the air, due to the properties of water; Likewise, the property of the conductance in the globular thermistor to bases of yttrium, barium and copper oxide is analyzed in order to understand its behavior. It is concluded that the capacitor of parallel plates of the AM2302 module has a value of  $2.12 \times 10^{-13}$  Farads (two fractions of one thousand millionths of a Faradio), therefore, it generates an electric field that it uses as dielectric to the air, so that, correctly installed, allows the monitoring of humidity, in any environment with less than 50% humidity, as in the ammunition magazines of a Misilera Class Aguirre or Carbajal of the Navy of Peru. Likewise, it is concluded that the globular thermistor of the AM2302 module has a conductance from 0.1 S (siemens), which guarantees a greater flow of electrons through the semiconductor based on yttrium, copper and barium, so that correctly installed allows monitoring of the temperature, in any environment with less than  $30^{\circ} \text{C}$ , as in the ammunition magazines of a Misilera Class Aguirre or Carbajal Frigate of the Navy of Peru. This work aims to reveal part of the science behind the sensors of the AM2302 module.

**Keywords:** Capacitance, Conductance, AM2302, Humidity, Electric field, Arduino Mega 2560, Temperature.

## INTRODUCCIÓN

Una gran parte de los actuales sistemas de información y control empleados por las Instituciones públicas y privadas para la seguridad del material dependen de las intrincadas relaciones de las propiedades de los materiales y su comportamiento a nivel electrónico y molecular.

Más aún, cuando se requieren controlar espacios confinados con un alto riesgo de deflagración, como los son los compartimentos de munición calibre 127/54 de las fragatas misileras, en los cuales se requiere controlar las condiciones de humedad y temperatura, una excesiva humedad acelera el proceso de oxidación del revestimientos de dicha munición, por otro lado, se requiere controlar la temperatura a niveles de por lo menos 19 °C, a fin de evitar los riesgos de incendio y consecuente explosión. Para ello se requieren monitorear y controlar los cambios de temperatura.

Sin embargo, la solución tradicional será usar un sensor de temperatura y humedad ya sea integrado y fabricado para tal fin o adquirir los componentes que corresponden, de esta forma se continuaría el ciclo constante de consumismo, muy usual en nuestro medio.

Una opción diferente asociada a la competencia profesional es determinar cómo funcionan los componentes electrónicos integrados e instalados formarían parte de un control de humedad y temperatura en un buque de primera línea de la Marina de Guerra del Perú.

Por lo tanto, el tema de investigación se centra en el análisis de las propiedades de capacitancia y conductancia que se encuentran al sensar con precisión la humedad y temperatura a través del módulo comercial AM2302.

De esta forma en el Capítulo I, se explican los motivos que han dado origen a la presente investigación, así como los antecedentes de la misma, tanto nacionales como internacionales, siendo afines dichos trabajos en cuanto a la necesidad de determinar el control de la temperatura.

Asimismo, en este capítulo se ha definido el problema de investigación bajo el esquema de la siguiente pregunta problema: ¿Cómo desarrollar el diseño del esquema electrónico para el monitoreo de la humedad y la temperatura en función del tiempo, analizando los principios de la capacitancia y conductancia bajo los cuales operan los

sensores del módulo AM2302, a fin de ser implementados en el futuro en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú?

Consecuentemente, se desarrolla la justificación de la investigación, en cuanto a la utilidad de los procedimientos utilizados, así como el fin último de proporcionar información al Personal de Guardia y al Comando de la Unidad.

En el capítulo II, se estudia la propiedad de la capacitancia, teniendo como punto focal el papel y comportamiento del capacitor de placas paralelas y la formación del campo eléctrico y que polarizan el aire entre las mismas, asimismo en este capítulo se mencionan algunas constantes fundamentales necesarias para la comprensión de las propiedades a estudiarse. Asimismo, mención especial merece lo concerniente a las propiedades físico químicas del agua a nivel molecular.

En el capítulo III, se estudia la conductancia, sin embargo, como en el anterior capítulo, se realizan algunas precisiones previas como la resistividad, la relación resistividad con la temperatura, la resistencia, el comportamiento del termistor.

Asimismo, se presentan los componentes básicos de los termistores en su forma comercial tales como el óxido de Itrio, Cobre y Bario y su comportamiento al cambio de temperatura. En el capítulo IV, se estudia de forma breve los componentes del sistema de monitoreo de la humedad y temperatura en lo que se refiere a las especificaciones técnicas de la placa arduino mega 2460, módulo AM2302, pantalla de cristal líquido LCD.

En el capítulo V, se presenta de manera sucinta la ubicación y análisis esquemático del sistema. En el capítulo VI, de la presente investigación, se presenta el análisis y los resultados obtenidos del cálculo de la capacitancia y conductancia en condiciones simuladas usando las métricas obtenidas de los sensores, así como las mediciones efectuadas, y que han sido colocadas en el test electrónico efectuado al módulo AM2302.

Un grupo de conclusiones y observaciones nombrados al final de este trabajo.

# CAPÍTULO I: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 Marco situacional

El avance tecnológico ha revolucionado los controles de seguridad, por lo que ello no ha sido ajeno a los sistemas de control de temperatura en las Unidades de combate de la Armada Peruana, las cuales por diseño cuentan con sus sistemas de control de humedad y temperatura, los cuales, sin embargo, requieren modernizarse. La Marina de Guerra del Perú, es una institución tutelar del Estado Peruano, y su ámbito de permanente acción es el mar peruano, en el cumplimiento de la misión de salvaguardar y defender la soberanía nacional. Para cumplir dicha misión la institución cuenta con las Fragatas Misilera Clase Carbajal y Clase Aguirre, las cuales entre los variados sistemas de defensa de los que dispone, cuenta con sistemas de montaje calibre 127/54 mm. y 2 sistemas antiaéreos Breda Bofors y Breda Dardo 40/60 mm., respectivamente. Al respecto dichos sistemas requieren diversos proyectiles que se encuentran almacenados en compartimentos especiales de estas Unidades de Combate. Los proyectiles con los cuales funcionan los montajes citados anteriormente son sensibles a la temperatura y a la humedad, por lo que se requiere un cuidadoso control de temperatura y humedad exhaustivo, para mantener estable el ambiente a 19 ° C en los compartimentos del sistema de munición de la Fragata Misilera, considerada como un buque de guerra de primera línea.

Los compartimentos de munición, por diseño de fábrica cuentan con sistemas analógicos de control de temperatura y humedad, y dado que, por la obsolescencia de sus componentes debido a la culminación de la remanencia del tiempo de vida útil de los mismos, las lecturas de información sobre la temperatura no son estables, presentándose lecturas erróneas, ocasionando la pérdida del control y monitoreo de temperatura y humedad de los mismos, ocasionando falsas Alarmas.

En ese sentido, considerando que es una necesidad vital el mantenimiento de una temperatura adecuada de los pañoles de munición y a fin de evitar una deflagración o un incidente mayor, se propone el siguiente trabajo, el cual se basa en la determinación de los fundamentos científicos y propiedades eléctricas del sensor de humedad y de temperatura.

Al respecto, el uso de componente electrónicos en el mercado que permiten la medición y monitoreo de temperatura en espacios confinados es variada, sin embargo, la investigación, va más allá del uso de un sensor comercial, y más bien, se enfoca en el análisis y aplicación del principio de capacitancia en la generación de campos eléctricos internos y su papel en el monitoreo de la humedad; por otro lado, es de suma importancia el conocimiento del principio de la conductancia aplicado en los semiconductores empleados en el módulo AM2302, que permiten la generación de una señal que procesada a través del microcontrolador ATMEGA 2560 permite la generación de una lectura de la temperatura.

En ese sentido se define el problema general de la investigación, bajo la siguiente cuestión: ¿Cómo desarrollar el diseño del esquema electrónico para el monitoreo de la humedad y la temperatura en función del tiempo, analizando los principios de la capacitancia y conductancia bajo los cuales operan los sensores del módulo AM2302, a fin de ser implementados en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018?.

La investigación se justifica debido a que se ha efectuado un análisis de los principios técnicos aplicados en el diseño de sensores empleados en la medición de la humedad y temperatura circundante, y su aplicación en el desarrollo de la tecnología que permita la solución a problemas prácticos, y de suma importancia en Unidades de Combate de Primera Línea en las cuales se debe tener control total de los sistemas de armas y sus componentes.

Asimismo en esta investigación se ha efectuado el diseño, análisis, cálculo y experimentación del dispositivo a fin de hacerlo funcional acorde a los requerimientos de la flota de la Marina de Guerra del Perú (Fragata Misilera), por lo tanto, los beneficios esperados son cuantificables y medibles, en cuanto a la información que proporcionará el dispositivo, y lo cual coadyuvará a mantener informado al Personal de Guardia y Comando sobre la estabilidad de la temperatura en los compartimentos de munición, previniendo riesgos en material de guerra altamente sensible a cambios de temperatura, y por ende priorizando con ella la seguridad del personal en el Buque, o cuando este acoderado en un muelle en el litoral peruano, o realizando maniobras en Puerto y en Mar abierto.

## 1.2 Antecedentes relacionados a la investigación

Como primer antecedente se ha tomado en cuenta el trabajo realizado por Bonifacio (2014), de nacionalidad peruana, cuya investigación se relaciona con la nuestra, debido a que ambas plantean el control de la temperatura, emitiendo una alarma sonora; así como, en el planteamiento de los criterios para la detección de señales analógicas, cabe precisar que las señales analógicas se generan a partir de la variación del voltaje o del campo eléctrico debido al ambiente, esta es procesada y convertida en una señal digital.

Sin embargo, se diferencia debido a que utiliza materiales como la fibra óptica para sensar la temperatura por conducción de un transformador de potencia cuyo bobinado genera cambios en la temperatura y gases debido al paso de la corriente eléctrica, mientras que la presente investigación sensa la temperatura del ambiente de los pañoles de proyectiles de una Fragata Misilera (si en caso hubiera un incremento de la misma) mediante el sensor AM2302.

Los compartimentos de proyectiles no generan cambios en la temperatura, sin embargo, pueden ser irradiadas por fuentes externas o fuentes internas (motores o trabajos en caliente como soldadura) que produzcan y transmitan calor.

Sin embargo, Bonifacio (2014) no realiza un análisis de los principios y/o propiedades de la fibra óptica.

Bonifacio (2014) concluye que:

El tiempo de respuesta promedio del sensado de temperatura en el área del refrigerante del transformador según los datos obtenidos es de 46.1 segundos, por lo que observó que la respuesta del sistema es lenta no siendo este factor muy relevante debido a que el cambio de temperatura es también lento (p.60).

Según los resultados obtenidos por Bonifacio (2014) se obtuvo un promedio de error de 3.97%, siendo este valor referencial con respecto a las temperaturas registradas por el instrumento patrón utilizado como referencia para el contraste; por lo que concluye que el sistema de medida cumple con el objetivo propuesto en la investigación (+/- 10%).

Como segundo antecedente, se tomó en cuenta el trabajo de Calderón (2012), de nacionalidad peruana, cuya investigación se relaciona con la nuestra en el sentido de haberse logrado – según el autor - el control de temperatura del portasustrato para la cámara de alto vacío del Laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Sección Física de la PUCP, con un error  $\pm$  de 0 a 2 °C.

En dicho trabajo, se estudia el comportamiento estático y dinámico de un portasustrato en el rango de 48 - 560°C, donde se encuentran 4 rangos lineales entre el incremento de la temperatura en del portasustrato como respuesta al incremento del ancho de pulso de la señal PWM. Para cada rango lineal encontrado, se calcularon los parámetros del controlador PID TZN4H (Calderón, 2012).

Se implementó un prototipo donde se sometió a pruebas el control de temperatura, obteniéndose resultados satisfactorios para el control de temperatura del portasustrato (Calderón, 2012).

Como tercer antecedente se tomó en cuenta el trabajo realizado por los ecuatorianos Once y Rivera (2017), cuyo objetivo fue diseñar y construir un calibrador - documentador de procesos utilizando microcontroladores y software libre para la calibración de instrumentos de temperatura en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE extensión Latacunga.

En este trabajo, los autores han considerado como objetivo principal conocer los principios y fundamentos del sensor AM2302 y sensar un compartimento, debido a ello el sistema genera un reporte digital y visual con emisión de alarma sonora, mediante el empleo de la placa arduino MEGA 2560.

Se relaciona con la investigación debido a que los autores Once y Rivera utilizan la placa arduino MEGA 2560, por otro lado, el prototipo diseñado genera un documento digital.

El trabajo de los autores, concluye en el hecho de haber diseñado un prototipo que permite realizar las funciones de medición, simulación y generación de variables eléctricas, con una función adicional que es la generación de un documento digital con los datos de calibración, el cual permitirá una mejor manera de análisis de los mismos (Once y Rivera, 2017).



El prototipo que los citados autores implementaron requiere una fuente de voltaje DC constante y estable, a fin que la medición no sea afectada por las variaciones de voltaje para que la lectura sea correcta, el equipo consume una corriente de aproximadamente 1 amperio por lo que no es posible que funcione con baterías recargables ya que las mismas se descargan rápidamente (Once y Rivera, 2017).

Para la comunicación de las tarjetas utilizadas en dicho proyecto, se hace mediante protocolo I2C, dado la diferencia de tensión de operación Arduino Mega 5 voltios y Arduino Due 3.3 se utiliza un conversor de niveles para evitar que la tarjeta Arduino Due sufra daños (Once y Rivera, 2017).

Como cuarto antecedente, se encuentra la investigación realizada por Luyo (2012), el cual tuvo como objetivo estudiar los cambios de conductancia normalizada en los sensores de NiO al variar: el tamaño de las partículas del orden de  $10^{-9}$ , la temperatura de operación de los sensores y las concentraciones de los gases de Sulfuro de Hidrogeno (H<sub>2</sub>S) y N<sub>2</sub>O (Óxido de Nitrógeno).

Luyo (2012), cuya investigación se relaciona con la nuestra, que al analizar la composición del sensor de gas a base de óxido de níquel observando las propiedades de conductancia eléctrica en el sensor a base de Óxido de Níquel, por variación de la temperatura a fin de medir las concentraciones de gases de Sulfuro de Hidrogeno (H<sub>2</sub>S) y N<sub>2</sub>O (Óxido de Nitrógeno).

En dicho trabajo logró fabricar sensores basados en nanocristales de NiO mediante la técnica de evaporación reactiva avanzada, así como también caracterizarlas morfológicamente y estructuralmente (Luyo, 2012).

La temperatura de operación influye en la respuesta de los sensores debido a que las reacciones entre las partículas gaseosas y las nanopartículas del NiO se ven favorecidas con el incremento de la temperatura (Luyo, 2012).

Por último, se tomó en cuenta el trabajo realizado por los ciudadanos chinos Li, Yao y Liu (2014), cuyo objetivo fue diseñar un dispositivo de detección de humedad profunda a fin de resolver las deficiencias del dispositivo existente usando el módulo AM2302.

