

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Proyecto de grado para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Diseño y simulación de un sistema de deshumidificación para tanques de almacenamiento a granel de diésel controlado por medio de una tarjeta Arduino

Mejía Palomino Andrés Abraham

Director: Ing. Marco Vinicio Noroña Merchán Msc.

Guayaquil, Octubre 2018

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Ing. Marco Vinicio Noroña Merchán

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado **“Diseño y simulación de un sistema de deshumidificación para tanques de almacenamiento a granel de diésel controlado por medio de una tarjeta Arduino”** realizado por el estudiante: **ANDRÉS ABRAHAM MEJÍA PALOMINO**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple las normas estatutarias establecidas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional. Sí recomiendo su publicación. El mencionado trabajo consta de (un) empastado y (un) disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autoriza al señor: Andrés Abraham Mejía Palomino, que lo entregue a biblioteca de la Facultad, en si calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Guayaquil, Octubre 2018

Ing. Marco Vinicio Noroña Merchán Msc.
Director del Proyecto

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Yo, ANDRÉS ABRAHAM MEJÍA PALOMINO

DECLARO QUE:

La investigación de cátedra denominada: **“Diseño y simulación de un sistema de deshumidificación para tanques de almacenamiento a granel de diésel controlado por medio de una tarjeta Arduino”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría, apoyados en la guía constante de mi docente.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico para la Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz.

Guayaquil, Octubre 2018.

Andrés Abraham Mejía Palomino

C.I: 0951946912

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, ANDRÉS ABRAHAM MEJÍA PALOMINO

Autorizo a la Universidad Internacional del Ecuador, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución, de la investigación de cátedra: **“Diseño y simulación de un sistema de deshumidificación para tanques de almacenamiento de diésel controlado por medio de una placa Arduino”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, Octubre 2018.

Andrés Abraham Mejía Palomino

C.I: 0951946912

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas que siempre han estado conmigo incondicionalmente:

Mis padres, los únicos en quien confío y los únicos en quien sacrificaría todo sin dudarlo, es por ello, que quisiera expresar mi gratitud hacia ellos, dedicándoles este trabajo que he logrado durante mi etapa universitaria, bajo sus ayudas y constante apoyo, ya que, de no ser por ellos, no habría logrado absolutamente nada.

AGRADECIMIENTO

Agradezco fielmente a mis padres, por su ayuda tanto fuera como dentro de mi carrera universitaria, y por la confianza que nunca desvaneció en ellos hacia mi persona, es por ello por lo que les estoy eternamente agradecido.

A la Universidad Internacional del Ecuador, por su formación académica que impartieron.

A los demás docentes que ofrecieron las cátedras universitarias a lo largo de mi período estudiantil.

Al ingeniero Marco Noroña, por su amabilidad, y por ser el guía de este proyecto, quien también me otorgó sus consejos para desarrollarlo.

También quiero agradecer al profesor Raúl Pesantes, a quien considero un excelente tutor y de quien escuché, muchas anécdotas y experiencias de la vida.

ÍNDICE GENERAL

Certificación.....	i
Declaro que:.....	ii
Autorización.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice general.....	vi
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de ecuaciones	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract	xv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Definición del problema	1
1.2. Formulación del problema	1
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Justificación y delimitación de la investigación	3
1.4.1. Justificación teórica	3
1.4.2. Justificación metodológica	3
1.4.3. Justificación práctica	3
1.4.4. Delimitación geográfica	4

1.5. Delimitación del contenido.....	4
1.6. Hipótesis	4
1.6.1. Variables de hipótesis.....	4
CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1. Condensación.....	5
2.2 Humedad.....	7
2.3 Humedad absoluta.....	7
2.4 Humedad específica y relación de mezcla.....	9
2.5 Humedad relativa.....	10
2.6 Punto de rocío	12
2.7 Cálculo del punto de rocío	13
2.8 Tipos de contaminantes en los tanques de almacenamiento.....	13
2.8.1. Contaminación por agua	14
2.8.2. Condensación en los tanques de almacenamiento	15
2.8.3 Crecimiento microbiano	16
2.9. Problemas con la presencia agua en motores de combustible diésel	18
2.9.1. Daños directos causados por el agua	18
2.9.2. La corrosión más severa se observa en la parte más alta del tanque	19
2.9.3. Pruebas analíticas de vapor por parte de EPA	21
CAPÍTULO III ESTUDIO DEL ARDUINO Y CELDAS PELTIER.....	27
3.1. Arduino	27
3.1.1. Arduino Uno	27
3.1.2. Ventajas del Arduino Uno	28
3.1.3. Desventajas del Arduino Uno	28
3.1.4. Pines de alimentación	29

3.1.5. Entradas y salidas digitales	29
3.1.6. Entradas analógicas.....	30
3.1.7. Botón de reset	31
3.1.8. Puerto Jack.....	31
3.2. Software Arduino.....	31
3.3. Celda Peltier.....	34
3.4. Disipador de calor	38
3.5. Sensor DHT11	39
3.5.1. Diagrama de conexión del Sensor DHT11	40
3.5.2. Fuente de alimentación del sensor	40
3.6. Liquid Crystal Display.....	41
3.6.1. Diagrama del LCD.....	42
3.6.2. Uso del LCD en Arduino	43
CAPÍTULO IV PROTOTIPO DEL TANQUE Y PROGRAMACIÓN	44
4.1. Librerías	44
4.2. Lenguaje de programación.....	44
4.2.1. Estructura	45
4.2.2. Sintaxis adicionales.....	45
4.2.3. Variables	47
4.2.4. Definición de niveles de pin: HIGH Y LOW.....	47
4.2.5. Tipos de datos.....	48
4.3. Programación del sensor DHT11	49
4.4. Programación del LCD	51
4.5. Introducción a las salidas digitales	53
4.5.1. DigitalRead()	54

4.5.2. DigitalWrite()	54
4.6. Control de la celda Peltier	55
4.7. Diseño de un sistema de almacenamiento de combustible en Solidworks	60
4.8. Diseño del circuito de deshumidificación	62
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5.1. Conclusiones	65
5.2. Recomendaciones	66
Bibliografía	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Formación de jabón en el diésel	23
Tabla 2.2 Presencia de partículas suaves y duras en el diésel	23
Tabla 2.3 Presencia de algas, bacterias y hongos en el diésel	25
Tabla 2. 4 Partículas de metal corroído en el diésel	26
Tabla 3. 1 Especificaciones técnicas de Arduino Uno.....	28
Tabla 3. 2 Especificaciones técnicas del DHT11	39
Tabla 3. 3 Características eléctricas.....	41
Tabla 3. 4 Descripción de los pines del LCD	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Modos de condensación (a) Película de agua (b) Gotas.....	5
Figura 2.2 Condensación en una superficie vertical. (a) Gotas. (b) Película de agua.	5
Figura 2.3 Moléculas de vapor de agua	6
Figura 2.4 Núcleo de condensación.....	7
Figura 2.5 Vapor de agua contenido en una parcela de aire	8
Figura 2.6 Explicación de la humedad absoluta	8
Figura 2.7 Explicación de la humedad específica.....	9
Figura 2.8 Variación de la humedad relativa	11
Figura 2.9 Variación de la húmeda relativa en función de la temperatura de un día.....	12
Figura 2.10 Ejemplo del rocío en una hoja	13
Figura 2.11 Retención de agua de una mezcla de biodiesel	14
Figura 2.12 Condensación de vapor de agua en un tanque de almacenamiento externo.....	15
Figura 2.13 Tanque subterráneo (Potenciales entradas de agua en rojo).....	16
Figura 2.14 Filtro con obstrucción microbiana junto a un filtro sin obstrucción	17
Figura 2.15 Muestra de biopelícula en el fondo de un tanque de almacenamiento	17
Figura 2.16 Inyector con corrosión.....	18
Figura 2.17 Corrosión en componentes de un sistema Common Rail.....	19
Figura 2.18 Eje de suministro de la bomba de un tanque subterráneo	19
Figura 2.19 Sistema de un tanque de almacenamiento con corrosión severa.....	20
Figura 2.20 Contaminación microbiana y partes del sistema de combustible corroída.....	21
Figura 3.1 Arduino Uno.....	27
Figura 3.2 Pines de alimentación.....	29
Figura 3.3 Pines de entrada y salida de señales digitales y PWM	30
Figura 3.4 Pines de entrada analógica	30
Figura 3.5 Botón de reset.....	31
Figura 3.6 Puerto Jack de alimentación	31
Figura 3.7 Inicio de la aplicación Arduino	32
Figura 3.8 Editor de texto	33
Figura 3.9 Área de mensajes.....	33