Li et al. (2014) está relacionada con nuestra investigación ya que se usa el mismo sensor AM2302, dicho estudio se centra en el hecho de sustituir un dispositivo para la medición de la temperatura y la humedad en la profundidad del suelo, por el módulo AM2301, el cual es más versátil.

Li et al. (2014) se enfocaron en el hecho de diseñar un contenedor de forma concéntrica que proteja el circuito de las condiciones ambientales de trabajo, mediante este nuevo diseño.

Li et al. (2014) concluyen en que se diseñó un dispositivo mediante el sensor de humedad AM2302, lo cual permitirá determinar la temperatura y humedad subterránea.

En comparación con el dispositivo existente, el diseño es más preciso y más conveniente para la medición de la humedad subterránea, dado que adquiere la señal de medición de humedad, la posición de adquisición de la señal de humedad y que puede ser cambiado a voluntad del operador; al mismo tiempo, el equipo es de bajo costo y de fácil de montaje (Li et al., 2014).

A raíz de los estudios que preceden al presente trabajo, se observa un empleo del módulo de temperatura tipo AM2302 por su alto desempeño, precisión y bajo costo; otra ventaja que esgrime es la adaptabilidad a requerimientos del usuario y programación libre, sin embargo, no se han realizado estudios de cómo funciona el módulo AM2302, o ¿Cuáles son los principios de funcionamiento?; aun así los citados trabajos constituyen marcos notables de referencia a nivel nacional e internacional para analizar el módulo AM2302, mediante la descripción de sus componentes y principios de funcionamiento que le permiten su versatilidad, ello es el propósito de este trabajo académico, en los siguientes capítulos.

## CAPÍTULO II: PROPIEDAD DE LA CAPACITANCIA

### 2.1 Capacitor

El capacitor consiste en dos conductores separados por un aislante (o vacío). En la mayoría de aplicaciones prácticas, cada conductor tiene inicialmente una carga neta cero, y los electrones son transferidos de un conductor al otro, a esta acción se le denomina cargar el capacitor (Young y Freedman, 2009, p. 816).

Por lo tanto, en  $t_0$  (tiempo inicial cero) los conductores tienen carga de igual magnitud y signo contrario, y la carga neta en el capacitor en su conjunto permanece igual a cero.

Cuando se dice que el capacitor tiene carga  $Q$ , o que una carga  $Q$  está almacenada en el capacitor, significa que el conductor con el potencial más elevado tiene carga  $+Q$  y el conductor con el potencial más bajo tiene carga  $-Q$  (si se supone que  $Q$  es positiva).

### 2.2 Campo eléctrico

Se define por el hecho que cuando dos partículas cargadas eléctricamente interactúan en el espacio vacío. Una manera de concebir esta fuerza es como si fuera una fuerza de acción a distancia, es decir, como una fuerza que actúa a través del espacio vacío sin necesidad de materia (tal como una varilla que empuje o una cuerda que jale), que la transmita a través del espacio.

“La fuerza eléctrica sobre un cuerpo cargado es ejercida por el campo eléctrico que otros cuerpos cargados originan” (Young y Freedman, 2009, p.722).

Para averiguar experimentalmente si hay un campo eléctrico en un punto específico. Colocamos un pequeño cuerpo cargado, al que se le puede denominar carga de prueba. Si la carga de prueba experimenta una fuerza eléctrica, entonces en ese punto existe un campo eléctrico. Este campo lo producen cargas distintas de  $q_0$  (carga inicial cero).

Por lo tanto, se define el campo eléctrico  $\vec{E}$  en un punto como la fuerza eléctrica  $\vec{F}_0$  que experimenta una carga de prueba  $q_0$  en dicho punto, dividida entre la carga  $q_0$ . Es decir, el campo eléctrico en cierto punto es igual a la fuerza eléctrica por unidad de carga que una carga experimenta en ese punto (Young y Freedman, 2009, p.722).

En unidades del SI, en las cuales la unidad de fuerza es el N y la Unidad de carga es el C, mientras que la unidad para la magnitud del campo eléctrico es el N y la unidad de carga es 1 C, entonces la unidad para la magnitud del campo eléctrico es un 1 newton por coulomb (1 N/C) (Young y Freedman, 2009, p.722).

En sentido estricto, la ley de Coulomb tal como fue establecida debería usarse tan sólo para cargas puntuales en el vacío. Si hay materia presente entre las cargas, la fuerza neta que actúa sobre cada una se altera, debido a las cargas inducidas en las moléculas del material interpuesto. No obstante, es práctico utilizar la Ley de Coulomb sin modificar para cargas puntuales en el aire, ya que, a presión atmosférica normal, la presencia del aire cambia la fuerza eléctrica en aproximadamente una parte en 2000 de su valor en el vacío (Young y Freedman, 2009, p.719).

Si la fuente de distribución es una carga puntual  $q$ , será fácil encontrar el campo eléctrico que produce. A la ubicación de la carga la llamamos punto de origen; y al punto P donde se determina el campo, el punto del campo. También es útil introducir un vector unitario  $\hat{r}$  que apunte a lo largo de la línea que va del punto de origen al punto del campo (Young y Freedman, 2009, p.723).

En ciertas situaciones, la magnitud y la dirección del campo (así como sus componentes vectoriales) tienen los mismos valores en cualquier parte de una región dada, en cuyo caso se dice que el campo es uniforme en tal región. Un ejemplo importante es del campo eléctrico dentro de un conductor cuando esto sucede el campo ejerce una fuerza en cada carga en el conductor, lo cual da a las cargas libres un movimiento neto.

Por definición, una situación electrostática es aquella donde las cargas no tienen movimiento neto. De lo anterior se concluye que, en esta situación, el

campo eléctrico en cada punto del dentro del material de un conductor debe ser igual a cero (Young y Freedman, 2009, p.724).

Con el concepto de campo eléctrico, nuestra descripción de las interacciones eléctricas tiene dos partes:

- a) La primera es que una distribución de carga dada actúa como una fuente del campo eléctrico; y,
- b) La segunda es que el campo eléctrico ejerce una fuerza sobre cualquier carga presente en el campo.

Con frecuencia nuestro análisis tiene dos etapas subsiguientes:

- a) Primero se calcula el campo causado por una distribución de carga de fuentes; y
- b) En segundo lugar, se examina el efecto de campo en términos de fuerza y movimiento, es frecuente que el segundo paso implique las leyes de Newton y los principios de las interacciones eléctricas. (Young y Freedman, 2009, p.724)

### 2.3 Simbología

En los diagramas de circuito, un capacitor se representa con cualquiera de los símbolos, indicados en la Figura N° 1 y la Figura N° 2, respectivamente.

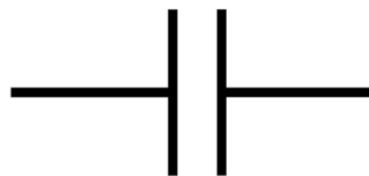


Figura N° 1: Símbolo del capacitor en estado no polarizado  
Fuente: Física Universitaria, 2009

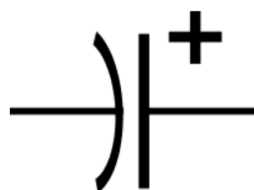


Figura N° 2: Símbolo del capacitor polarizado  
Fuente: Física Universitaria, 2009

En cada uno de estos símbolos, las líneas verticales (rectas o curvas) representan a los conductores, y las líneas horizontales representan a los alambres conectados a uno y otro conductor. Una manera común de cargar un capacitor es conectar estos dos alambres a las terminales opuestas de una batería o de una fuente de DC. Una vez establecidas las cargas  $Q$  y  $-Q$  en los conductores, se desconecta la batería. Esto genera una diferencia de potencial fija  $V_{ab}$  entre los conductores (es decir, el potencial del conductor con carga positiva  $a$  con respecto al potencial del conductor con carga negativa  $b$ ), que es exactamente igual de la batería.

## 2.4 Capacitancia

El campo eléctrico en cualquier punto de la región entre los conductores es proporcional a la magnitud  $Q$  de carga en cada conductor. Por lo tanto, la diferencia de potencial a la magnitud  $Q$  de carga en cada conductor. Asimismo, la diferencia de potencial  $V_{ab}$  entre los conductores también es proporcional a  $Q$ . Si se duplica la magnitud de la carga en cada conductor, también se duplican la densidad de carga en cada conductor y el campo eléctrico en cada punto, al igual que la diferencia de potencial entre los conductores; sin embargo, la razón entre la carga y la diferencia de potencial no cambia. Esta razón se llama capacitancia  $C$  del capacitor (Young y Freedman, 2009, p.717).

La capacitancia se define mediante la ecuación 1:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} \quad (1)$$

En la que  $Q$  se expresa en Coulomb y  $V_{ab}$  es la diferencia de potencial entre dos puntos.

La Unidad del SI para la capacitancia es el Farad (1 F), en honor del físico inglés del siglo XIX, Michael Faraday. De acuerdo con la ecuación (1), un farad es igual a un coulomb por volt (1 C/V);

Entonces; cuando mayor es la capacitancia  $C$  de un capacitor, mayor será la magnitud  $Q$  de la carga en el conductor de cierta diferencia de potencial dada  $V_{ab}$  y, por lo tanto, mayor será la cantidad de energía almacenada (el potencial en energía potencial por unidad de carga).

Así, la capacitancia es una medida de la predisposición (capacidad) de un capacitor para almacenar energía. Se verá que el valor de la capacitancia sólo depende de las formas y los tamaños de los conductores, así como de la naturaleza del material aislante que hay entre ellos.

## **2.5 Herramientas de análisis**

### **2.5.1 Constantes eléctricas fundamentales**

La unidad del SI para la carga eléctrica se llama Coulomb (C). El valor de la constante  $k$  que aparece en la ecuación de Coulomb es:

$$k = 8.987551787 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 = 8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \quad (2)$$

El valor de  $k$  se conoce con un número tan grande cifras significativas porque se relaciona de cerca con la rapidez de la luz en el vacío. Tal rapidez se define exactamente como  $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ . El valor número de  $k$  se define en términos de  $c$  como:

$$k = (10^{-7} \text{ N} \cdot \text{s}^2 / \text{C}^2) c^2 \quad (3)$$

En principio es posible medir la fuerza eléctrica  $F$  entre dos cargas iguales  $q$  a una distancia  $r$ , y usar la ley de Coulomb para determinar la carga. Es decir, se puede considerar el valor de  $k$  como una definición operacional del Coulomb. Por razones de precisión experimental, es mejor definir el Coulomb en términos de la unidad de corriente eléctrica (carga por unidad de

tiempo), el Amperio, que es igual a 1 Coulomb por segundo (Young y Freedman, 2009, p.717).

### 2.5.2 Carga de un electrón

Young y Freedman (2009) afirman: “Que la Unidad más fundamental de carga es la magnitud de la carga de un electrón o un protón, que se denota como e” (p.718).

El valor más preciso del que se disponía hasta la escritura de la fuente citada es:

$$e = 1.60217653 (14) \times 10^{-19} \text{C} \quad (4)$$

“Los electrones tienen carga eléctrica negativa y los protones tienen carga eléctrica positiva, dado que el Coulomb, representa el negativo de la carga total de aproximadamente” (Young y Freedman, 2009, p. 718).

$$6 \times 10^{18} \text{ Electrones}$$

### 2.5.3 Ley de Coulomb

En 1784 Charles Agustín de Coulomb (1736 – 1806) estudió con mucho detalle las fuerzas de atracción de partículas cargadas. Para cargas puntuales, cuerpos cargados muy pequeños en comparación con la distancia r que los separa. Coulomb descubrió que la fuerza eléctrica es proporcional a  $1/r^2$ . Es decir, cuando duplica la distancia r, la fuerza disminuye a  $1/4$  de su valor inicial; cuando la distancia disminuye a la mitad, la fuerza incrementa cuatro veces su valor inicial (Young y Freedman, 2009, p.716).

La Ley de Coulomb, se define mediante la ecuación 5:

$$F = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad (5)$$



La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales también depende de la cantidad de carga en cada cuerpo, la que se denotará como  $q$  ó  $Q$ .

La magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

#### **2.5.4 Ley de Gauss**

La Ley de Gauss es una alternativa a la Ley de Coulomb. Aunque equivale por completo a la Ley de Coulomb, la ley de Gauss ofrece una forma distinta de expresar la relación entre la carga eléctrica y el campo eléctrico. La formuló Carl Friedrich Gauss (1777-1855), uno de los matemáticos más grandes de todos los tiempos.

Por consiguiente, otra forma de calcular las cargas eléctricas en una superficie cerrada es mediante la Ley de Gauss.

La ley de Gauss es válida para cualquier distribución de cargas y cualquier superficie cerrada. Se puede utilizar de dos maneras: Si se conoce la distribución de la carga y si esta tiene simetría suficiente que permita evaluar la integral en la Ley de Gauss, se puede obtener el campo. O si se conoce el campo, es posible usar la Ley de Gauss para encontrar la distribución de carga, como en las cargas de superficies conductoras (Young y Freedman, 2009, p.761).

#### **2.6 Capacitancia en el sensor de placas paralelas (Capacitor con vacío)**

La forma más sencilla de un capacitor consiste en dos placas conductoras paralelas, cada una con un área  $A$ , separadas por una distancia  $d$  que es pequeña en comparación con sus dimensiones tal como se puede observar en la Figura N° 3, la cual representa el campo eléctrico entre placas paralelas con cargas opuestas (dibujo realista).

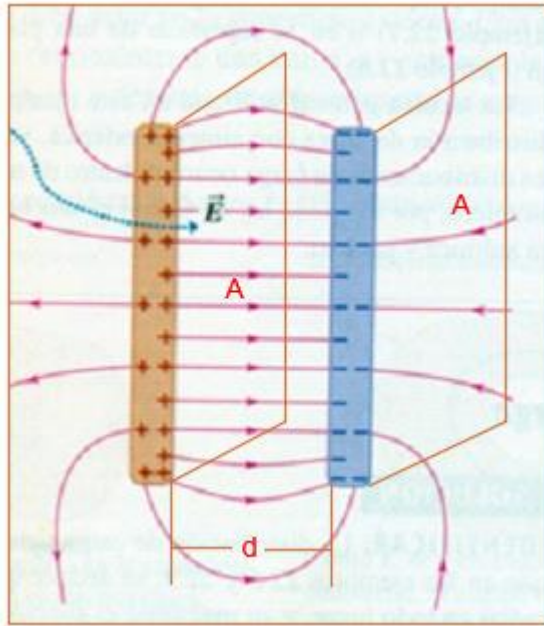


Figura N° 3. Campo eléctrico entre placas paralelas con cargas opuestas  
Fuente: Física Universitaria, 2009.

“Entre las dos placas el campo eléctrico es casi uniforme y apunta desde la placa positiva hacia la negativa” (Young y Freedman, 2009, p.765).

La Figura N° 4, muestra el modelo idealizado, tomado de (Young y Freedman, 2009).

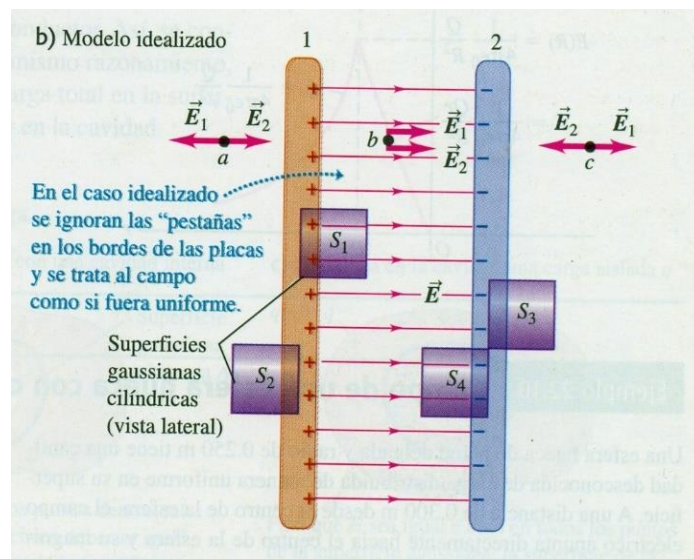


Figura N° 4: Modelo idealizado del campo eléctrico  
Fuente: Física Universitaria, 2009.

“Cuando las placas tienen carga, el campo eléctrico ésta localizado casi por completo en la región entre las placas” (Young y Freedman, 2009, p.765).

El campo entre las placas es esencialmente uniforme, y las cargas en las placas se distribuyen en sus superficies opuestas. Este arreglo recibe el nombre de capacitor de placas paralelas, esta configuración es usada en el capacitor del sensor de humedad del módulo AM2302.

“Las ecuaciones 6 y 7 propuesta se pueden utilizar para determinar el campo entre placas conductoras con cargas opuestas expresadas como:  $-\sigma$  y  $+\sigma$ ” (Young y Freedman, 2009, p.765).

Es la siguiente:

$$EA = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \quad (6)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (7)$$

En la cual  $\sigma$ , se define mediante la ecuación 8:

$$\sigma = \frac{q}{4\pi R^2} \quad (8)$$

y  $k$ , se define mediante la ecuación 9:

$$k = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)} \quad (9)$$

El campo es uniforme y perpendicular a las placas, y su magnitud influye, entre la distancia, y desde cualquier punto de las placas.

Al igualar esta expresión se obtiene la ecuación 10:

$$E = \frac{Vab}{d} \quad (10)$$

Con la cual se obtiene la ecuación 11:

$$\sigma = \frac{\epsilon_0 Vab}{d} \quad (11)$$

La fórmula anteriormente mencionada se emplea para hallar el campo eléctrico entre 2 placas. La figura N° 5 muestra la separación de las placas y su influencia en la formación del campo eléctrico.

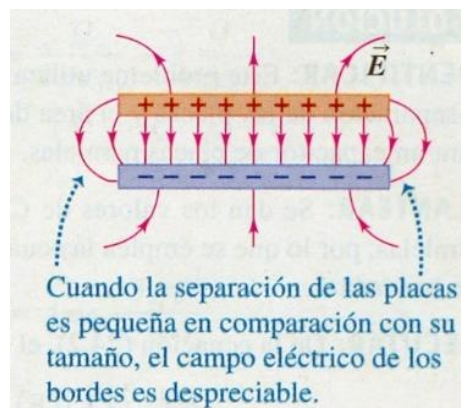


Figura N° 5: Placas conductoras con cargas opuestas  
Fuente: Física Universitaria, 2009.

Cuando la carga está distribuida sobre una superficie, se usa  $\sigma$  (sigma) para representar la densidad superficial de carga (carga por unidad de área se mide en  $C/m^2$  (Coulomb), por lo tanto, la ecuación 10 y 11 pueden ser empleadas para determinar la densidad superficial de carga.

El módulo AM2302 cuenta con dos láminas, una lámina inferior con carga positiva, y la segunda lámina ubicada en la parte superior, tiene carga negativa; los campos debidos a cada lámina son  $E_1$  y  $E_2$ , ambos tienen la misma magnitud en todos los puntos.

La capacitancia es la propiedad empleada en los sensores capacitivos, para la medición de la humedad, cuando el aire penetra el campo eléctrico que hay entre las placas sensor, actúa como dieléctrico, variando consecuentemente el valor de la capacitancia.

Por lo tanto, la capacitancia ( $C$ ) se obtiene mediante la ecuación 12, en F:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (12)$$

Por definición, un capacitor tiene la capacitancia de 1 Faradio cuando al almacenar la carga de 1 Coulomb su potencial aumenta 1 Volt., ecuación 13:

$$1 \text{ F} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}} \quad (13)$$

Entonces, la energía almacenada en este dispositivo se obtiene mediante la ecuación 14:

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV \quad (14)$$

Debido a que el Faradio es una unidad muy grande, en la práctica se utilizan submúltiplos de ella, el microfaradio ( $\mu\text{F} = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$ ) y el nanofaradio ( $\text{nF} = 1 \times 10^{-9} \text{ F}$ ).

## 2.7 Propiedades físico químicas del agua

Dado que la capacitancia genera un campo eléctrico al usar el aire como dieléctrico, esta interacción es sensado a medida lo cual permite medir la cantidad de humedad presente en el aire por lo que es necesario conocer algunas propiedades físicas y electrónicas del agua.

Entonces este campo eléctrico es alterado por las moléculas de agua, de la cual se obtiene la humedad porcentual o partes por millón, de acuerdo a la programación del chip que almacena el algoritmo de cálculo, tanto para el capacitor como para el termistor.

Así, en el agua líquida, la longitud media de O-H es aproximadamente 0,097 nanómetros, el ángulo H-O-H medio es aproximadamente  $106^\circ$  y la carga media negativa en el átomo de oxígeno es aproximadamente 70% de la de un electrón con cada átomo de hidrógeno cargado positivamente compartiendo la carga neutralizante (Chaplin, 2018, p.2).

Sin embargo, las moléculas de agua individuales tendrán diferentes valores para estos parámetros dependiendo de su entorno. Las cargas opuestas en los átomos de oxígeno e hidrógeno hacen que diferentes moléculas de agua se atraigan entre sí. Esta atracción es particularmente fuerte cuando el enlace O-H de una molécula de agua apunta directamente a un átomo de oxígeno cercano en otra molécula de agua, es decir, cuando los tres átomos O-H O están en línea recta (Chaplin, 2018, p.2).

Esto se llama 'enlace de hidrógeno' ya que los átomos de hidrógeno retienen al átomo de O. Esta atracción entre las moléculas vecinas, junto con la alta densidad de moléculas debido a su pequeño tamaño, produce un gran efecto de cohesión dentro del agua líquida que es responsable de la naturaleza líquida del agua a temperatura ambiente (Chaplin, 2018, p.3).

Sin embargo, cuando está en el estado gaseoso, es lo inverso y tiene la capacidad de alta difusión en el aire, y es permanente en el ambiente.

“El agua pesada ( $D_2O$ ) tiene propiedades similares, pero no idénticas, al  $H_2O$ . El átomo de deuterio (D) es un isótopo estable de hidrógeno que tiene un neutrón junto al protón en su núcleo, casi doblando su masa atómica” (Chaplin, 2018, p.3).

La molécula de agua tiene forma de V, tal como se muestra en la Figura N° 6.

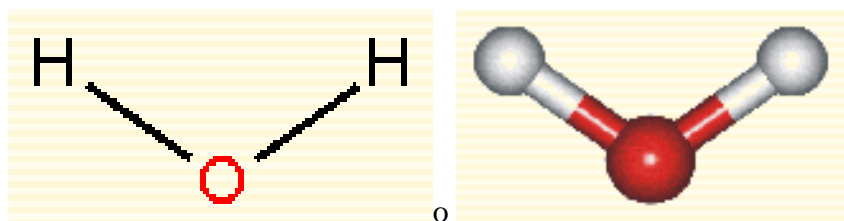


Figura N° 6 Moléculas del agua en forma de V.  
Fuente: *Water structure and science*, 2018.

Sin embargo, la molécula de agua está mejor representada espacialmente de la manera en que se muestra en la Figura N° 7.

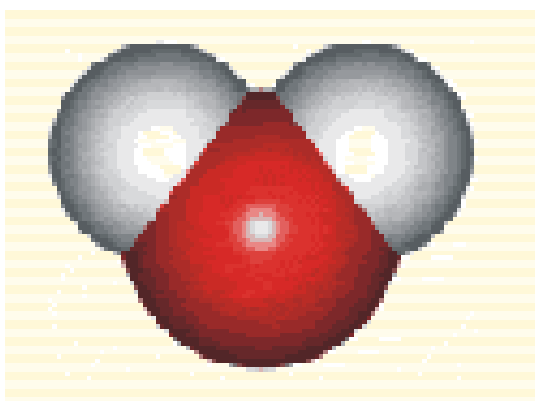


Figura N° 7. Representación espacial bidimensional de la molécula de agua  
Fuente: *Water structure and science*, 2018.

O incluso, también muestra dando una idea más precisa de su forma bastante rotunda, tal como en la Figura N° 8. En esta representación se observan las cargas (rosado que muestra una superficie cargada negativamente y verde que muestra una superficie cargada positivamente).

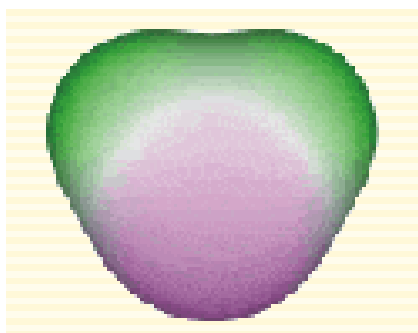


Figura N° 8. Molécula de agua con carga eléctrica  
Fuente: Fuente: *Water structure and science*, 2018.

Las moléculas de agua son diminutas, eléctricamente neutras y tienen forma de V con fórmula molecular H<sub>2</sub>O y un diámetro molecular de aproximadamente 2,75 Å.

El agua es mucho más pequeña que casi todas las demás moléculas. Por ejemplo, tiene un volumen más pequeño, y es mucho más liviano, que las otras cuatro moléculas atmosféricas comunes, oxígeno (O<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), argón (Ar) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); la densidad del vapor de agua es solo el 62 % de la densidad del aire seco (Picard, Davis, Gläser, y Fujii, 2008, p.149).

Estas características eléctricas y físicas hacen que puedan ser sensadas como humedad presente en el aire del medio ambiente. Las moléculas de agua por ser un dipolo, entre las placas con carga, se polarizan y se alinean con el campo eléctrico formado entre las placas. Esta diferencia de campo alterado por esta densidad de la humedad presente en el aire, y la diferencia de potencial es sensada y esto es calculado por el chip del sensor, y emitido a través del bus único a la placa Arduino MEGA 2560.

Como se ha visto anteriormente, la capacitancia ( $C$ ) es la capacidad que tiene un conductor de transferir y almacenar una carga eléctrica, a través de dos conductores separados por un vacío, por lo que la interacción entre cargas genera un campo eléctrico  $\vec{E}$ , el campo ejerce una fuerza en cada carga en el conductor y sobre cualquier presente en el campo, lo cual da a las cargas libres un movimiento neto. Asimismo, la Unidad de la capacitancia es el Faradio (F), determinándose que el capacitor del módulo AM2302 es de placas paralelas, separados por un espacio muy pequeño tal como se muestra en el modelo teórico, tal espacio permite que millones de moléculas de agua en forma de humedad puedan ser sensadas. Las moléculas de agua se alinean con el campo eléctrico del capacitor de placas paralelas.

Por lo tanto, de acuerdo a lo visto en esta parte del trabajo, hemos sentado las bases necesarias para que en los capítulos siguientes, se pueda comprender que, dado el espacio entre las placas siendo tan pequeño el espacio entre estas (0.5 mm), la humedad aún es detectada, dado que la molécula de agua mide 2,75 Å, y dentro de 1 mm caben 10 millones de angstrom, dentro de ½ mm, 5 millones, entonces es un espacio suficiente para que las moléculas se alineen con el campo eléctrico formado por las placas, y estas detecten o censan la humedad, y de esta forma comprender el tamaño las placas, distancia, configuración como parte del mecanismo de funcionamiento del módulo AM2302.



Por lo tanto, se concluye este capítulo corroborando el funcionamiento del modelo de sensor empleado por la empresa china que fabrica el módulo AM2302.

## CAPÍTULO III: PROPIEDAD DE LA CONDUCTANCIA

### 3.1 Resistividad

“La densidad de corriente  $\vec{J}$  en un conductor depende del campo eléctrico  $\vec{E}$  y de las propiedades del material” (Young y Freedman, 2009, p.850).

En general esta dependencia es muy compleja. Pero para ciertos materiales, especialmente metálicos, y hasta una temperatura dada, es casi directamente proporcional a  $\vec{E}$ , y la razón de las magnitudes de  $\vec{E}$  y  $\vec{J}$  es constante. Esta relación es llamada Ley de Ohm, y fue descubierta en 1826 por el físico alemán Georg Simon Ohm (1787 – 1854). Es un modelo idealizado que describe muy bien el comportamiento de ciertos materiales.

“La resistividad  $\rho$  de un material se define como la razón de las magnitudes del campo eléctrico y la densidad de la corriente” (Young y Freedman, 2009, p.850). La ecuación 15 define la resistividad:

$$\rho = \frac{\vec{E}}{J} \quad (15)$$

“Cuanto mayor sea la resistividad, tanto mayor debe ser el campo eléctrico necesario para causar una densidad de corriente dada, o tanto menor la densidad de la corriente ocasionada por un campo dado” (Young y Freedman, 2009, p.851).

Las unidades de  $\rho$  son (v/m) (A/m<sup>2</sup>) = V.m/A. 1 V/A se llama un ohm (1  $\Omega$ ); se usa la letra griega  $\Omega$ , omega, y que usualmente se pronuncia “ohm”. Por consiguiente, las unidades SI para  $\rho$  son  $\Omega.m$  (ohm-metros).

Un conductor perfecto tendría una resistividad igual a cero y un aislante perfecto tendría una resistividad infinita. Los metales y las aleaciones tienen las menores resistividades y son los mejores conductores. Las resistividades de los aislantes son mayores que las de los metales en el orden de  $10^{22}$  (Young y Freedman, 2009, p.851).

El recíproco de la resistividad es la conductividad. Sus unidades son  $(\Omega \cdot m)^{-1}$ .

Los malos conductores de la electricidad, como la cerámica y los materiales plásticos, también son malos conductores térmicos. En un metal los electrones libres que transportan la carga en la conducción eléctrica también son el mecanismo principal para la conducción de calor, por lo que es de esperar que haya una correlación entre la conductividad eléctrica y la térmica (Young y Freedman, 2009, p.851).

Los semiconductores tienen resistividades intermedias entre las de los metales y las de los aislantes. Estos materiales son importantes en virtud de la forma en que sus resistividades se ven afectadas por la temperatura y por pequeñas cantidades de impurezas (Young y Freedman, 2009, p.851).