Figura 3.10 Barra de herramientas.....	34
Figura 3.11 Construcción del Peltier	34
Figura 3.12 Efecto Seebeck y Efecto Peltier	35
Figura 3.13 Pellets tipo P y N	35
Figura 3.14 Construcción de la celda termoeléctrica.....	36
Figura 3.15 Modos de refrigeración y calefacción	36
Figura 3.16 Identificación del elemento Peltier.....	37
Figura 3.17 Disipador de calor	38
Figura 3.18 Transferencia de calor en un disipador.....	38
Figura 3.19 Sensor DHT11	39
Figura 3.20 Conexión típica del sensor	40
Figura 3.21 LCD	41
Figura 3.23 Disposición de los pines	42
Figura 4.1 Complemento de librerías	44
Figura 4.2 Esquema de conexión del DHT11 a la tarjeta Arduino.....	50
Figura 4.3 Diagrama de conexión del DHT11 a la tarjeta Arduino.....	51
Figura 4.4 Esquema de conexión del LCD	52
Figura 4.5 Diagrama de conexión del LCD.....	52
Figura 4.6 Esquema de conexión y control de la celda Peltier	55
Figura 4.7 Diagrama de conexión y control de la celda Peltier.....	56
Figura 4.8 Esquema de conexión y control de un blower.....	57
Figura 4.9 Diagrama de conexión y control de un blower.....	58
Figura 4.10 Tanque de almacenamiento al granel (Solidworks)	60
Figura 4.11 Tuberías, ventilación y filtro, entrada, ventilación de emergencia del tanque ..	62
Figura 4.12 Tubería de llenado y suministro	62
Figura 4.13 Circuito de deshumidificación.....	63
Figura 4.14 Tuberías del circuito.....	63
Figura 4.15 Cabina de control.....	63
Figura 4.16 Construcción del elemento deshumidificador	64

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. [2. 1]Humedad absoluta.....	8
Ec. [2. 2]Humedad específica	9
Ec. [2. 3]Relación de mezcla	9
Ec. [2. 4]Humedad relativa	10
Ec. [2. 5]Cálculo del punto de rocío	13

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema automatizado que permita eliminar la humedad que exista en el interior de un tanque de almacenamiento de combustible diésel. En la región litoral y amazónica del Ecuador la humedad es elevada, y es causante de algunos inconvenientes presentes en los tanques de almacenamiento. La necesidad de conservar un combustible limpio no solo trae una reducción de daños o inconvenientes en los sistemas de inyección de los equipos o máquinas, sino que también trae consigo un ahorro económico. Este proyecto realiza una compilación de los daños que produce la presencia del aire húmedo en el interior de un tanque de combustible y como ello puede representar una amenaza para la calidad del combustible y distintos equipos que funcionan con tal combustible. En fin, este trabajo busca crear una solución para el problema ya mencionado, para ello busca diseñar un sistema capaz de recircular el aire presente en el tanque, y deshumidificarlo, con la ayuda de una tarjeta Arduino se es posible registrar la humedad presente en el tanque y actuar en función a ello.

Palabras claves: Tanque de almacenamiento, diésel, humedad, condensación, contaminación, deshumidificación.

ABSTRACT

This work aims to design an automated system that allows to take humidity out that exists inside of a diesel fuel storage tank. In littoral and Amazon region of Ecuador, humidity is high, and it is causing of some problems in storage tanks. The need to conserve a clean fuel not only brings a reduction of damages in the fuel system of equipment and machines but also brings with it an economic saving. This project carries out a compilation of damages produced by presence of humid air inside a fuel tank and how it can represent a problem in the quality of diesel and some machineries that work with such fuel. Finally, this work seeks to create a solution to the mentioned problem, for it seeks to design a system able of recirculating present air inside of tank and dehumidify it, by using an Arduino board it is possible to read out the relative humidity present inside of tank and act accordingly.

Keywords: Bulk storage tank, Diesel fuel, Moisture, Condensation, Contamination, Dehumidification.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Definición del problema

La propuesta de este proyecto, viene de la necesidad de aprovechar los recursos no renovables, entre ellos el diésel, una de las causas que afectan la calidad del diésel es la presencia de agua, así mismo la presencia de agua en los sistemas de inyección de las máquinas o equipos, que funcionan con tal combustible, representa averías o daños en los sistemas, y es que a medida que los sistemas de inyección mejoran, la presencia de agua cada vez es más inadmisible, en aquellos sistemas.

El agua puede estar presente en el combustible durante su manejo o traslado, sin embargo, una de las causas principales y muchas veces desconocida es la condensación que ocurre dentro del tanque de almacenamiento.

En los tanques de almacenamiento, aquellos que sirven como despensas de combustibles, en campamentos o zonas rurales, el problema es mayor, es decir, no siempre se encuentran totalmente llenos y el propietario está presto a dejarlo en tal condición, ya que el factor económico influye en ello, ahora bien, cuando el volumen de aire que se encuentra dentro del tanque, el mismo que pudo haber ingresado durante el llenado o por el respiradero del tanque, es relativamente grande, existe la posibilidad de que contenga una gran presencia de humedad, al existir una diferencia de temperatura entre el aire y la superficie del tanque, el vapor de agua contenido en el aire se condensa en la superficie interna del tanque.

1.2. Formulación del problema

¿Es necesario diseñar un sistema que elimine la humedad relativa presente en el aire?

La presencia de agua en el combustible no solo crea corrosión en las paredes del tanque, sino que también da lugar a la formación al hábitat de bacterias que ingresan durante el llenado u otra manera, las mismas que viven en la interfaz agua-diésel, estas crean un ácido que degrada la calidad del combustible como producto de su metabolismo y forman una capa en el fondo del tanque, y a menudo está obstruye el filtro.

1.2.1. Sistematización del problema

- ¿Existe otro método del eliminar el agua presente en el aire y así evitar los problemas ya mencionados?

Existe la posibilidad de instalar filtros desecantes, en los puntos de ventilación del tanque, en zonas húmedas, pero los mismos no garantizan la reducción de la humedad al 100%.

- ¿En qué consistiría el proceso de deshumidificación del sistema que se desea desarrollar?

Consistiría en la recirculación del flujo de aire presente en el tanque, hasta conseguir que el mismo se deshumidifique.

- ¿Cuáles son los elementos o dispositivos necesarios para poder deshumidificar el aire?

La idea del sistema consiste en recircular el aire usando un extractor o blower lineal, los mismos que no deben tener grandes requerimientos, ya que solo se desea extraer el aire, más bien no, someterlo a presión, a medida que el aire circula, estará en contacto con unas aletas metálicas, estas se encontrarán a una temperatura inferior o igual al punto de rocío del aire, de manera que el vapor presente en el aire se condense en las superficie de esas aletas metálicas, por lo tanto, se tratará de eliminar la humedad presente, las aletas metálicas están sujetas a unas placas Peltier, las cuales están comandadas por un módulo Arduino, una vez deshumidificado el aire, éste vuelve a ingresar al tanque.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de deshumidificación, para tanques de almacenamiento de combustible diésel.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Diseñar un módulo de control, mediante una placa Arduino, la cual recibirá señales de temperatura y humedad del aire que están presentes en el interior del tanque.
- ✓ Controlar la temperatura de las celdas Peltier, en función de la humedad y temperatura del aire, presente en el interior del tanque, para conseguir la condensación del vapor de agua.
- ✓ Diseñar el sistema de deshumidificación en un programa CAD 3D y simular el funcionamiento de dicho sistema en un prototipo pequeño.

1.4. Justificación y delimitación de la investigación

1.4.1. Justificación teórica

La justificación teórica de este trabajo, está basada en conceptos físicos y en la recopilación de los daños comunes que ocasiona la presencia de agua en el combustible y posteriormente en los sistemas de inyección de los motores diésel.