### **3.2 Resistividad y Temperatura**

La resistividad de un conductor metálico casi siempre se incrementa al aumentar la temperatura. A medida que la temperatura se incrementa, los iones del conductor vibran con mayor amplitud lo que hace más probable que un electrón colisione con un ion, esto dificulta la deriva de electrones a través del conductor y con ello reduce la corriente (Young y Freedman, 2009, p.852).

La resistividad del grafito (un no metal) disminuye con el aumento de la temperatura, ya que, a temperaturas más elevadas, más electrones “se desprenden” de los átomos y se vuelven móviles, de ahí que el coeficiente de la temperatura (o térmico) de la resistividad del grafito sea negativo.

“Este mismo comportamiento lo presentan los semiconductores. Por consiguiente, medir la resistividad de un pequeño cristal semiconductor significa medir la temperatura con mucha exactitud; este es el principio de un tipo de termómetro llamado Termistor” (Young y Freedman, 2009, p.852).

“Algunos materiales, que incluyen algunas aleaciones y óxidos metálicos, presentan un fenómeno llamado superconductividad. Al principio, conforme la

temperatura desciende, la resistividad disminuye uniforme, como la de cualquier metal” (Young y Freedman, 2009, p.852).

Pero después de cierta temperatura crítica,  $T_c$ , ocurre una fase de transición y la resistividad cae abruptamente hasta cero.

Una vez que se ha establecido una corriente en un superconductor en forma de anillo, continua en forma indefinida sin la presencia de ningún campo que la impulse.

La superconductividad fue descubierta en 1911 por el físico holandés Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926). Él descubrió que, a temperaturas muy bajas, inferiores a 4.2 K, la resistividad del mercurio disminuía de manera repentina hasta cero.

Durante los 75 años siguientes, la  $T_c$  más alta que se logró fue de 20 K. Esto quería decir que la superconductividad se conseguía solo cuando un material se enfriaba por medio del costoso helio líquido, con punto de ebullición de 4.2 K, o Hidrógeno líquido explosivo, cuyo punto de ebullición es de 20.3 K. Sin embargo, en 1986, Karl Müller y Johannes Bednorz descubrieron un óxido de bario, lantano y cobre, con  $T_c$  cercana a 40 K. con esto comenzó la carrera por desarrollar materiales superconductores de “alta temperatura”.

En 1987 se descubrió un óxido complejo de itrio, cobre y bario con un valor de  $T_c$  muy por encima de la temperatura de ebullición de 77 K del nitrógeno líquido, un refrigerante de bajo costo y seguro. La marca actual (en el 2006, hace 12 años) para la  $T_c$  a presión atmosférica es de 138 K y los materiales superconductores a temperatura ambiente pueden llegar a ser una realidad. Las implicaciones de estos descubrimientos para los sistemas de distribución de energía, diseño de computadoras y sistemas de transporte son enormes. Mientras tanto, en aceleradores de partículas y trenes experimentales de levitación magnética se utilizan electroimanes superconductores enfriados con helio líquido. Los superconductores tienen otras propiedades que requieren la comprensión del magnetismo.

Lo mencionado, anteriormente tiene la finalidad de comprender el principio de la conductancia aplicado en el termistor del módulo AM2302.

### 3.3 Resistencia

Para un conductor con resistividad  $\rho$  y con densidad  $\vec{J}$  en un punto, el campo eléctrico  $\vec{E}$ , está dado por la ecuación 16:

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad (16)$$

La resistencia se define: cuando existe una diferencia de potencial entre los extremos de mayor y menor potencial del conductor  $V$ , de manera que  $V$  es positivo. La dirección de la corriente siempre va del extremo de mayor potencial al menor potencial.

Esto se debe a que un conductor la corriente fluye en dirección  $\vec{E}$ , sin importar el signo de las cargas en movimiento, y por qué  $\vec{E}$  apunta en la dirección del potencial eléctrico decreciente. A medida que la corriente fluye a través de la diferencia de potencial, la energía potencial eléctrica se pierde; esta energía se transfiere a los iones del material conductor durante las colisiones.

La razón de  $V$  a  $I$  para un conductor particular se llama resistencia  $R$ , y se define mediante la ecuación 17:

$$R = \frac{V}{I} \quad (17)$$

También se puede definir como la ecuación 18:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (18)$$

(Relación entre la resistencia y la resistividad, esto último demuestra cuán propenso es la resistencia)

Si  $\rho$  es constante, como en el caso de los materiales óhmicos, entonces también lo es  $R$ :

En la ecuación 19 se aprecia la relación entre voltaje, corriente y resistencia)

$$V = IR \quad (19)$$

En la Figura N° 9, se aprecia el flujo de corriente desde el mayor potencial al punto de menor potencial.

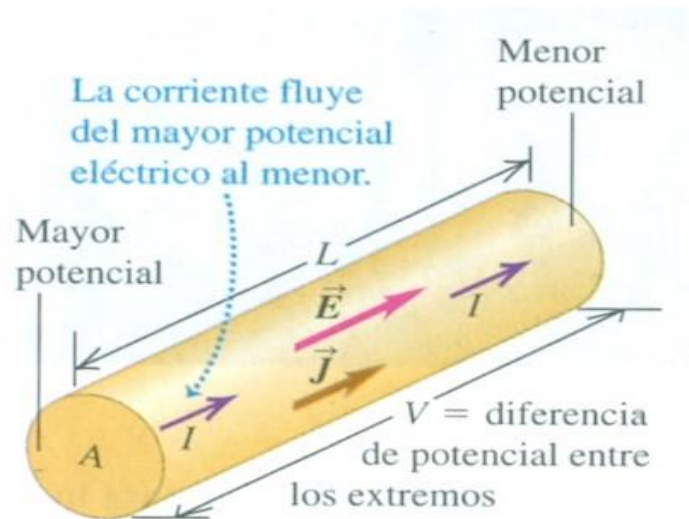


Figura N° 9: Flujo de corriente  
Fuente: Física Universitaria, 2009.

### 3.4 Termistor

Un termistor es un dispositivo de detección de temperatura basado en un material semiconductor sinterizado (como los óxidos que se describen en el punto 3.6) que evidencian una disminución en la resistencia ante un cambio pequeño en la temperatura.

En general, los termistores tienen coeficientes de temperatura negativos, por lo cual la resistencia del termistor disminuye a medida que se incrementa la temperatura. La Figura N° 10 muestra el símbolo del termistor.

Los termistores se fabrican con una mezcla de metales y materiales de óxido metálico. Una vez combinados, los materiales se conforman y se hornean en la forma

requerida. El termistor del módulo AM 2302 es de forma globular con revestimiento de vidrio y dos conductores, tal como se muestra en la Figura N° 11.

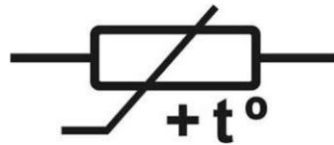


Figura N° 10: símbolo del termistor ntc  
Fuente: Física Universitaria, 2009.

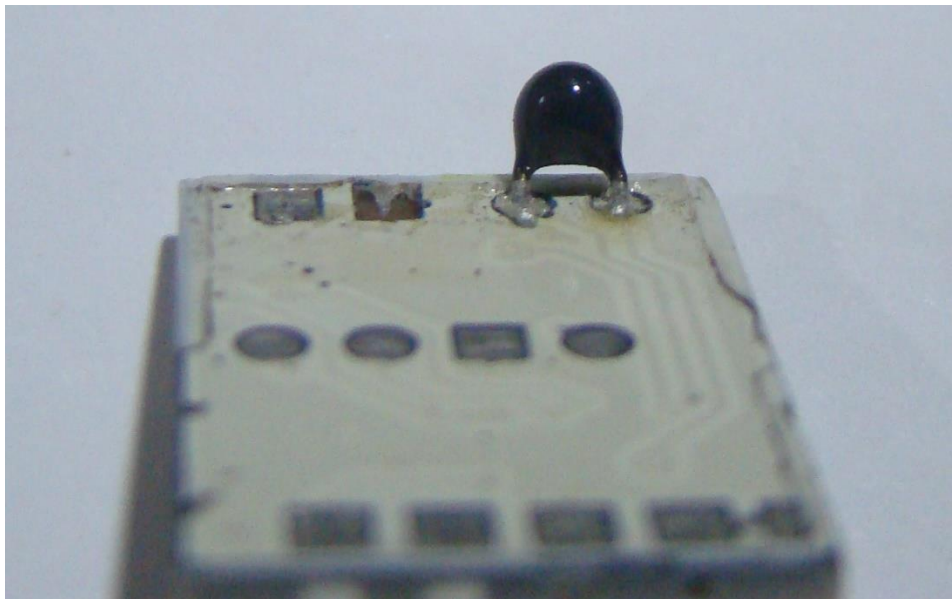


Figura N° 11: Termistor del módulo AM2302  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 12, el comportamiento de diversos sensores en función a la temperatura.

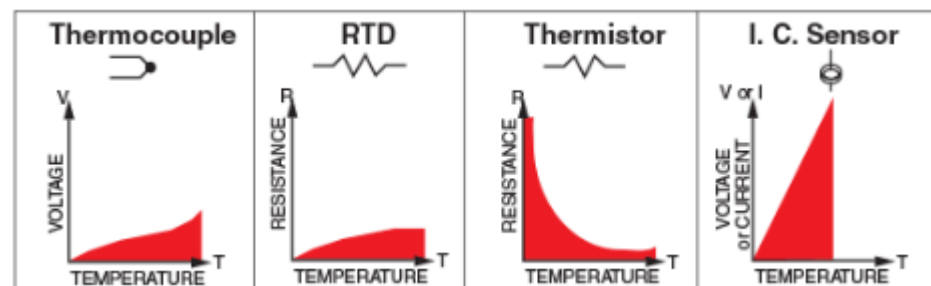


Figura N° 12: Comportamiento de los sensores en función a la temperatura  
Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd. 2018.

El revestimiento de plástico ó bakelita se emplea para brindar protección mecánica a la cápsula y los conductores del termistor, a la vez que lo protege de la humedad y la corrosión.

### **3.4.1 Análisis de las ventajas y desventajas entre los sensores de temperatura**

A continuación, se detallan las ventajas y desventajas de los sensores de temperatura, la propiedad de la termocupla, es que sus componentes funcionan al incrementarse la temperatura, al ser un transductor genera un diferencial de temperatura, se usa a nivel industrial, es robusto, sin embargo, no es estable, y por lo tanto se puede tornar menos sensible en las pequeñas mediciones de temperatura, por lo que no es adecuado para su implementación en un compartimento de proyectiles de un buque de guerra.

En el caso de los RTD o detector de resistencia resistivo, su resistencia se estabiliza en un punto tal que se mantiene constante a pesar del incremento de temperatura, por lo que no es conveniente para los fines de la investigación.

En el caso de los termistores, estos al estar fabricados a base de mezclas sintetizadas de óxidos metálicos, son extremadamente sensibles y rápidos a variaciones mínimas de temperaturas, asimismo su resistencia varía con mininos cambios de temperatura en el ambiente a sensar.

Las configuraciones constructivas del termistor de uso más común son los glóbulos, las sondas y los discos. Los glóbulos se fabrican formando pequeños elipsoides de material de termistor sobre dos alambres finos separados unos 0,25 mm. Normalmente recubiertos con vidrio por razones de protección, son extremadamente pequeños (0,15 mm a 1,3 mm de diámetro) y ofrecen una respuesta extremadamente rápida a variaciones de temperatura. Una ventaja, es que pueden ser programados de acuerdo a los requerimientos del usuario, tales como parámetros de temperatura, tiempo, reportes, entre otros.

Los sensores de temperatura de circuito integrado, son de configuración limitada, ya que este sensor al llegar a cierta temperatura genera una señal de voltaje constante, no permitiendo sensar cambios, siendo lento en la detección de temperatura e impreciso.



El análisis anterior, se complementa con la Tabla N° 1, la cual muestra, las ventajas y desventajas entre los sensores de temperatura.

Tabla N° 1: Comparación entre diversos sensores de temperatura

	<b>TERMOCUPLA</b>	<b>DETECTOR DE RESISTENCIA RESISTIVO (RTD)</b>	<b>TERMISTOR</b>	<b>SENSORES DE TEMPERATURA DE CIRCUITO INTEGRADO</b>
<b>VENTAJAS</b>	Autoalimentado	Más estable	Alto rendimiento	Mas lineal
	Robusto	Más preciso	Rápido	Salida más alta
	Barato	Mas lineal que la temperatura	Medición en ohmios mediante dos cables	Barato
	Amplia variedad			
	Amplio rango de temperatura			
<b>DESVENTAJA</b>	No lineal	Costoso	No lineal	T < 200 °C
	Bajo voltaje	Fuente actual requerida	Rango de temperatura limitado	Suministro de energía requerida
	Requisito de referencia	Pequeños cambios de resistencia	Frágil	Lento
	Menos estable	Baja resistencia absoluta	Fuente actual requerida	Auto-calentamiento
	Menos sensible	Auto-calentamiento	Auto-calentamiento	Configuraciones limitadas

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla N° 2 nos muestra los valores de las resistencias de los termistores de uso más frecuente en el mercado.

Tabla N° 2: Resistencias de termistores más frecuentes (comerciales):

	Valor	Símbolo
1	2252	$\Omega$
2	3000	$\Omega$
3	5000	$\Omega$
4	10,000	$\Omega$
5	30,000	$\Omega$
6	50,000	$\Omega$
7	1 M	$\Omega$

Fuente: Elaboración propia, 2018

### 3.5 Conductancia

La conductancia está directamente relacionada con la facilidad que ofrece un material al paso de corriente eléctrica. La conductancia es lo opuesto a la resistividad

La conductancia eléctrica es una medida de la facilidad en que la corriente eléctrica fluye a lo largo de una ruta en particular y es recíproca a la resistencia. No debe confundirse con la conductividad, que es una propiedad de un material. Es también diferente a la conducción, que es el proceso por el que una carga eléctrica fluye. La unidad estándar de la conductancia eléctrica (G) y su unidad es el Siemens (s) que también puede llamarse el mho ( $\Omega$ ), dado que la resistencia se mide en ohms.

Expresada la conductancia matemáticamente (Ecuación 20), esto es:

$$G = 1/R, \quad (20)$$

Donde G, es la conductancia y R, es la resistencia. Podemos ver por la ecuación (19) que la conductancia puede medirse en mhos ( $\text{ohm}^{-1}$ ).

### 3.6 Componentes básicos de los termistores

Ha continuación, se describen los componentes básicos más usados en la fabricación de los termistores.

#### 3.6.1 Óxido de itrio

Nombres químicos:

Itria; Trióxido de itrio; Trióxido de diitrio; Sesquióxido de itrio; Óxido de itrio (3+); Óxido de itrio (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (*Pubchem, National Center for Biotechnology Information, 2018*). En la Figura N° 13, se observa la configuración de la molécula de Itrio:

Fórmula molecular:

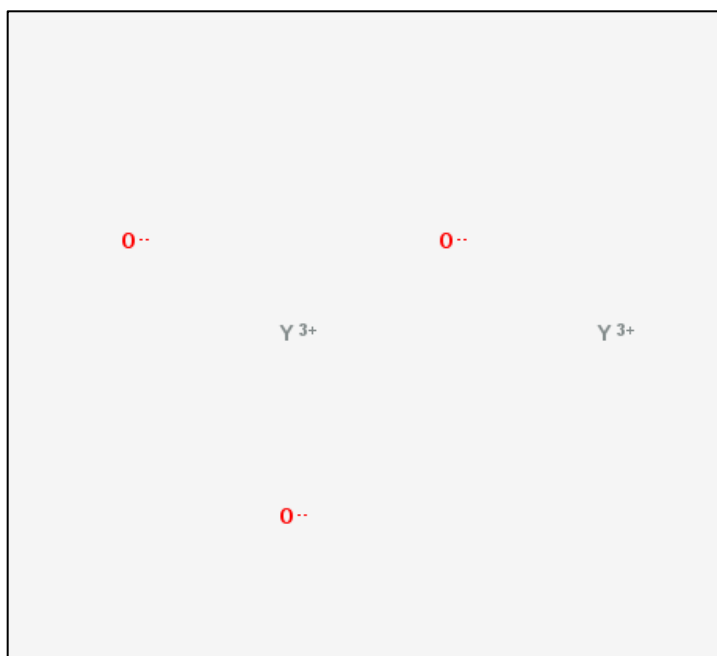


Figura N° 13: Configuración de la molécula del óxido de itrio  
Fuente: PUBCHEM: *Open Chemistry Database*, 2018.

### 3.6.2 Óxido de cobre

Nombres químicos:

Óxido de cobre (I); Óxido de Dicopper; Óxido de cobre ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ); Perenox; Óxido de cobre rojo (Pubchem: *National Center for Biotechnology Information*, 2018). En la Figura N° 14, se observa la configuración de la Molécula del óxido de cobre.

Fórmula:

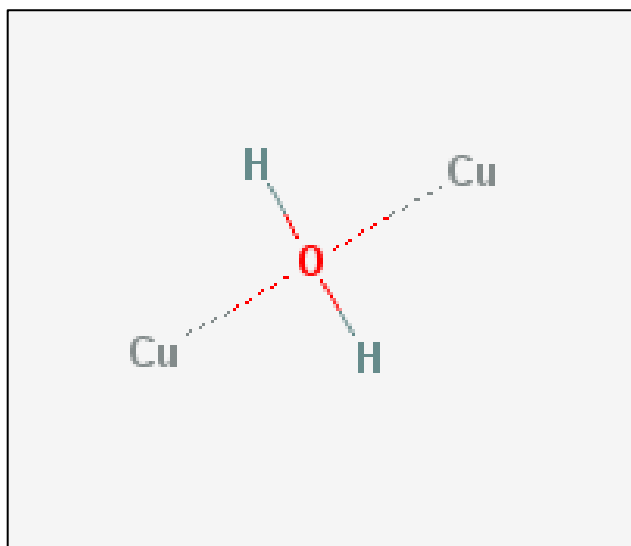


Figura N° 14: Configuración de la molécula del óxido de cobre  
Fuente: PUBCHEM: *Open Chemistry Database*, 2018.

### 3.6.3 Óxido de bario

Nombres químicos:

Peróxido de Bario; Dióxido de bario; Bióxido de bario; Superóxido de bario; Óxido de bario (*Pubchem, U.S. National Library of Medicine, 2018*). En la Figura N° 15 se observa la configuración de la molecular del óxido de bario.

Fórmula:



( 23 )

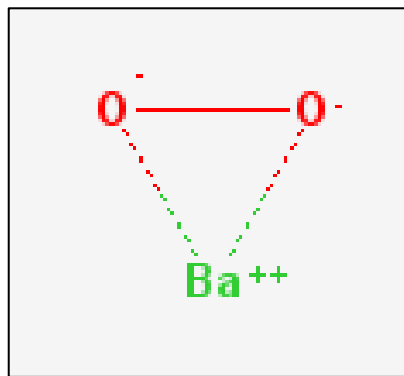


Figura N° 15: Configuración de la molécula del óxido de bario  
Fuente: PUBCHEM: *Open Chemistry Database, 2018*.

Por lo tanto, en este Capítulo se ha analizado conceptos como la resistividad  $\rho = \frac{\vec{E}}{\vec{j}}$ , a fin comprender la conductancia (G), dado que esta última es lo opuesto de la resistencia, la conductancia en los metales es alta con respecto a los aislantes, por lo que un conductor perfecto tiene una resistividad igual a cero y un aislante perfecto tiene una resistividad infinita. Asimismo, se ha determinado que los semiconductores tienen resistividades intermedias entre las de los metales y las de los aislantes. Estos materiales son importantes dado que sus resistividades se ven afectadas por la temperatura y por pequeñas cantidades de impurezas.

Cabe precisar que la temperatura de un conductor influye en el paso de los electrones, es decir a mayor temperatura, menor conductividad, mientras que con el descubrimiento de los superconductores. Entonces, la conductancia está directamente relacionada con la facilidad que ofrece un material al paso de la corriente eléctrica, y es

uno de los principios científicos que se deseaba conocer y que ha sido utilizado por la empresa fabricante del Módulo AM2302.

El sensor de temperatura del Módulo AM2302 es un termistor a base de un óxido complejo de itrio, cobre y bario conformando un material semiconductor de alta conductancia y muy sensible a los cambios de temperatura, con lo cual visualiza la razón por lo que es más fiable con respecto a la termocupla, al detector de resistencia resistivo y a los sensores de temperatura de circuito integrado. Estas consideraciones técnicas, son uno de las razones para el empleo del módulo AM2302 en el diseño de un sistema para el control de la temperatura en una Fragata Misilera.

## **CAPÍTULO IV: COMPONENTES DEL SISTEMA DE MONITOREO DE HUMEDAD Y TEMPERATURA**

### **4.1 Arduino Mega 2560**

La placa arduino MEGA 2560 está diseñada para proyectos más complejos. Con 54 pines de E / S digitales, 16 entradas analógicas y un espacio más grande para su boceto, es la placa recomendada para el acople del Módulo AM2302 que contiene el sensor de humedad y temperatura (Mondragón, 2016, p.6).

#### **4.1.2 Especificaciones técnicas de la placa AT mega 2560**

Microcontrolador:	ATmega2560
Tensión de funcionamiento:	5V
Pines de E / S digitales:	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica:	16
Corriente CC por Pin de E / S:	20 mA
Corriente CC para 3.3V Pin:	50 mA
Longitud:	101.52 mm
Ancho:	53.3 mm
Peso:	37 g

En la Figura N° 16, se muestra la placa Arduino MEGA 2560.



Figura N° 16: Placa Arduino MEGA 2560  
Fuente: Arduino, 2018.

La Figura N° 17, muestra las conexiones de pines del microprocesador ATMEGA 2560.

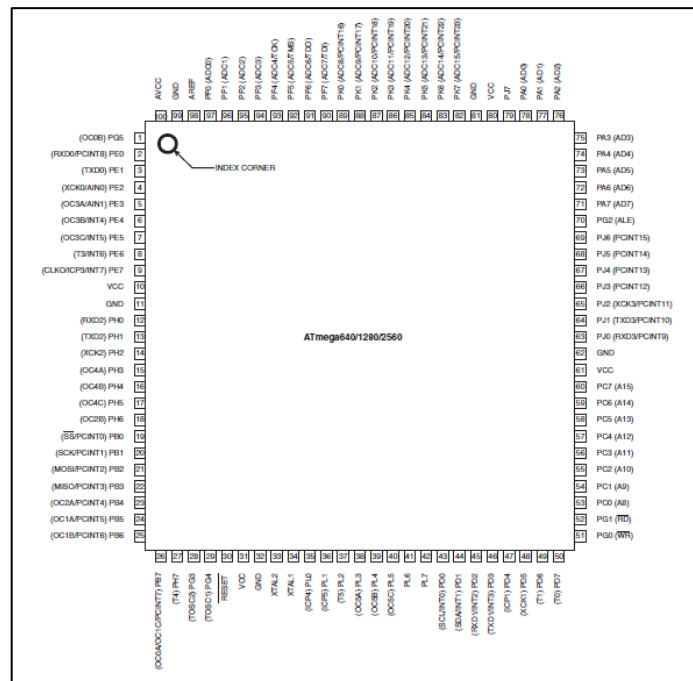


Figura N° 17: Conexiones del procesador ATmega 2560  
Fuente: Arduino, 2018.



## 4.2 Módulo AM2302

El módulo AM2302 es un módulo digital compuesto para la medición de la temperatura y la humedad digital y ha sido calibrado para la salida de señal digital de los sensores de temperatura y humedad, mediante un solo bus.

El sensor incluye un elemento de sensor de humedad capacitivo y una alta precisión de temperatura, elemento de medición conectado a un Microcontrolador de 8 bits con un alto rendimiento. El producto tiene excelente calidad, respuesta rápida, fuerte capacidad anti-jamming, y bajo costo con respecto a la termocupla, al detector de resistencia resistivo y a los sensores de temperatura de circuito integrado.

Cada sensor tiene una calibración extremadamente precisa, lo que hace que tenga un alto cociente de funcionamiento en cámaras de calibración de humedad. La configuración y los procedimientos y los coeficientes de calibración se encuentran almacenados en el microcontrolador, con una integración del sistema de manera rápida y fácil. Es de tamaño pequeño, bajo consumo de energía, distancia de transmisión de señal de hasta 20 metros, por lo que es la mejor opción para todo tipo de aplicaciones e incluso las aplicaciones más exigentes.

De acuerdo a la fábrica que los diseña, el coeficiente de calibración se encuentra almacenado en la memoria OTP (Aosong (Guangzhou) Electronics Co. Ltd., 2018). La compañía que fabrica el módulo AM2302 es la firma china AOSONG. La Tabla N° 3, muestra los parámetros del módulo AM2302.

Tabla N° 3: Parámetros del módulo AM2302

	Parámetros	Descripción
1	Fuente de Alimentación	3.3-5.5V DC
2	Señal de salida	Señal digital a través de un bus de 1 cable
3	Elementos sensor Rango de operación	Capacitor de humedad 0-100 % RH; Termistor temperatura -40~80 Celsius
4	Exactitud	Humedad +- 2% RH (Max +-5%RH); Temperatura +-0.5 Celsius
5	Resolución o sensibilidad	Humedad 0.1 % RH, Temperatura 0.1 Celsius
6	Repetibilidad	Humedad +- 1 % RH; Temperatura + - 0.2 Celsius
7	Histéresis de humedad	+0.3%RH
8	Estabilidad a largo plazo	+0.5 % RH / año
9	Intercambiabilidad	Completamente intercambiable

Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.

#### 4.2.1 Asignaciones de pin

La Tabla N° 4, muestra la configuración de pines del módulo MA2302.

Tabla N° 4: Configuración de pines del módulo AM2302

Pin	Name	Description
①	VDD	Power (3.3V–5.5V)
②	SDA	Serial data, bidirectional port
③	NC	Empty
④	GND	Ground

Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.

La Figura N° 18, muestra el diagrama de salida de pines del módulo AM2302.

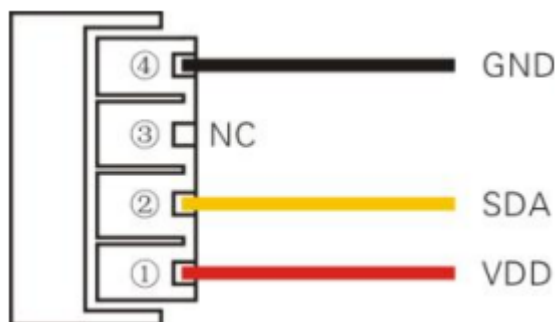


Figura N° 18: Diagrama de salida de pines  
Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.

#### 4.2.2 Características eléctricas

Características eléctricas, como el bajo consumo de energía, voltaje de salida, dependiendo de la fuente de alimentación son importantes, a fin de conocer el desempeño del módulo. En la Tabla N° 5 se detallan las características eléctricas del AM2302.

Para obtener los mejores resultados con el sensor, se debe diseñar estrictamente de acuerdo con las condiciones de diseño especificadas en la Tabla N° 6 y Tabla N° 7, respectivamente.

Tabla N° 5: Características eléctricas del módulo AM2302

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Voltage		3.3	5	5.5	V
Power consumption <sup>[4]</sup>	Dormancy	10	15		μA
	Measuring		500		μA
	Average		300		μA
Low level output voltage	$I_{OL}^{[5]}$	0		300	mV
High output voltage	$R_p < 25 \text{ k}\Omega$	90%		100%	VDD
Low input voltage	Decline	0		30%	VDD
Input High Voltage	Rise	70%		100%	VDD
$R_{pu}^{[6]}$	VDD = 5V VIN = VSS	30	45	60	kΩ
Output current	turn on		8		mA
	turn off	10	20		μA
Sampling period		2			S

Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.

### 4.2.3 Desempeño del sensor

#### 4.2.3.1 Parámetros del sensor de humedad

Tabla N° 6: Parámetros del sensor de humedad

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		%RH
Range		0		99.9	%RH
Accuracy <sup>[1]</sup>	25°C		± 2		%RH
Repeatability			± 0.3		%RH
Exchange		Completely interchangeable			
Response <sup>[2]</sup>	1/e(63%)		<5		S
Sluggish			<0.3		%RH
Drift <sup>[3]</sup>	Typical		<0.5		%RH/yr

Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.

#### 4.2.3.2 Parámetros del sensor de temperatura

Tabla N° 7: Parámetros del sensor de Temperatura

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		°C
			16		bit
Accuracy			± 0.5	± 1	°C
Range		-40		80	°C
Repeat			± 0.2		°C
Exchange		Completely interchangeable			
Response	1/e(63%)		<10		S
Drift			± 0.3		°C/yr

Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.

#### 4.2.4 Protocolo de comunicación de bus único

El circuito de la conexión del AM2302 y la placa Arduino 2302 se muestran en la Figura 19 como una aplicación típica. El modo de comunicación de bus es único, se puede verificar al extraer el puerto de E / S del microprocesador SDA conectado.

El dispositivo AM2302 usa una comunicación simplificada de bus único. Se le denomina Bus único porque sólo utiliza una línea de datos, un sólo sistema de intercambio de datos, controlado por la línea de datos que es completada en intervalos por la información que envía los microprocesadores de cada sensor.

El Equipo (microprocesador) a través de un puerto de drenaje abierto o tri-estado conectado a la línea de datos permite que el dispositivo no envíe datos para liberar el bus, mientras que otros dispositivos usan el bus; un solo bus generalmente requiere una resistencia de pull-up externa de aproximadamente 5,1 k $\Omega$ , por lo que cuando el bus está inactivo, su estado es alto.