Un ejemplo del concepto teórico, que se tratará en este proyecto, es el punto de rocío, el cual es el punto donde el vapor de agua contenido en el aire se satura, mediante fórmulas físicas, es posible determinar cuál es ese punto, de manera que se trata de buscar el punto donde se condense la humedad presente.

1.4.2. Justificación metodológica

El método de elaboración del módulo en este trabajo, se basa en la programación de una tarjeta Arduino, este recibe la señal de un sensor que capta la temperatura y la humedad presente en el aire que se encuentra en el interior del tanque, mediante el código de programación, se procesan tales datos, y se busca como respuesta el funcionamiento de las celdas Peltier, llevándolas a la temperatura de rocío deseada, estas al estar en contacto con el aire, condensan el vapor de agua.

1.4.3. Justificación práctica

La justificación práctica se verá reflejada en la elaboración del módulo control, es decir el ensamble de la placa Arduino con sus componentes, así como su programación, en cuanto al diseño del sistema, se lo elaborará un programa de CAD 3D, Solidworks, de manera que se construyen virtualmente los componentes del sistema a diseñar y se realiza una simulación del funcionamiento de dicho sistema en un prototipo pequeño.

1.4.4. Delimitación geográfica

El proyecto está diseñado para ofrecer una solución a los problemas que trae la humedad en los tanques de almacenamiento de combustible, siendo aplicable para las regiones con mayor humedad, la región litoral y amazónica del Ecuador.

1.5. Delimitación del contenido

Este trabajo, consta de un contenido teórico, que incluye algunos conceptos físicos y sus ecuaciones, así mismo incluye la introducción a la programación de una tarjeta Arduino, también el diseño de un circuito deshumidificador en un programa CAD 3D y su simulación.

1.6. Hipótesis

Diseñar un sistema capaz de eliminar la humedad relativa presente en el tanque de combustible, de manera que se eviten los problemas o daños producidos por la condensación en el combustible.

1.6.1. Variables de hipótesis

Variable independiente: Construcción y programación de un módulo, usando una tarjeta Arduino.

Variable dependiente: Variación de temperatura de la celda Peltier y obtener la temperatura del punto de rocío, de manera que se obtenga la condensación del vapor de agua en el aire, que esté en contacto con la superficie.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Condensación

La condensación ocurre cuando la temperatura de un vapor es reducida por debajo o a su temperatura de saturación. El proceso comúnmente resulta entre el contacto del vapor y una superficie fría.

Como indica la figura 2.1, la condensación podría ocurrir en cualquiera de las dos formas, dependiendo de la condición de la superficie.

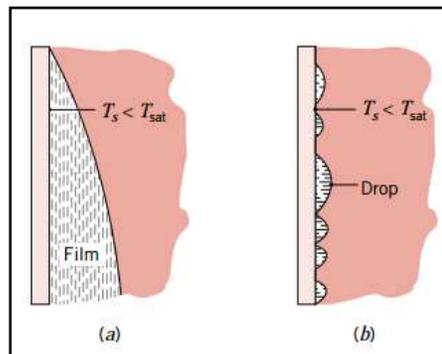


Figura 2.1. Modos de condensación (a) Película de agua (b) Gotas

(Frank P. Incropera, 2006)

La formación de una película de agua ocurre en una superficie limpia o sin contaminación. Sin embargo, si la superficie está cubierta de una sustancia que impide mojarse, la condensación tiene lugar como pequeñas gotas de agua, figura 2.2.

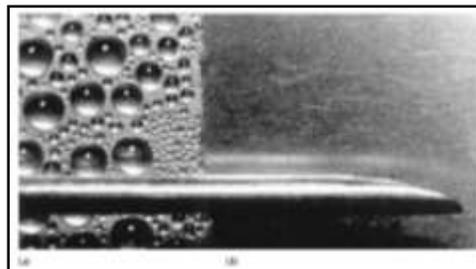


Figura 2.2 Condensación en una superficie vertical. (a) Gotas. (b) Película de agua.

(Frank P. Incropera, 2006)

Para entender mejor los conceptos de evaporación, condensación y saturación, la siguiente imagen sirve de ejemplo (figura 2.3).

Se observa moléculas de agua individuales en una jarra, las moléculas se están balanceando, sin embargo no todas las moléculas se mueven a la misma velocidad, unas se mueven más rápido que otras.

En la superficie, las moléculas con suficiente velocidad y en la dirección correcta, son capaces de alejarse de la superficie líquida y entrar arriba en el aire. Las moléculas que cambian del estado líquido al vapor, están evaporando, mientras algunas moléculas están dejando el líquido otras están retornando, aquellas que retornan están condensando, por lo tanto, cambian del estado de vapor o gaseoso al líquido.

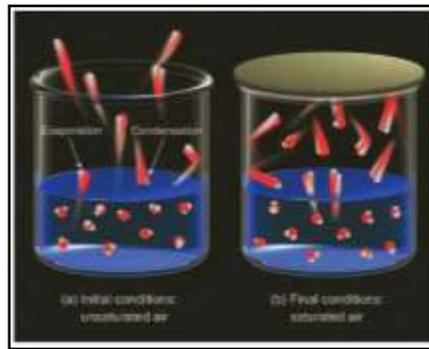


Figura 2.3 Moléculas de vapor de agua

(C. Donald Ahrens, 2015)

Si existiera una cubierta en la jarra, como se ilustra en la figura 2.3, después de un tiempo, el número total de moléculas que escapan del líquido (evaporación) es balanceado por el número de moléculas retornando (condensación). Cuando está condición existe, se dice que el aire está saturado con vapor de agua.

El vapor de agua presente en el aire, se mezcla con pequeñas moléculas que están en el aire tales como polvo, humo, sal u otra partícula la cuál es llamada núcleo de condensación, debido a que el vapor de agua se condensa en ellos.

En un aire caliente sobre el agua, las moléculas de vapor de agua se mueven más rápido que golpean el núcleo con tal impacto que ellos simplemente rebotan, ver figura 2.4, sin embargo,

cuando el aire es enfriado, las moléculas se mueven más despacio y son más aptas a adherirse y condensarse al núcleo.

Cuando billones de estas moléculas de vapor de agua se condensan sobre un núcleo, se forman pequeñas gotas de agua.

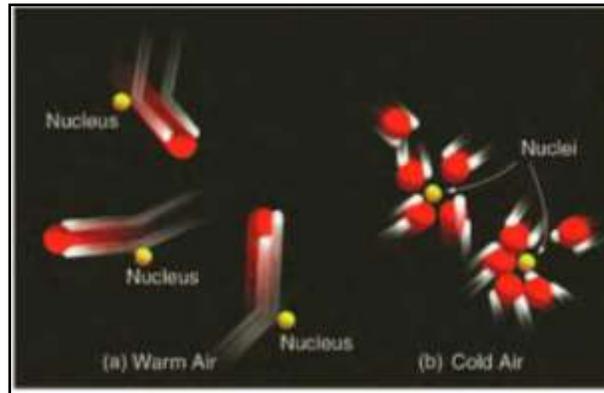


Figura 2.4 Núcleo de condensación

(C. Donald Ahrens, 2015)

Por lo tanto, se entiende que la condensación es más probable a suceder cuando el aire se enfría y la velocidad del vapor de agua decrece. Cuando la temperatura del aire aumenta, la condensación es menos probable, porque la mayoría de las moléculas de vapor de agua tienen suficiente velocidad (energía) para mantenerse como vapor.

2.2 Humedad

El concepto de humedad puede referirse a cualquier número de maneras de especificar la cantidad de vapor de agua en el aire, la mayoría de las personas han escuchado el término humedad relativa, sin embargo, hay muchas otras maneras de expresar el vapor contenido de agua en la atmósfera.

2.3 Humedad absoluta

Si se encierra un volumen de aire en un contenedor imaginario, elástico muy delgado, del tamaño de una esfera, cómo se ilustra en la figura 2.5. Con un agente desecante, es posible extraer el vapor de agua del aire, pesarlo y así obtener su masa.

Si se compara la masa del vapor con el volumen de aire en la esfera, se determina la humedad absoluta del aire, que es, la masa del vapor de agua en un volumen de aire, el cual puede ser expresado como:

$$\text{Humedad absoluta} = \frac{\text{masa de vapor de agua}}{\text{volumen de aire}}$$

Ec. [2. 1]

La humedad absoluta representa la densidad del vapor de agua (masa/volumen), normalmente expresado en gramos de vapor de agua por metro cubico de aire. Por ejemplo, si el vapor de agua en 1 metro cubico de aire pesa 25 gramos, la humedad absoluta del aire es 25g/m³.

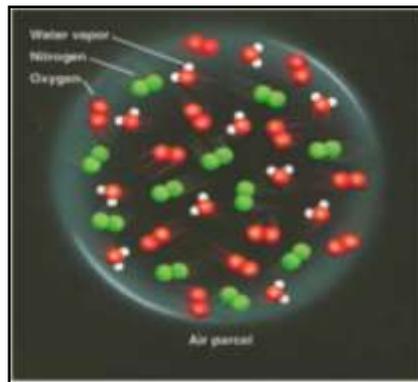


Figura 2.5 Vapor de agua contenido en una parcela de aire

(C. Donald Ahrens, 2015)

Consecuentemente, cuando un volumen de aire fluctúa, la humedad absoluta cambia, aun cuando el contenido de vapor de agua ha permanecido constante figura 2.6. Por esta razón, la humedad absoluta no es comúnmente usada en estudios atmosféricos.

	Parcel Size	Mass of Parcel	Mass of H ₂ O Vapor	Absolute Humidity
	2 m ³	2 kg	10 g	5 g/m ³
	1 m ³	1 kg	10 g	10 g/m ³

Figura 2.6 Explicación de la humedad absoluta

(C. Donald Ahrens, 2015)

2.4 Humedad específica y relación de mezcla

La humedad puede ser expresada de maneras en la que no es influenciada por el cambio del volumen de aire.

Cuando la masa de vapor de agua en una parcela de aire figura 2.7, es comparada con toda la masa del aire en la parcela (incluso el vapor), el resultado es llamado humedad específica, así:

$$\text{Humedad específica} = \frac{\text{Masa de vapor de agua}}{\text{Masa total del aire}}$$

Ec. [2. 2]

Otra forma conveniente para expresar la humedad es comparar la masa del vapor de agua en una parcela para la masa restante de aire seco. La humedad expresada en esta manera es llamada relación de mezcla; así:

$$\text{Relación de mezcla} = \frac{\text{Masa de vapor de agua}}{\text{Masa de aire seco}}$$

Ec. [2. 3]

Tanto la humedad específica y la relación de mezcla son expresadas en gramos de vapor de agua por kilogramo de aire (g/kg).

La humedad específica y la relación de mezcla en una parcela de aire permanecen constante siempre y cuando el vapor de agua no sea agregado o removido de la parcela.

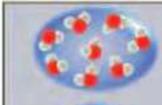
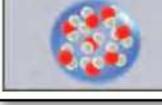
	Parcel Size	Mass of Parcel	Mass of H ₂ O Vapor	Specific Humidity
	2 m ³	1 kg	1 g	1 g/kg
	1 m ³	1 kg	1 g	1 g/kg

Figura 2.7 Explicación de la humedad específica

(C. Donald Ahrens, 2015)

Esto se debe a que el número total de moléculas (y, por lo tanto, la masa de la parcela) permanece constante, aun cuando se expande o contrae) figura 2.7.

Ya que el cambio de un tamaño de parcela no afecta a la humedad específico a la relación de mezcla, estos dos conceptos son usados extensivamente en los estudios de la atmosfera.

2.5 Humedad relativa

La humedad relativa es la manera más común de describir la humedad atmosférica, también es, desafortunadamente la más incomprendida.

El concepto de la humedad relativa puede ser confuso debido a que no indica la cantidad real de vapor de agua en el aire. En vez de eso, dice cuan cerca está el aire a ser saturado.

La humedad relativa (RH) es la relación de la cantidad de vapor de agua real en el aire para la cantidad máxima de vapor de agua requerido para la saturación a una particular temperatura y presión; así:

$$RH = \frac{\text{Contenido de vapor de agua}}{\text{Capacidad de vapor de agua}}$$

También se puede expresar de la presión real del vapor como medida del contenido de vapor de agua real, y la presión del vapor de saturación como medida de la capacidad total del aire. Por lo tanto, la humedad relativa también puede ser expresado como:

$$RH = \frac{\text{Presión real del vapor}}{\text{Presión de saturación del vapor}} \cdot 100\%$$

Ec. [2. 4]

La presión real del vapor: expresa la cantidad de vapor de agua en términos de la cantidad de presión que la molécula de agua ejerce.

Presión de saturación del vapor: es la presión que la molécula del vapor de agua podría ejercer si el aire estuviera saturado con vapor a una determinada temperatura.

La humedad relativa está dada como un porcentaje. Un aire en un porcentaje de humedad relativa del 50% realmente contiene la mitad de la cantidad necesaria requerida para la saturación, y un are con una humedad del 100% está saturado porque está completamente lleno en cuanto a su capacidad de retener vapor de agua.

Se puede producir un cambio en la humedad relativa de dos diferentes maneras:

1. Cargando el contenido de vapor de agua en el aire.
2. Cambiando la temperatura del aire.

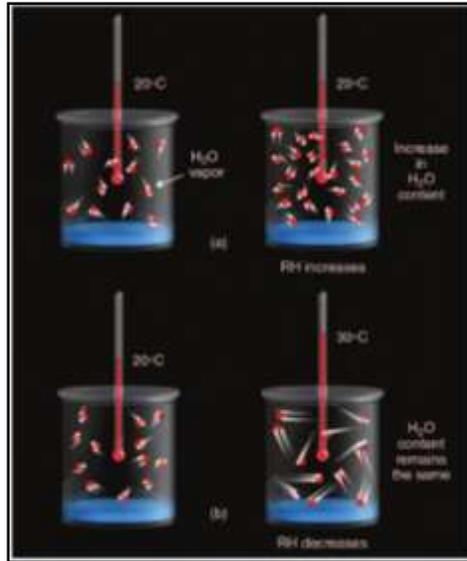


Figura 2.8 Variación de la humedad relativa

(C. Donald Ahrens, 2015)

En la figura 2.8 (a) se puede ver que un incremento en el contenido de vapor de agua en el aire (sin cambio de temperatura), incrementa la humedad relativa del aire. La razón por la que este incremento sucede reside en el hecho que, cuantas más moléculas de vapor de agua son agregadas al aire, hay una gran probabilidad que algunas moléculas se peguen y condensen. Por lo tanto, cuanto más vapor de agua sea agregado al aire, el aire gradualmente se acerca a la saturación, y la humedad relativa del aire incrementa.

En la figura 2.8 (b) ilustra que, cuando la temperatura del aire incrementa (sin cambio en el contenido de vapor de agua), la humedad relativa disminuye.

Este descenso en la humedad relativa ocurre porque en un aire caliente las moléculas de vapor de agua están balanceándose aceleradamente a tal velocidad que es improbable que se unan y condensen. Las temperaturas altas del aire, y la velocidad elevada de las, moléculas, hacen que sea menos probable la saturación, y ocasiona la disminución de la humedad relativa.

En muchos lugares, la cantidad total de vapor del aire varía ligeramente durante un día entero, y así está cambiando la temperatura del aire que ante todo regula diariamente en la variación de la humedad relativa figura 2.9.