Debido a que la estructura funciona en el modo maestro-esclavo, sólo el host llama al sensor, a lo cual el sensor responderá, por lo que los hosts para acceder al sensor deben seguir estrictamente la secuencia del bus único, si hay una secuencia de confusión, el sensor no responderá al anfitrión (en este caso el host).

#### 4.2.4 Bus individual para enviar la definición de datos

El pin SDA permite la comunicación y la sincronización entre el microprocesador y el AM2302, el formato de datos de bus único es una transmisión de 40 datos, el primero es de mayor salida. El tiempo de comunicación específico se muestra en la Figura N° 19 y Figura N° 20, respectivamente. El modelo de modelo de protocolo de comunicación de bus único y el circuito y comunicación de los chips del módulo AM2302.

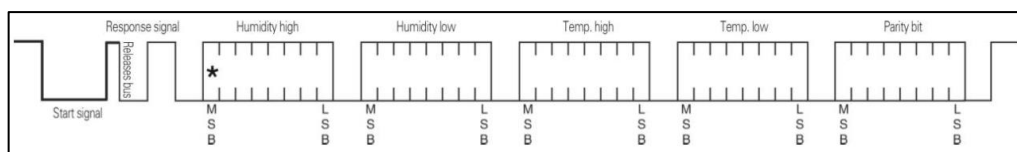


Figura N° 19: Protocolo de comunicación de bus único AM2302  
Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.

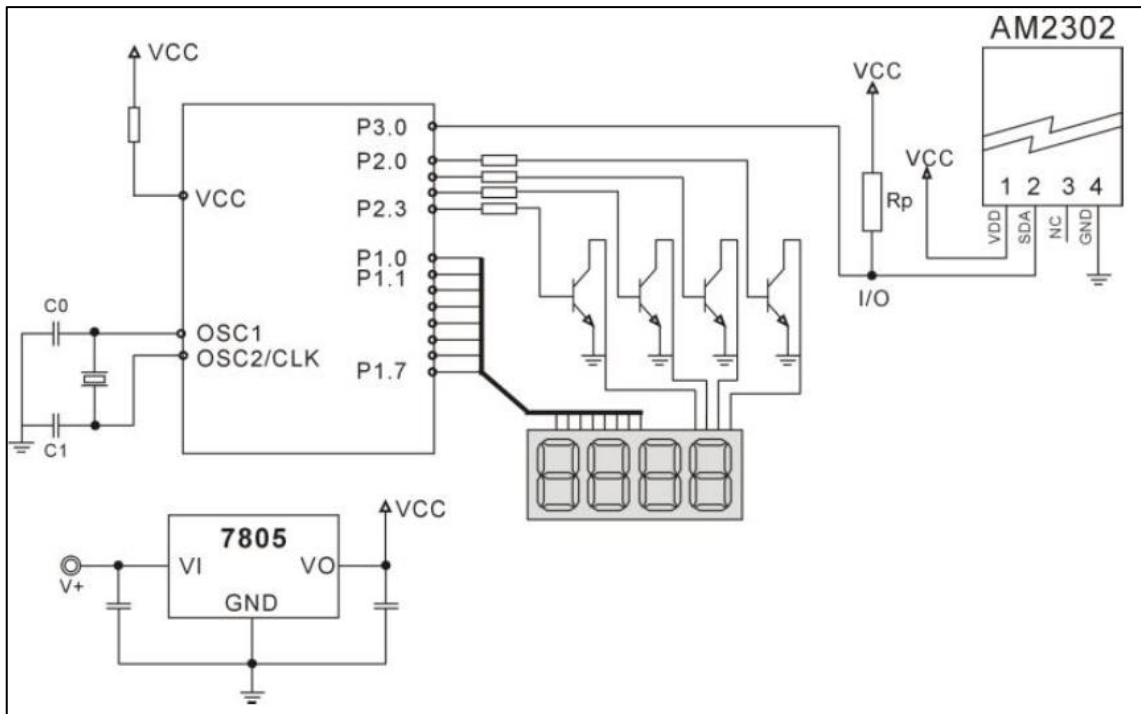


Figura N° 20: Circuito y comunicación del procesador AM2302  
 Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.

#### 4.2.4.1 Consideraciones en la comunicación de bus único

Las siguientes indicaciones se deberán tener en cuenta en el análisis del circuito:

El circuito de aplicación típica recomendado en con una longitud de cable corto menor a 30 metros.

Con un voltaje de suministro de 3,3V, la longitud del cable no debe ser mayor a 100 cm. De lo contrario, la caída de voltaje en la fuente de alimentación del sensor, puede ocasionar un error de medición.

El intervalo de tiempo mínimo del sensor es de 2 S; el intervalo de lectura inferior a 2 S, puede causar que la información de temperatura y la humedad no estén permitidas a mostrarse en el monitor serial o en la pantalla LCD, o la comunicación no sea exitosa, etc.

Los valores de temperatura y humedad se leen cada uno por separado, siendo los resultados de la última medición. Para los datos en tiempo real que necesitan lectura

continúa dos veces, se recomienda leer repetidamente los sensores, y cada intervalo de lectura del sensor debe ser mayor a 2 segundos para obtener datos precisos.

### 4.3 Pantalla LCD

Una pantalla de cristal líquido (LCD) es una pantalla plana u otro dispositivo óptico electrónicamente modulado que utiliza las propiedades de modulación de la luz de los cristales líquidos. Los cristales líquidos no emiten luz directamente, sino que usan una luz de fondo o un reflector para producir imágenes en color o monocromo. Las pantallas LCD están disponibles para mostrar imágenes arbitrarias (como en una pantalla de computadora de propósito general) o imágenes fijas con poco contenido de información, que pueden mostrarse u ocultarse, como palabras preestablecidas, dígitos y pantallas de siete segmentos, como en un reloj digital. Usan la misma tecnología básica, excepto que las imágenes arbitrarias se componen de una gran cantidad de píxeles pequeños, mientras que otras muestran elementos más grandes. La Figura N° 21, muestra la vista frontal de la pantalla LCD. Mientras que la Figura N° 22, muestra la vista posterior de la pantalla.



Figura N° 21: Vista frontal de la pantalla LCD 4x20  
Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.

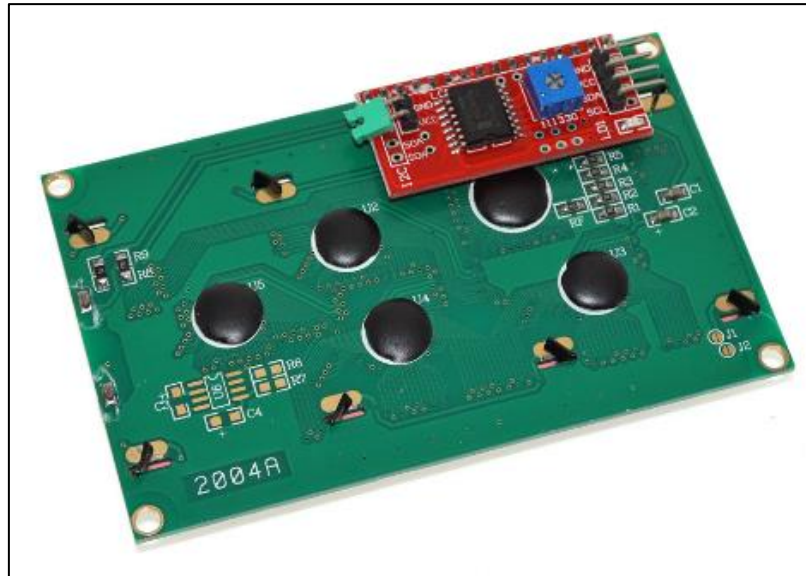


Figura N° 22: Vista posterior de la pantalla LCD 4x20  
Fuente: Aosong Electronics Co. Ltd., 2018.



## CAPÍTULO V: DISEÑO Y UBICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA

### 5.1 Ubicación del Proyecto

El proyecto podría ser instalado en los Pañoles de Munición de las Fragatas Misileras Clase Aguirre o Clase Carbajal de la Marina de Guerra del Perú, puesto que se requiere renovar los sensores con los cuentan a fin de modernizar el sistema de control de temperatura y humedad de las mencionadas Unidades. La Figura N° 23, muestra a la FM-58 en plena operación con helicópteros, mientras que en la Figura N° 24, se muestra el montaje 127/54 mm.



Figura N° 23: Fragata Misilera FM-58 en Operaciones con Helicóptero  
Fuente: Revista Marina de Guerra del Perú, 2018.



Figura N° 24: Montaje 127/54 mm de la Fragata Misilera Clase Carbajal / Aguirre  
Fuente: Revista Marina de Guerra del Perú, 2018.

### 5.1.1 Pañol de munición

Es un compartimiento diseñado como espacio de almacenamiento de munición, generalmente situado debajo de la cubierta principal y tanto como sea posible, debajo de la línea de flotación. En la Figura N° 25, se pueden observar los sensores instalados que requieren modernización.



Figura N° 25: Sensores instalados por diseño en las Fragatas misileras Clase Carbajal y Aguirre  
Fuente: Revista Marina de Guerra del Perú, 2018.

En la Figura N° 26, se muestra la munición 127/54 mm, cuyo componente principal es la PSH, el cual es altamente explosivo.



Figura N° 26: Imagen referencial de la munición 127/54 mm.  
Fuente: Marina de Guerra Italiana, 2018.

La Figura N° 27 muestra, el Diseño sintetizado del circuito la medición de la temperatura y humedad en las Fragatas Misileras clase Carbajal y Aguirre de la Marina de Guerra del Perú.

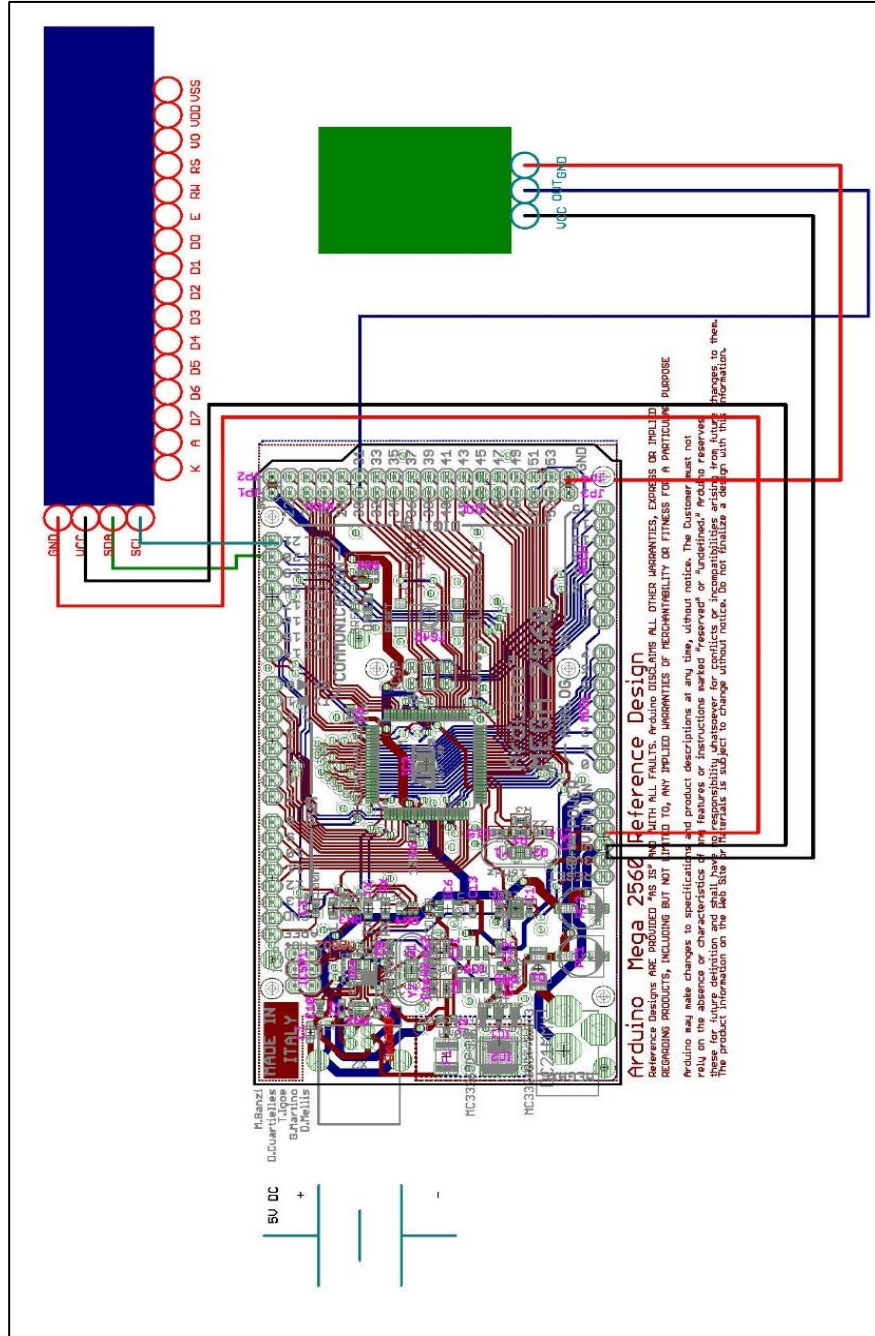


Figura N° 27: Diseño sintetizado para la medición de temperatura y humedad – FM  
 Fuente: Elaboración propia, 2018.

## 5.2 Programación

El lenguaje de programación Arduino se puede dividir en tres partes principales: estructura, valores (variables y constantes) y funciones.

### 5.2.1 Estructura

Determinar los elementos del código arduino en programación (C ++).

### 5.2.2 Valores (variables y constantes)

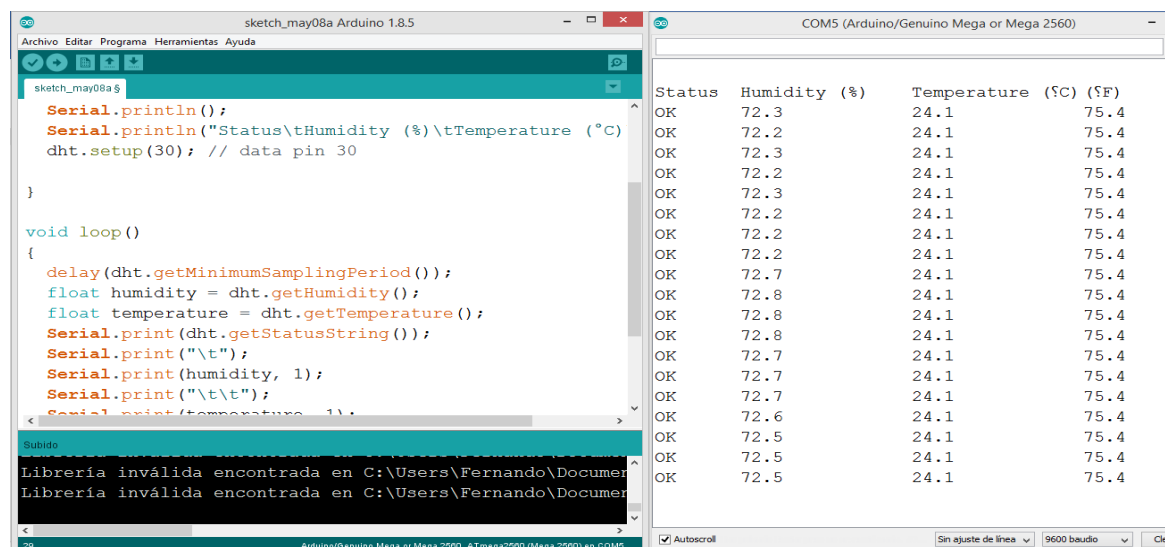
Determinar los tipos de datos como variables y constantes.