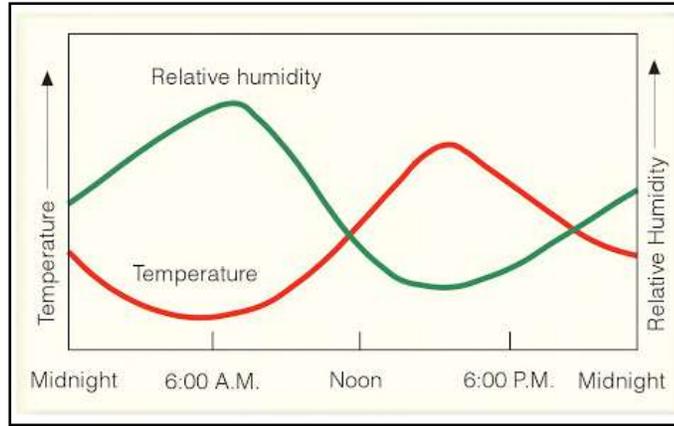


Figura 2.9 Variación de la húmeda relativa en función de la temperatura de un día

(C. Donald Ahrens, 2015)

Cuando el aire enfría durante la noche, la humedad relativa incrementa. Normalmente, la humedad relativa más alta ocurre en el amanecer, durante la parte más fría del día. Cuando el aire se calienta durante el día, la humedad relativa decrece, con los valores más bajos usualmente durante la parte más caliente de la tarde.

2.6 Punto de rocío

El punto de rocío es la temperatura a la cual el aire está lleno de humedad y no puede haber más partículas de agua en él, de manera que un descenso de temperatura produciría la condensación. Cuando la humedad relativa está al cien por ciento, el punto de rocío es la misma temperatura del aire o menor a esta.

Si un volumen de aire está en contacto con una superficie que se encuentra a la misma temperatura o por debajo del punto de rocío, entonces el rocío ocurre.

Es por esto, que generalmente ocurre al anochecer o al amanecer, donde la temperatura del aire desciende y la cantidad de vapor de agua que puede contener el aire se reduce. El vapor presente en el aire se condensa en gotas muy pequeñas sobre cualquier superficie que toquen.

La siguiente imagen, representa el ejemplo más común del punto de rocío.

En las áreas verdes o invernaderos el vapor de agua se condensa en las superficies de las hojas.

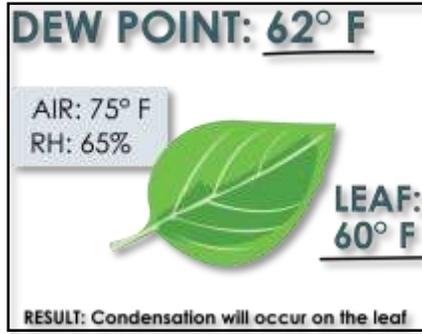


Figura 2.10 Ejemplo del rocío en una hoja

(Storey, 2016)

2.7 Cálculo del punto de rocío

Para el cálculo del punto de rocío se emplea la siguiente ecuación:

$$Td = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}$$

Donde:

$$\alpha(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln(RH)$$

$$a = 17.27$$

$$b = 237.7^{\circ}C$$

Ec. [2. 5]

2.8 Tipos de contaminantes en los tanques de almacenamiento

El combustible puede contaminarse en numerosas formas, incluyen agua, suciedad, crecimiento microbiano, sólidos compuestos de sales orgánicas, jabones, productos de degradación del combustible, polímeros, óxidos, entre otros.

Independientemente de su origen químico, los contaminantes pueden originar a la formación de depósitos en el motor, erosión y desgaste, así como obstrucción de los filtros. (Coordinating Research Council, 2014).

2.8.1. Contaminación por agua

La contaminación por agua es la más común en los sistemas de inyección y pueden conducir a muchos problemas si no se controla.

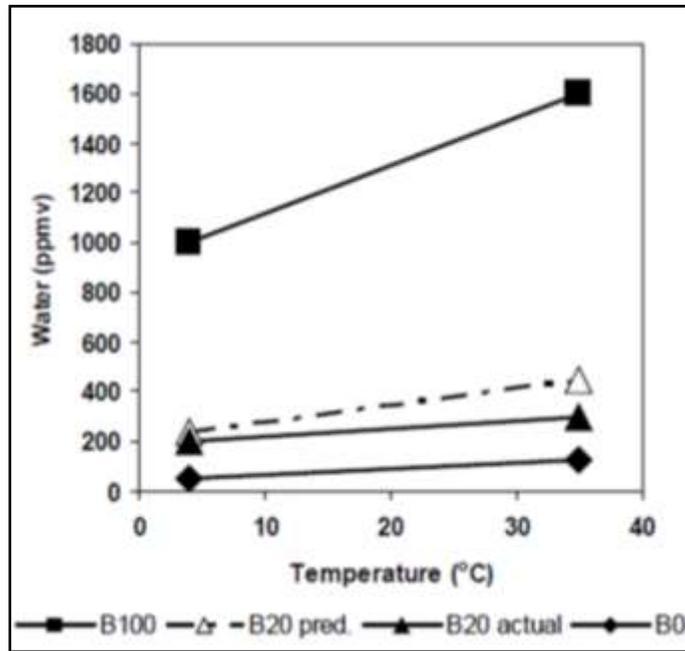


Figura 2.11 Retención de agua de una mezcla de biodiesel

(Coordinating Research Council, 2014)

El agua podría entrar al combustible o sistema de inyección de múltiples formas, tales como el proceso de refinación, lluvia o condensación en tanques de almacenamiento. El agua se puede disolver en el combustible o suspender en pequeñas gotas.

La cantidad de agua que puede disolverse en un determinado combustible depende de la composición y temperatura del combustible. En algunos sistemas, la eliminación de agua podría ser poco frecuente. Una acumulación de agua en un tanque puede llegar a la corrosión y posteriormente la formación de actividad microbiana.

Si el biodiesel está presente en el combustible, el agua puede tener un efecto más pronunciado sobre el diésel. El agua es más soluble en una mezcla de biodiesel en comparación a un combustible sin biodiesel.

El agua disuelta en el biodiesel puede hidratar (agregar moléculas) a las moléculas de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME), el agua disuelta en el biodiesel también puede conducir a la hidrólisis del biodiesel, donde la molécula degradada o rota, permite una reacción posterior con otros componentes, formando sales jabones o peróxidos.

La siguiente imagen da a conocer la retención de agua de B0 (Combustible diésel que no contiene biodiesel), mezclas B20 (una mezcla de 20% de biodiesel en combustible diésel) y B100 (100% biodiesel). (Coordinating Research Council, 2014).

2.8.2. Condensación en los tanques de almacenamiento

La condensación está presente en el tanque de almacenamiento diésel constantemente, debido a que el aire húmedo ingresa por los respiraderos o conductos de ventilación y aunque se empleen filtros desecantes, estos no eliminan al cien por ciento la humedad, una vez dentro el aire húmedo, se condensa si este llega a estar en contacto con una superficie que esté fría o igual a su punto de rocío, según la temperatura y humedad puede ocurrir o no la condensación.

La contaminación del combustible por el agua, no siempre se da por el fenómeno de la condensación, también el agua, está presente en el manejo, transporte y entrega, fugas que existen en los tanques de almacenamiento, entre otros factores.

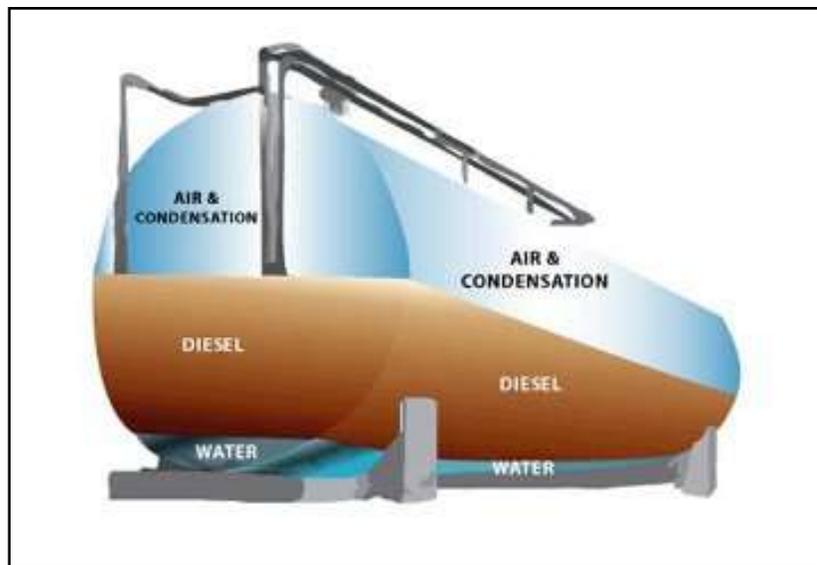


Figura 2.12 Condensación de vapor de agua en un tanque de almacenamiento externo

(FA-ST Filtration Analysis Services Technology Ltd, 2017)

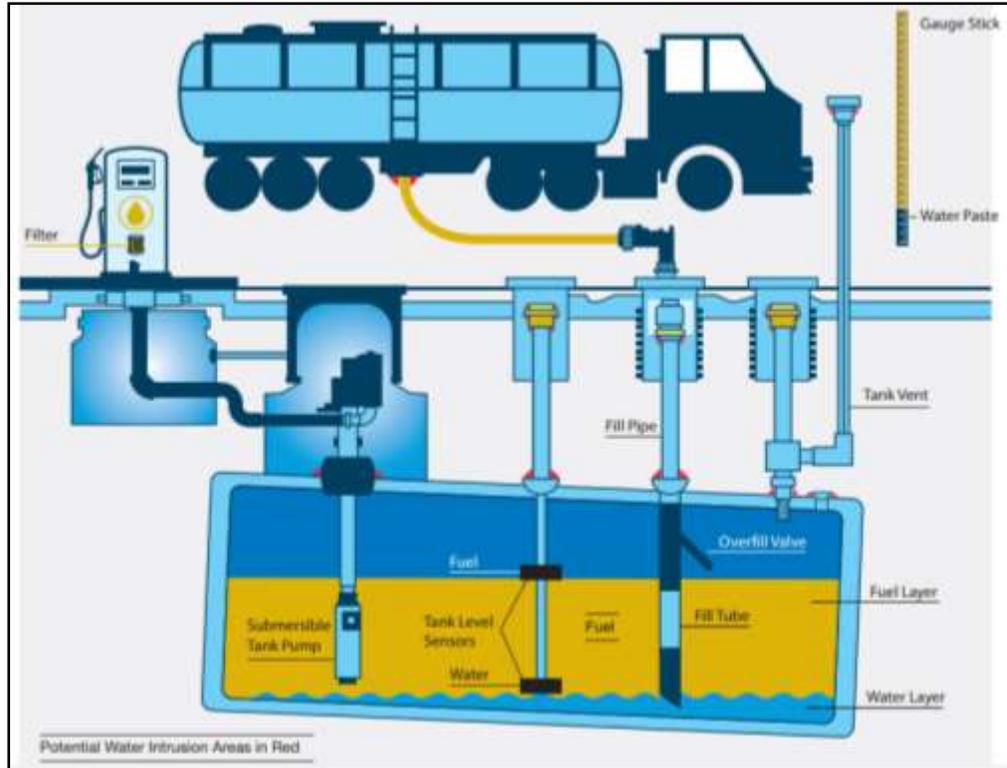


Figura 2.13 Tanque subterráneo (Potenciales entradas de agua en rojo)

(Council, 2016)

2.8.3 Crecimiento microbiano

Muchos tipos de microbios son capaces de usar el combustible diésel como fuente de alimento. Estos incluyen varias especies de bacterias y hongos (entre ellos levaduras y mohos). Los microbios aerobios requieren una gran fuente de oxígeno para crecer. En contraste, los microbios anaerobios crecen en completa ausencia del oxígeno. También existe otra forma de bacterias que puede vivir tanto como en presencia como en ausencia de oxígeno.

La gran mayoría de contaminación microbiana en los sistemas de combustibles se encuentra en las biopelículas. Las biopelículas son complejas estructuras de sustancias de polímeros pegajosos y viscosos que proporcionan un hábitat protector para los microbios que crecen en ellas. Además, las biopelículas están típicamente en un estado de estabilidad dinámica en la que se encuentran masas de células desprendidas, formando grupo de biomasa a medida que se genera una nueva biopelícula.

El grado de obstrucción que ocasionan estos microbios en los filtros puede ser visto en la figura 2.14 y 2.15. Los hongos forman una capa resinosa a medida que su colonia va creciendo. (Coordinating Research Council, 2014).



Figura 2.14 Filtro con obstrucción microbiana junto a un filtro sin obstrucción

(Coordinating Research Council, 2014)



Figura 2.15 Muestra de biopelícula en el fondo de un tanque de almacenamiento al granel

(Coordinating Research Council, 2014)

2.9. Problemas con la presencia agua en motores de combustible diésel

El agua siempre ha sido causa de la oxidación y corrosión en los componentes del sistema de inyección e infraestructura. La mayoría de los sistemas de inyección son menos tolerantes al agua que los sistemas de baja presión, los fabricantes ahora especifican una tolerancia libre de agua en el sistema. (Donaldson, 2014).

2.9.1. Daños directos causados por el agua

El agua causa daño tanto al sistema de inyección, así como a partes del motor. La oxidación y corrosión en el tanque crea duras partículas que pasan a lo largo del combustible que causan desgaste en partes del motor. La vida de los componentes también es acortada por la erosión, cavitación y desprendimiento tales como:

- *Oxidación:* En contacto con el hierro y superficies de acero el agua produce oxidación. Las partículas de óxido consiguen entrar en el combustible, entre otras partículas que ocasionan desgaste prematuro en algunos componentes.
- *Corrosión:* La corrosión es uno de los problemas más comunes en el inyector. El agua se combina con ácidos presente en el combustible y corroe tanto los metales ferrosos como no ferrosos. La siguiente imagen representa a un inyector nuevo, pero ha fallado en tan solo 300 horas de trabajo debido a la corrosión.
- *Abrasión:* El agua tiene una viscosidad más baja que el diésel, por lo tanto, provoca menos lubricación entre las partes móviles. Esto conduce a un mayor desgaste. (Donaldson, 2014).



Figura 2.16 Inyector con corrosión

(Donaldson, 2014)



Figura 2.17 Corrosión en componentes de un sistema Common Rail

(Coordinating Research Council, 2014)

2.9.2. La corrosión más severa se observa en la parte más alta del tanque

Una observación importante por parte de EPA¹ en un estudio de la corrosión en los tanques, fue que el metal expuesto en la etapa de vapor, es decir, un volumen de aire presente en el tanque, fue generalmente más corroído que en un tanque completamente lleno de combustible.

En muchos tanques de almacenamiento subterráneo, se observa, que la corrosión es aparentemente mayor y más avanzada en una porción del eje de la bomba de suministro de combustible del tanque, la cual generalmente está en mayor contacto con el espacio de vapor. (EPA, 2016)

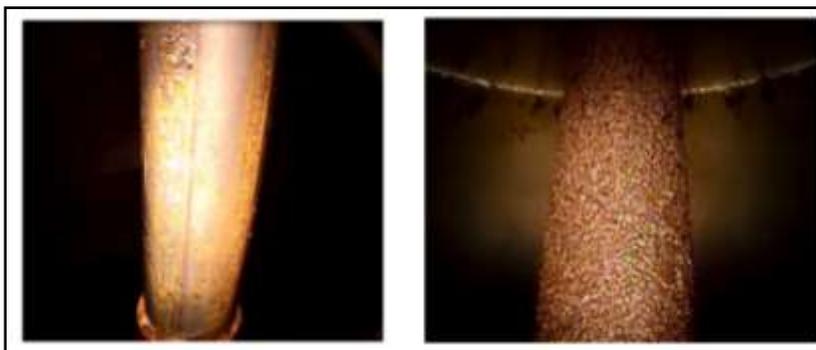


Figura 2.18 Eje de suministro de la bomba de un tanque subterráneo

(EPA, 2016)

¹ EPA: (Environmental Protection Agency)/Agencia de Protección Ambiental del gobierno federal de Estados Unidos.

El eje de la bomba sumergible que está situado verticalmente en el tanque se ve expuesto de forma variable al combustible y al volumen de aire, cuando se dispensa o reabastece, la línea del nivel de combustible sube y baja.

En algunos casos la corrosión observada, en el eje está más presente en el área de contacto con el aire, mientras que en el área mojada por el combustible no se vio afectado. La corrosión más alta está presente en los puntos más altos del tanque, la parte inferior de los huecos, como los tapones del tanque.