### 5.2.3 Funciones

Determinar las funciones para controlar la placa Arduino y realizar cálculos.

La Figura N° 28, muestra el reporte del sistema en modo serial, sensando la humedad y temperatura, debido a las propiedades de la capacitancia y conductancia insertadas de los componentes del mismo, como son un capacitor y un termistor.

Asimismo, en la Figura N° 29, se observa el diseño preliminar del circuito básico en los pañoles de munición de una Fragata Misilera.



```
sketch_may08a $
Serial.println();
Serial.println("Status\tHumidity (%)\tTemperature (°C)");
dht.setup(30); // data pin 30
}

void loop()
{
  delay(dht.getMinimumSamplingPeriod());
  float humidity = dht.getHumidity();
  float temperature = dht.getTemperature();
  Serial.print(dht.getStatusString());
  Serial.print("\t");
  Serial.print(humidity, 1);
  Serial.print("\t\t");
  Serial.print(temperature, 1);
}
```

Status	Humidity (%)	Temperature (°C)	(°F)
OK	72.3	24.1	75.4
OK	72.2	24.1	75.4
OK	72.3	24.1	75.4
OK	72.2	24.1	75.4
OK	72.3	24.1	75.4
OK	72.2	24.1	75.4
OK	72.2	24.1	75.4
OK	72.2	24.1	75.4
OK	72.7	24.1	75.4
OK	72.8	24.1	75.4
OK	72.8	24.1	75.4
OK	72.8	24.1	75.4
OK	72.7	24.1	75.4
OK	72.7	24.1	75.4
OK	72.7	24.1	75.4
OK	72.7	24.1	75.4
OK	72.6	24.1	75.4
OK	72.5	24.1	75.4
OK	72.5	24.1	75.4
OK	72.5	24.1	75.4
OK	72.5	24.1	75.4

Figura N° 28: Captura de Pantalla  
Fuente: Elaboración propia, 2018.

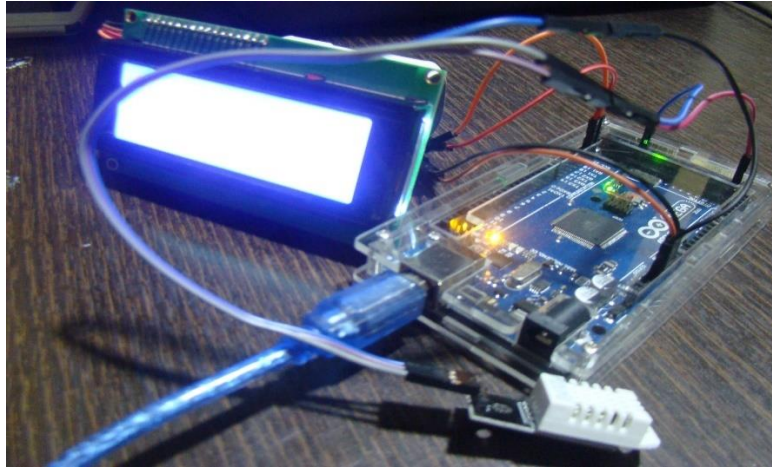


Figura N° 29: Puesta a punto del diseño de medición de temperatura y humedad – Módulo AM2302  
Fuente: Elaboración propia, 2018.

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 6.1 Cálculo de la capacitancia en condiciones simuladas

La capacitancia  $C$  de un capacitor, se calcula encontrando la diferencia de potencial  $V_{ab}$  entre los conductores para una magnitud de carga dada  $Q$  y aplicando la ecuación 8 citada en el punto 2.6, de la presente investigación.

Al analizar el diseño del módulo AM2302, se observa que usan capacitores de placas paralelas utilizando el aire como dieléctrico, siendo el valor del aire como dieléctrico 1.006; es decir, los conductores en forma de placa están separados por un espacio vacío.

Cabe precisar que cuando las placas tienen carga, el campo eléctrico está localizado casi por completo en la región entre las placas, la distancia entre placas es de 0.0005 m. es decir  $5 \times 10^{-4}$ .

#### 6.1.1 Capacitancia entre placas

Determinación de A y d

Las dimensiones de las microplacas paralelas del sensor de humedad en el módulo AM2302 es de 4 mm x 5 mm, por lo tanto, el área en  $m^2$  se obtiene mediante:  $0.004 \times 0.003 \text{ m} = 0.000012 \text{ m}^2$ , mientras que la distancia entre ambas placas es de 0.0005 m, es decir  $\frac{1}{2} \text{ mm}$ .

Por lo tanto, la capacitancia del sensor de humedad se calcula mediante la ecuación 12 (en F).

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (24)$$

$$C = \frac{(8.85 \times 10^{-12} \text{ m}) \times (2.00 \text{ m}^2)}{5.00 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$C = 3.54 \times 10^{-9} F$$

Entonces, la capacidad de mantener una carga en las placas del sensor de humedad del módulo AM2302, generando un campo eléctrico para una diferencia de potencial eléctrico dado (ya que este puede variar), en las placas paralelas del sensor de humedad es de 0.000 000 000 000 212 Faradios, siendo su valor unidades SI, ( $2.12 \times 10^{-13}$  F, por lo tanto, son 2 fracciones de mil millonésimas partes de un Faradio la capacitancia del capacitor de humedad del módulo AM2302).

Cabe precisar, que la constante  $k$ , es la permisibilidad del vacío, cuyo valor puede ser afectado por muchos factores, como, por ejemplo, el peso molecular del agua, la forma de la molécula, la dirección de sus enlaces (geometría de la molécula) o el tipo de interacciones que presente, según sea el caso, tal como se ha descrito en el punto 2.7, del capítulo 2.

### 6.1.2 Campo eléctrico

El módulo AM2302 cuenta con dos láminas, una lámina inferior con carga positiva, y la segunda lámina ubicada en la parte superior, tiene carga negativa; los campos debidos a cada lámina son  $\vec{E}_1$  y  $\vec{E}_2$ , ambos tienen la misma magnitud en todos los puntos, pero con signos opuestos, la cual se determina mediante la ecuación 25.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{|q|}{r^2} \quad (25)$$

$$E_1 = E_2 = 1.7976 \times 10^{16} \text{ N / C}$$

Por lo tanto, la intensidad del campo eléctrico es de  $1.7976E + 16 \text{ N / C}$ .

Para comprobar el resultado, se emplea la ecuación 26 de densidad de energía eléctrica en el vacío.

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (246)$$

$$u = 1.43E+21 \text{ J}$$

Se corrobora el campo eléctrico, mediante la ecuación 27:

$$E = \sqrt{\frac{2u}{\epsilon_0}} \quad (257)$$

$$E = 1.7976E+16 \text{ N/C}$$

## 6.2 Cálculo de la conductancia en condiciones simuladas

Para calcular la conductancia desde la corriente y el voltaje. Se inició con la ecuación 17 donde V es el voltaje y la I es la intensidad de corriente eléctrica

$$V = IR \quad (268)$$

$$5 \text{ V} = 0.5 \text{ mA} \times R$$

$$R = 10 \Omega.$$

El cálculo de la conductancia, se realiza con la ecuación 29.

$$G = \frac{I}{V} \quad (279)$$

$$G = \frac{0.5 \text{ A}}{5 \text{ V}}$$



$$G = 0.1 \text{ S}$$

Es decir, a una temperatura que impacta en el termistor, origina que los electrones encontrarán una conductancia (G) de 0.1 S, lo cual significa que los electrones encontrarán “casi cero” resistencia, esa es la propiedad de la conductancia del semiconductor empleado en el sensor de temperatura.

Asimismo, para finalizar la idea en el termistor del módulo AM2302, la conductancia de las sales, variará de acuerdo a la temperatura del ambiente, a mayor temperatura las propiedades eléctricas de los óxidos superconductores “dejarán” que la corriente pase, ello será interpretado en el “chip” correspondiente al termistor, procesando y enviando una señal digital por el bus único del módulo AM2302.

### 6.3 Presentación del análisis de data y estadígrafos

Tabla N° 8: Frecuencias - Variación de voltaje

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
3	4	11,8	11,8	11,8
3	8	23,5	23,5	35,3
3	13	38,2	38,2	73,5
Válidos 3	4	11,8	11,8	85,3
3	4	11,8	11,8	97,1
4	1	2,9	2,9	100,0
Total	34	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla N° 9: Estadísticos en la variación de voltaje

		Variación de voltaje
N	Válidos	34
	Perdidos	0
Media		3,20
Mediana		3,20
Moda		3
Desv. típ.		,127
Varianza		,016
Mínimo		3
Máximo		4

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Ante variaciones producidas en la fuente, el sensor trabaja de manera óptima en el rango de 3 V a 4 V, siendo la media de una muestra de 34 mediciones de 3,20 V, tal como se puede apreciar en la distribución de frecuencias de la Tabla N° 8 y en los estadígrafos de la Tabla N° 9.

Tabla N° 10: Frecuencia - Estabilidad de corriente mA

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 500	34	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla N° 11: Estadísticos en la Estabilidad de corriente  $\mu$ A

		Estabilidad de corriente mA
N	Válidos	34
	Perdidos	0
Media		500
Mediana		500
Moda		500
Desv. típ.		,00000
Varianza		,000
Mínimo		500
Máximo		500

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En cuanto al suministro de corriente, al sensor permanece estable con una media de 500  $\mu$ A de corriente, continua, tal como se puede apreciar en la distribución de frecuencias de la Tabla N° 10 y en los estadígrafos de la Tabla N° 11.

Tabla N° 12: Frecuencias - Tiempo de respuesta sensor (s)

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	2,00	25	73,5	73,5
Válidos	3,00	9	26,5	100,0
Total		34	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla N° 13: Estadísticos - Tiempo de respuesta sensor (s)

		Tiempo de respuesta del sensor (s)
N	Válidos	34
	Perdidos	0
Media		2,2647
Mediana		2,0000
Moda		2,00
Desv. típ.		,44781
Varianza		,201
Mínimo		2,00
Máximo		3,00

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El tiempo de respuesta del sensor es de 2.2647 segundos; sin embargo, por diseño el sensor es programado para un tiempo de respuesta rápido de 2 segundos, sin embargo, la variación se aprecia en las diversas condiciones de temperatura y humedad del recinto, tal como se puede apreciar en la distribución de frecuencias de la Tabla N° 12 y en los estadígrafos de la Tabla N° 13.

Tabla N° 14: Frecuencia - Distancia de efectividad por convección en espacio cerrado – amago (m)

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
1,90	3	8,8	8,8	8,8
2,00	2	5,9	5,9	14,7
2,30	2	5,9	5,9	20,6
2,50	25	73,5	73,5	94,1
3,00	2	5,9	5,9	100,0
Total	34	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla N° 15: Estadísticos - Distancia de efectividad por convección en espacio cerrado – amago (m)

		Distancia de efectividad por convección en espacio cerrado - amago (m)
N	Válidos	34
	Perdidos	0
Media		2,4353
Mediana		2,5000
Moda		2,50
Desv. típ.		,24727
Varianza		,061
Mínimo		1,90
Máximo		3,00

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La media de la efectividad por convección es de 2.4353 m. Es decir, la medición mínima de la temperatura como respuesta externa en esa distancia. Lo cual significa que el módulo AM2302 está diseñado para sensar por convección, debido a las variaciones de las condiciones iniciales que sufre el medio debido a una fuente de calor, tanto de temperatura como humedad en el aire circundante, tal como se puede apreciar en la distribución de frecuencias de la Tabla N° 14 y en los estadígrafos de la Tabla N° 15.

Tabla N° 16: Distancia de efectividad por conducción en espacio cerrado – calentamiento por amago (m)

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
,30	1	2,9	2,9	2,9
,40	2	5,9	5,9	8,8
,45	2	5,9	5,9	14,7
,50	24	70,6	70,6	85,3
,60	5	14,7	14,7	100,0
Total	34	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla N° 17: Distancia de efectividad por conducción en espacio cerrado – calentamiento por amago (m)

		Distancia de efectividad por conducción en espacio cerrado - calentamiento por amago (m)
N	Válidos	34
	Perdidos	0
Media		,5000
Mediana		,5000
Moda		,50
Desv. típ.		,05903
Varianza		,003
Mínimo		,30
Máximo		,60

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La media de efectividad por conducción es de 0.5 m. Significa el comportamiento del módulo para sensar la temperatura en caso el soporte empiece a variar su temperatura. Obviamente, ello significaría que se dispare la alarma preprogramada del sistema, tal como se puede apreciar en la distribución de frecuencias de la Tabla N° 16 y en los estadígrafos de la Tabla N° 17.

Tabla N° 18: Frecuencias - Medición mínima sensada por variaciones de Temperatura (°C)

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
1,00	27	79,4	79,4	79,4
1,10	2	5,9	5,9	85,3
1,20	1	2,9	2,9	88,2
Válidos 1,30	2	5,9	5,9	94,1
1,40	1	2,9	2,9	97,1
1,50	1	2,9	2,9	100,0
Total	34	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla N° 19: Estadísticos - Medición mínima sensada por variaciones de Temperatura (°C)

	Medición mínima sensada como respuesta por estímulo externo Temperatura (°C)
N	Válidos 34
	Perdidos 0
Media	1,0559
Desv. típ.	,12837
Varianza	,016
Curtosis	4,836
Error típ. de curtosis	,788
Mínimo	1,00
Máximo	1,50

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La distancia mínima sensada como respuesta por estímulo externo Temperatura (°C), tiene una media de 1 m. tal como se puede apreciar en la distribución de frecuencias de la Tablas N° 18 y en los estadísticos de la Tabla N° 19. Es decir, la medición mínima de la temperatura como respuesta externa es esta distancia. Lo cual significa que el módulo AM2302 está diseñado para sensar debido a las variaciones de las condiciones iniciales que sufre el medio debido a una fuente de calor, que altera el aire circundante.