Figura 2.19 Sistema de un tanque metálico de almacenamiento subterráneo (UST) con corrosión severa. Arriba a la izquierda: Apertura del tubo de llenado; Arriba a la derecha: Eje de la bomba sumergible; Abajo a la izquierda: Superficie del tanque mostrando la entrada o acceso hacia el tanque; Abajo a la derecha: Sonda del medidor del tanque y eje de la bomba.

(EPA, 2016)

La figura 2.19 muestra una inspección en video, donde se observa la condición de del eje o tubo de la bomba, no está claro si las tuberías de acero negro fueron sin costura o soldadas; sin embargo; según el instituto de tanque de caeros, estos accesorios generalmente están hechos de acero soldado con costura. La tubería de acero negro tiene un revestimiento que se forma durante el proceso de forjado. El revestimiento negro es magnetita (Fe_3O_4) y provee alguna protección contra la corrosión atmosférica, pero puede formar un óxido rojo en presencia de agua.

El grado de corrosión depende de muchos factores, que incluyen entre otros, el PH de la fase acuosa, la disponibilidad de oxígeno, la duración de la exposición, temperatura, entre otros. (EPA, 2016)

La figura 2.20, que resume en imágenes la contaminación por corrosión y microbiana de algunos componentes.



Figura 2.20 Ejemplo de contaminación microbiana y partes del sistema de combustible corroída (Indicador de nivel del tanque corroído, ejemplo de presencia microbiana en el fondo del tanque y componentes de un filtro corroído, respectivamente)

(Council, 2016)

2.9.3. Pruebas analíticas de vapor por parte de EPA

Pruebas de análisis de vapor se tomaron por parte del EPA que previamente fueron investigadas por CDFA² y ORD³.

Lecturas con el higrómetro también fueron tomadas en esta prueba. La humedad relativa promedio dentro de un tanque subterráneo (USTs) fue de un 68% con una inclinación de un 15%, las lecturas están en un rango de 33% a 98%.

El muestreo tomó lugar en Enero y Febrero en diferentes climas donde el promedio anual de la humedad relativa varía desde el 52% al 79%. Se observó condensación producida por una elevada humedad a lo largo de la parte superior de muchos tanques. En general, la corrosión es más severa en ambientes húmedos que en ambientes secos. En algunos metales, la corrosión puede ser reducida cuando la humedad es reducida a un 50%.

² CDFA: Clean Diesel Fuel Alliance/Alianza del combustible diésel limpio.

³ ORD: Office of Research and Development/Oficina de investigación y desarrollo.

La alta humedad y subsecuentemente la condensación permite que los ácidos que se encuentran en el espacio de vapor permanezcan en contacto con el equipo como un electrolito agresivo y el líquido condensado. Esto facilita el desarrollo de la corrosión en los componentes metálicos. Adicionalmente, cuando el líquido se evapora, los ácidos podrían concentrarse en el metal, aunque la corrosión puede variar en los componentes metálicos.

Los tanques de almacenamiento USTs son ventilados a la atmósfera, permitiendo que el aire del ambiente continúe entrando al tanque.

Por lo tanto, no se espera que los tanques de almacenamiento de diésel estén libres de la influencia del clima, la humedad relativa interna en los tanques de almacenamiento puede ser especialmente influenciada en el desarrollo de la corrosión.

Aunque el efecto puede variar debido al clima, en algunas regiones de los Estados Unidos los tanques son susceptibles al aire que afecta las condiciones internas del tanque. En climas húmedos, se espera que el tanque tenga una humedad continua, lo cual promueve la condensación, posiblemente haciendo que el tanque sea más susceptible al desarrollo de la corrosión.

Donde la humedad del ambiente varíe debido a las estaciones, eventos climáticos o localizaciones geográficas, la humedad relativa en el tanque también variará, permitiendo que la condensación y los ciclos secos puedan afectar al desarrollo de la corrosión. Aun en áreas donde la humedad es baja, las oscilaciones de temperatura pueden producir períodos de alta humedad en el tanque cuando se mezcla aire más cálido y más frío. De nuevo, esto permite la condensación de líquidos en las superficies internas del tanque favoreciendo la corrosión en el tanque y sus equipamientos. (EPA, 2016)

Las siguientes tablas resumen los daños ocasionados por la presencia de agua en el tanque de almacenamiento.

Tabla 2.1 Formación de jabón en el diésel (Coordinating Research Council, 2014)

Contaminante	Formación de jabón de carboxilato
Síntomas	Alta restricción y obstrucción de filtros
Método de prueba de campo	Instalar un medidor de diferencia de presión o Delta P, en la cabeza del filtro, si es posible.
Método de prueba de laboratorio	Prueba de flujo frente a restricción, ASTM D7111 ⁴ o similar.
Fuente	<ul style="list-style-type: none"> a) Agua en el fondo del tanque. b) Aditivos ácidos como inhibidores de corrosión de las tuberías o mejoradores de lubricación, etc. c) Varios metales en el combustible de suministro entrante o introducido al motor pueden generar carboxilatos. d) La abertura de la ventilación del tanque está en una ubicación propicia para la contaminación.
Nivel de contaminación que podrían causar problemas	>200 ppm de agua en la etapa de filtro 1, el objetivo de la cantidad de metales es <0.1ppm de NA, K, Ca, Mg o Zn. Existen pruebas existentes con cantidades de 0.21, 0.19, 0.10, 0.09 respectivamente por ASTM D7111. Se anticipan que los métodos futuros serán capaces de 0.1 ppm o menos.
Contramedidas o acciones correctivas	<ul style="list-style-type: none"> a) Drene los fondos de agua e inspeccione periódicamente y realice mantenimiento al tanque y equipos de suministro. b) Trabaje con el proveedor de combustible para asegurar un inhibidor de corrosión compatible. c) Usar aditivos aprobados.

Tabla 2.2 Presencia de partículas suaves y duras en el diésel (Coordinating Research Council, 2014)

⁴ ASTM D7111: Análisis elemental para determinar los niveles de contaminación del diésel usando un proceso de espectrometría de emisión atómica de plasma.

Contaminante	Partículas suaves y duras.
Síntomas	Contaminantes endurecidos en los filtros, alta restricción.
Método de prueba de campo	Inspección visual (Si las partículas son visibles, la limpieza del combustible está por encima del nivel requerido), conteo de partículas de campo.
Método de prueba de laboratorio	Conteo de partículas por láser (ASTM D7619 ⁵)
Fuente	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contaminación por agua puede traer suciedad/oxidación. ➤ Suministro de combustible contaminados por polvo. ➤ Entorno de aplicación (El polvo ingerido a través de la ventilación del tanque del combustible). ➤ El cambio del tipo de combustible puede resultar en que los desechos del tanque se aflojen y vayan al filtro.
Nivel de contaminación que podría causar problemas	Niveles por encima a lo establecido por ISO 4406 ⁶ .
Contramedidas o acciones correctivas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Prefiltro (Filtración del tanque a granel). ➤ Rutina de inspección y limpieza del tanque. ➤ Filtración de la ventilación del tanque. ➤ Filtros de mayor capacidad.

⁵ ASTM D7619: Método de prueba estándar para dimensionar y contar partículas en combustibles destilados ligeros y medios por medio de un contador de partículas automático.

⁶ ISO 4406: Código de limpieza que mide e informa sobre los niveles de contaminación de partículas en fluidos.

	➤ Filtración de varias etapas.
--	--------------------------------

Tabla 2.3 Presencia de algas, bacterias y hongos en el diésel (Coordinating Research Council, 2014)

Contaminante	Algas, bacterias y hongos
Síntomas	Presencia de un lodo claro con tonalidades, verde, negra o marrón con olor nauseabundo, similar a un huevo podrido (Presencia de sulfuro de hidrogeno).
Método de prueba de campo	Análisis de laboratorio
Método de prueba de laboratorio	Prueba de ATP (ASTM D7463, D7687 ⁷), ASTM D6469 ⁸ , pruebas de cultivo estándar.
Fuente	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua en el fondo del tanque. ➤ Condiciones cálidas. ➤ Falta de mantenimiento del tanque. ➤ Almacenamiento del diésel durante largos períodos.
Nivel de contaminación que podría causar problemas	Presencia de agua no removida.
Contramedidas o acciones correctivas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Drene el agua con frecuencia ➤ Drenar tanques de almacenamiento con pendientes de desagüe. ➤ Uso de un filtro desecante en la ventilación. ➤ Inspección anual o mantenimiento de rutina del tanque.