Tabla N° 20: Frecuencias - Medición mínima sensada por variaciones de humedad (%)

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
3,70	1	2,9	2,9	2,9
3,80	1	2,9	2,9	5,9
4,00	1	2,9	2,9	8,8
Válidos 4,20	1	2,9	2,9	11,8
4,50	29	85,3	85,3	97,1
5,00	1	2,9	2,9	100,0
Total	34	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla N° 21: Estadísticos - Medición mínima sensada por variaciones de humedad (%)

	Medición mínima sensada como respuesta por estímulo externo Humedad (%)
N	Válidos 34 Perdidos 0
Media	4,4471
Desv. típ.	,22189
Varianza	,049
Curtosis	6,067
Error típ. de curtosis	,788
Mínimo	3,70
Máximo	5,00

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La distancia mínima sensada como respuesta por estímulo externo de humedad (%), tiene una media de 4,4 m. tal como se puede apreciar en la distribución de frecuencias de la Tabla N° 20 y en los estadísticos de la Tabla N° 21. Es decir, la medición mínima humedad como respuesta externa es esta distancia. Lo cual significa que el módulo AM2302 está diseñado para sensar debido a las variaciones de las condiciones iniciales que sufre el medio debido a una fuente de humedad producida por evaporación, calentamiento de mamparos, etc., que altera el aire circundante.

Tabla N° 22: Precisión en condiciones de repetitividad en periodos cortos

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
95,00	2	5,9	5,9	5,9
97,00	1	2,9	2,9	8,8
Válidos 98,00	4	11,8	11,8	20,6
100,00	27	79,4	79,4	100,0
Total	34	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla N° 23: Estadísticos - Precisión en condiciones de repetitividad en periodos cortos

		Precisión en condiciones de repetitividad en periodos cortos
N	Válidos	34
	Perdidos	0
Media		99,3824
Mediana		100,0000
Moda		100,00
Desv. típ.		1,37101
Varianza		1,880
Mínimo		95,00
Máximo		100,00

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La precisión bajo condiciones de repetitividad en periodos cortos tiene una media de 99.38 % de precisión, con lo cual se comprueba que el módulo en plena operación y en condiciones constantes de sensado de temperatura y humedad mantiene la repetitividad de los valores en °C con una alta fiabilidad, tal como se aprecia en la distribución de frecuencias de la Tabla N° 22 y en los estadísticos de la Tabla N° 23.



Tabla N° 24: Frecuencia en la medición de la Precisión en condiciones diarias

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
97,00	2	5,9	5,9	5,9
98,00	4	11,8	11,8	17,6
Válidos 99,00	3	8,8	8,8	26,5
100,00	25	73,5	73,5	100,0
Total	34	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla N° 25: Estadísticos - Precisión en condiciones diarias

		Precisión en condiciones diarias
N	Válidos	34
	Perdidos	0
Media		99,5000
Mediana		100,0000
Moda		100,00
Desv. típ.		,92932
Varianza		,864
Mínimo		97,00
Máximo		100,00

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La precisión bajo condiciones diarias de trabajo de sensado de temperatura y humedad tiene una media del 99.5 % de precisión y fiabilidad del módulo AM2302, con lo cual se comprueba que el módulo en plena operación y en condiciones constantes de sensado de temperatura y humedad mantiene la repetitividad de los valores en °C con una alta fiabilidad, tal como se aprecia en la distribución de frecuencias de la Tabla N° 24 y en los estadísticos de la Tabla N° 25.

## 6.4 Parámetros calculados y evaluados

Tabla N° 26: Test de investigación electrónica



### ANÁLISIS DE LA CAPACITANCIA Y CONDUCTANCIA DEL MÓDULO AM2302 PARA EL MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LOS PAÑALES DE MUNICIÓN DE LAS FRAGATAS MISILERAS

PARÁMETROS MEDIDOS EN EL MÓDULO AM2302				DE FÁBRICA			SENSADO ( $\bar{x}$ )
N°	ITEM	CONDICIÓN	UNIDAD	Mínimo	Media	Max	
1	Fuente de alimentación	DC	V	3.0 V	3.2 V	4 V	3.20 V
2	Suministro de corriente	Rango de medición	mA	500 mA	500 mA	500 mA	500 mA
		En modo de espera	mA	500 mA	500 mA	500 mA	500 mA
3	Tiempo de respuesta (Programable)		s	2''	2.25''	3''	2.26''
4	Capacitancia		F	2.12 x10 <sup>-13</sup> F			
5	Conductancia		S	0.1 S			
	Rango de efectividad por convección		m.	1.90	2.43	3	2.43
6	Rango de efectividad por conducción		m.	0.30	0.5	0.60	0.5
7	Medición mínima sensada por variaciones de temperatura (°C)		°C	1	1.15	1.5	1.0
8	Medición mínima sensada por variaciones de humedad (%)		%	3.70	4.44	8	4.44
9	Precisión bajo condiciones de repetitividad en periodos cortos		% / °C	95	99.38	100	99.38
10	Precisión bajo condiciones diarias		% / °C	97	99.50	100	99.50

Fuente: Elaboración propia, 2018.

## CONCLUSIONES

1. Se instaló correctamente el sensor AM2302 en la Fragata Misilera Mariategui, permitiendo el monitoreo de la humedad, en cualquier ambiente en los pañoles de munición.
2. Se determina que la capacitancia (C) es la capacidad que tiene un conductor de transferir y almacenar una carga eléctrica, a través de dos conductores separados por un vacío, por lo que la interacción entre cargas genera un campo eléctrico  $\vec{E}$ , este campo ejerce una fuerza en cada carga en el conductor y sobre cualquier partícula o molécula presente. De tal manera que, dado el espacio entre las placas y siendo tan pequeño este (0,5 mm), la humedad aún es detectada, dado que la molécula de agua mide 2,75 Å, y dentro de 1 mm caben 10 millones de angstrom, dentro de ½ mm, 5 millones, entonces es un espacio suficiente para que las moléculas se alineen con el campo eléctrico formado por las placas, y estas detecten o censen la humedad.
3. Se ha determinado que los semiconductores tienen resistividades intermedias entre las de los metales y las de los aislantes. Estos materiales son importantes dado que sus resistividades se ven afectadas por la temperatura y por pequeñas cantidades de impurezas. El sensor de temperatura del Módulo AM2302 es un termistor a base de un óxido complejo de itrio, cobre y bario conformando un material semiconductor de alta conductancia y muy sensible a los cambios de temperatura, con lo cual visualiza la razón por lo que es más fiable con respecto a la termocupla, al detector de resistencia resistivo y a los sensores de temperatura de circuito integrado.
4. Se concluye que el capacitor de placas paralelas del módulo AM2302 tiene un valor de  $2,12 \times 10^{-13}$  F (dos fracciones de mil millonésimas partes de un Faradio), por lo tanto, genera un campo eléctrico que usa como dieléctrico al aire, por lo que, correctamente instalado permite el monitoreo de la humedad, en cualquier ambiente con menos de 50% de humedad, como en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú.

5. En conclusión el termistor de forma globular del módulo AM2302 tiene una conductancia desde 0.1 S, lo cual garantiza un mayor flujo de electrones a través del semiconductor a base de itrio, cobre y bario, por lo que instalado correctamente permite el monitoreo de la temperatura, en cualquier ambiente con menos de 30 °C, como en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú.
  
6. Con la adecuadamente configuración del módulo AM2302 a través de la placa arduino mega 2560 con las variables y funciones correspondientes, entonces dichas instrucciones al ser almacenadas en la memoria flash reprogramable de 256k bytes, la cual permitirá la automatización del control de temperatura y humedad en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú.
  
7. Finalmente dadas las condiciones y fiabilidad del sistema en mención, es viable y factible la instalación del sistema de monitoreo de humedad y temperatura.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que a valores mayores a 50% de humedad, se requieren la profundización de estudios y experimentos a fin verificar el desempeño del módulo AM2302, por los fenómenos de condensación y exudación.
2. Se recomienda que a valores mayores a 30 °C de temperatura, se requieren la profundización de estudios y experimentación mediante pruebas a fin verificar el desempeño del módulo AM2302, debido a que la carcasa que lo protege reacciona a temperaturas mayores a 43°C.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guangzhou Aosong Electronics Co., Ltd. (2003-2018). *Manual del producto AM2302: módulo de temperatura y humedad*. Recuperado el 12 de noviembre de 2017, de Aosong: [www.aosong.com](http://www.aosong.com)
- Bonifacio, E. (2014). *Sensor de Temperatura usando fibra óptica de plástico para uso en transformadores de potencia*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica. Lima. Perú.
- Calderon, J. (2012). *Diseño del control de temperatura del portasustrato de una cámara de alto vacío para elaborar películas semiconductoras delgadas*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica. Lima. Perú.
- Chaplin, M. (2018, 13 de enero). *Water Structure and Science*. Recuperado de [http://www1.lsbu.ac.uk/water/water\\_molecule.html](http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_molecule.html)
- Luyo, C. (2012). *Influencia del tamaño de las nanopartículas y la temperatura de operación de recubrimientos de NiO (óxido de níquel) en el cambio de la conductancia eléctrica cuando es expuesta a diferentes concentraciones de H<sub>2</sub>S y del N<sub>2</sub>*. (Tesis postgrado) Universidad Nacional de ingeniería. Lima. Perú.
- Mondragón, Y. (2016). *Funcionalidad del Arduino*. Lima: Perú.
- Once, G., y Rivera, J. (2017). *Diseño y construcción de un calibrador documentador de procesos utilizando microcontroladores y software libre para la calibración de instrumentos de temperatura en el laboratorio de redes industriales y control de procesos*. (Tesis pregrado) Universidad de las Fuerzas armadas. Ecuador.
- Picard, A., Davis, M., Glaser, M., y Fujii, K. (2008, 8 de enero). Revised formula for humid air density. (d.-9. Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon, B.-3. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, N. a.-1. National Metrology Institute of Japan, & 1-chome, Tsukuba, Ibaraki 305-8563, Japan, Edits.) *Metrología*, 149-155. doi:doi:10.1088/0026-1394/45/2/004
- Pubchem. (2018, 28 de abril). *National Center for Biotechnology Information*, Compound Summary for CID 14830. Recuperado el 29 de abril de 2018, de

Open Chemistry Database:

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14830#section=Top>

Pubchem.( 2018,28 de abril). *National Center for Biotechnology Information*,  
Compound Summary for CID 159374. Recuperado el 29 de abril de 2018, de  
[https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Yttrium\\_oxide#section=Top](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Yttrium_oxide#section=Top)

Pubchem. (2018,28 de abril). *National Center for Biotechnology Information*.  
Recuperado el 30 de abril de 2018, de Compound Summary for CID 14773:  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14773#section=Top>

Young, H. D., & Freedman,R.A. (2009). *Física Universitaria* (Vol. II). (Pearson, Ed.)  
México D.F., México, México: Impresora Apolo. Recuperado el 16 de  
diciembre de 2017

Zongrul, L., Yao, X., & Liu, J. (2014,15 de Julio). The Design of digital deep  
underground multi-point temperature and humidity detector. *Applied Mechanics  
& Materials*(no. 563), pp. 181-184. Obtenido de  
[10.4028/www.scientific.net/AMM.563.181](http://10.4028/www.scientific.net/AMM.563.181).

## ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Título: Análisis de la capacitancia y conductancia del módulo AM2302 para el monitoreo de temperatura y humedad en los pañoles de munición de las Fragatas Misileras

Tipo de investigación: Investigación Cuantitativa

Alcance de la Investigación: Descriptiva

Diseño: Experimental

Participantes:

Donna Silva Gurrionero

Melissa Ballesteros Monzón

Programa Profesional de Segunda Especialidad: Electrónica

Asesor: Mg.Ing.Julio Gonzales Prado

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	SISTEMAS DE VARIABLES	
	GENERAL	GENERAL	GENERAL	
¿Cómo analizar los principios de la capacitancia y conductancia que rigen al capacitor y termistor del módulo AM2302 y los parámetros de desempeño y fiabilidad, a fin de ser implementados en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018?	Analizar los principios de la capacitancia y conductancia que rigen al capacitor y termistor del módulo AM2302 y los parámetros de desempeño y fiabilidad, a fin de ser implementados en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018.	Si la capacitancia y conductancia que rigen al capacitor y termistor del módulo AM2302, tienen parámetros de desempeño y fiabilidad aceptables, frente a otros sensores, entonces, el módulo puede ser implementado en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018.	V.G.1. Humedad V.G.2. Temperatura V.G.3. Capacitancia V.G.4. Conductancia	
	ESPECIFICOS	ESPECIFICAS	ESPECIFICAS	CATEGORIAS
	Describir la capacitancia en la generación de un campo eléctrico en el capacitor de placas paralelas del módulo AM2302, para el monitoreo de la humedad en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018.	Si el capacitor de placas paralelas del módulo AM2302 tiene una capacitancia desde 2.00 pF entonces generará un campo eléctrico en (N/C) que usará como dieléctrico al aire, por lo que, si es instalado permitirá el monitoreo de la humedad en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú.	VE.1 Propiedad de la capacitancia	a. Capacitor. b. Campo eléctrico. c. Simbología. d. Constantes eléctricas. e. Carga de un electrón. f. Ley de coulomb. g. Propiedades físico químicas del agua.



	<p>Describir la propiedad de la conductancia por la disminución de la resistividad que presenta el semiconductor del termistor del módulo AM2302 para el monitoreo de la temperatura en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018.</p>	<p>Si el termistor globular del módulo AM2302 tiene una conductancia desde <math>4 \mu S</math> siemens, entonces habrá un mayor flujo de electrones a través del semiconductor debido al incremento de la temperatura, por lo que, sí es instalado permitiría el monitoreo de la misma en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú.</p>	<p>VE.2 Propiedad de la conductancia</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Resistividad.</li> <li>b. Resistividad y temperatura.</li> <li>c. Resistencia.</li> <li>d. Termistor.</li> <li>e. Conductancia.</li> <li>f. Componentes básicos de los termistores.</li> </ul>
	<p>Estimar los parámetros de desempeño y fiabilidad del módulo AM2302 para el monitoreo de la temperatura y humedad a fin de recomendar su implementación en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018.</p>	<p>Si se estiman los parámetros de desempeño y fiabilidad del módulo AM2302 para el monitoreo de la temperatura y humedad, en cuanto a sensibilidad, precisión y distancia de sensado; entonces, se podría recomendar su implementación en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018.</p>	<p>VE.2 parámetros de desempeño y fiabilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Parámetros de medición</li> <li>Distancia por convección</li> <li>Distancia por conducción</li> <li>Precisión</li> </ul>
	<p>Describir los componentes del sistema de monitoreo de la humedad y temperatura en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018.</p>	<p>Si se configura el módulo am2302 a través de la placa arduino mega 2560 con las variables y funciones correspondientes, entonces dichas instrucciones serán almacenadas en la memoria flash reprogramable de 256k bytes, lo cual permitirá la automatización del control de temperatura y humedad en los pañoles de munición de una Fragata Misilera Clase Aguirre o Carbajal de la Marina de Guerra del Perú en el año 2018.</p>	<p>VE.3 Componentes del sistema de monitoreo de la humedad y temperatura</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Placa arduino mega2560</li> <li>b. Módulo am2302.</li> <li>c. Pantalla LCD 4x20.</li> <li>d. Fuente de alimentación 5V.</li> <li>e. <u>Diseño</u></li> </ul>