⁷ASTM D7463 – ASTM D7687: Método de prueba estándar para el contenido de trifosfato de adenosina (ATP) de microorganismos en el combustible, mezcla de agua en el combustible.

⁸ D6469: Guía estándar para la contaminación microbiana en el combustible.

Tabla 2. 4 Partículas de metal corroído en el diésel (Coordinating Research Council, 2014)

Contaminante	Corrosión, producto de la presencia de agua. (El agua no obstruye el filtro, sino que contribuye ayudando a otros contaminantes en desarrollarse y concentrarse).
Síntomas	Corrosión, Señal de alerta por parte del sensor de agua en el combustible, Visor de agua del filtro separador lleno, Filtros obstruidos, líneas de combustible congeladas.
Método de prueba de campo	Prueba de idoneidad de combustible (Versión anterior ISO 4020 ⁹). Verificación visual de un combustible claro y brillante.
Método de prueba de laboratorio	Prueba de corrosión de acero (ASTM D665 ¹⁰ , D7548 ¹¹).
Fuente	Condiciones ambientales, incluida la condensación de vapor de agua en el interior del tanque, debido a los constantes cambios cíclicos de temperatura, ventilación inadecuada del combustible, falta de mantenimiento del tanque, suministro de combustible contaminado, y construcción deficiente del tanque.
Nivel de contaminación que podría causar problemas	>200 ppm para el filtro de combustible de la primera etapa.
Contramedidas o acciones correctivas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Drene el agua con frecuencia. ➤ Instale grifos de drenaje. ➤ Use filtros desecantes en la ventilación. ➤ Inspección anual mínima o según el plan de mantenimiento.

⁹ ISO 4020: Método de prueba para filtros de combustible en función de su aplicación.

¹⁰ ASTM D665: Método de prueba estándar para la prevención de óxido, característico del aceite mineral en presencia del agua.

¹¹ ASTM D7548: Método de prueba estándar para la determinación de la corrosión aceleradas del hierro por productos derivados del petróleo.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DEL ARDUINO Y CELDAS PELTIER

3.1. Arduino

Un Arduino es una pequeña placa de circuito, la cual contiene un controlador de 8 o 32 bits, adicionalmente de otros componentes. Los modelos recientes, tales como el Arduino Uno, también ofrecen un interfaz USB, y un número de entradas analógicas, así como entradas y salidas digitales.

Arduino es más que un hardware, el microcontrolador que posee necesita ser programado y este introduce un software en la forma de un entorno de desarrollo integrado (IDE). Con esto los usuarios pueden escribir programas (conocidos como sketches) usando el lenguaje de programación C o C++.

Un gran número de tarjetas Arduino están disponibles. Entre ellos están: Arduino Uno, Duemilanove, Diecimila y el Mega. Estos están diseñados para proyectos específicos y vienen con diferentes especificaciones. De todos ellos el Uno es el más popular y puede ser usado en un gran rango de proyectos.

3.1.1. Arduino Uno

De todas las tarjetas Arduino, el Uno, es el más popular. Este ofrece un rango de características que lo hacen excelente para todo uso.



Figura 3.1 Arduino Uno

(Yarnold, 2015)

Este incorpora el Atmega 328 chip como el controlador y puede ser alimentado directamente de una fuente USB, batería o un adaptador CA a CC. La tarjeta opera a un voltaje de 5 voltios. Arduino Uno, también ofrece 14 entradas y salidas, seis de las cuales pueden ser usadas como salida de modulación por ancho de pulsos (PWM).

Adicionalmente, tiene seis entradas análogas, además de entradas de comunicación serial RX/TX. La memoria flash es de 32KB, 2KB de memoria estática de acceso aleatorio (SRAM), y 1KB de memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente (EEPROM).

3.1.2. Ventajas del Arduino Uno

- Simplicidad
- Bajo costo
- Enchufe y use
- Gran cantidad de recursos disponibles; tutoriales, códigos simples, etc.
- Disponibilidad de librerías.

3.1.3. Desventajas del Arduino Uno

- Numero de pines de entrada y salida limitados
- La pequeña cantidad de la memoria puede ser restrictiva
- Microcontrolador de 8 bits.

Tabla 3. 1 Especificaciones técnicas de Arduino Uno (Yarnold, 2015)

Microcontrolador	ATMega 328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines de entrada y salida digital	14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente directa para pin de entrada o salida	40mA
Corriente directa para pin de 3.3 V	50mA
Memoria flash	32KB (ATMega 328)
SRAM	2KB (ATMega 328)
EEPROM	1KB (ATMega 328)

Velocidad de reloj	16 MHZ
--------------------	--------

3.1.4. Pines de alimentación

La tarjeta Arduino puede ser alimentada mediante una conexión USV o una fuente externa con un voltaje recomendado de 7 -12 V, la tarjeta posee regulador de tensión y condensadores de estabilización.

Los pines son:

- VIN: Se trata de la fuente de alimentación externa con la que se esté alimentando la tarjeta.
- 5V: Es una fuente regulada a determinado valor, puede venir desde el pin Vin, desde el puerto USB o de otra fuente regulada.
- 3.3V: Es una fuente con un valor mínimo a 5V generada por el regulador interno con un consumo máximo de 50mA.
- GND: Pines de tierra.

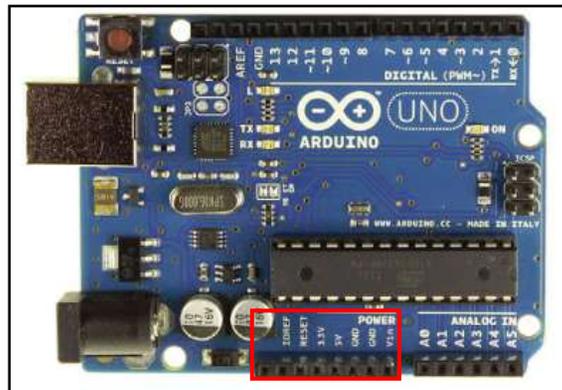


Figura 3.2 Pines de alimentación

(Yarnold, 2015)

3.1.5. Entradas y salidas digitales

Cada uno de los 14 pines puede ser utilizado como una entrada o salida, proporcionando un máximo de 40 mA. Se pueden tener dos estados que son LOW y HIGH que equivalen a 0V y 5V respectivamente.

Algunos de esos pines tienen funciones específicas como:

- Pin 0 (RX) y 1 (TX): Se utilizan para recibir (RX) y transmitir (TX) datos de serie TTL.
- Pin 3, 5, 6, 9, 10,11(PWM-): Constituyen 8 bits de salida PWM.

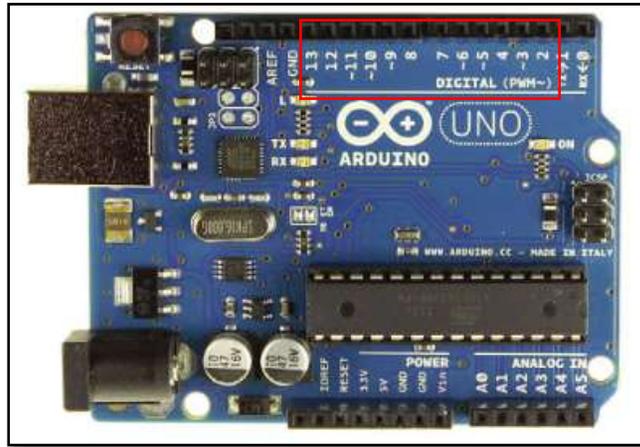


Figura 3.3 Pines de entrada y salida de señales digitales y PWM

(Yarnold, 2015)

3.1.6. Entradas analógicas

La tarjeta posee 6 entradas analógicas, etiquetadas desde A0 hasta A5, ofreciendo 10 bits de resolución o 1024 estados. Por defecto se tiene una tensión de 5V pero se puede cambiar este valor por medio del pin AREF, utilizando la función analogReference () donde se introduce una señal externa continua que la utiliza como referencia.

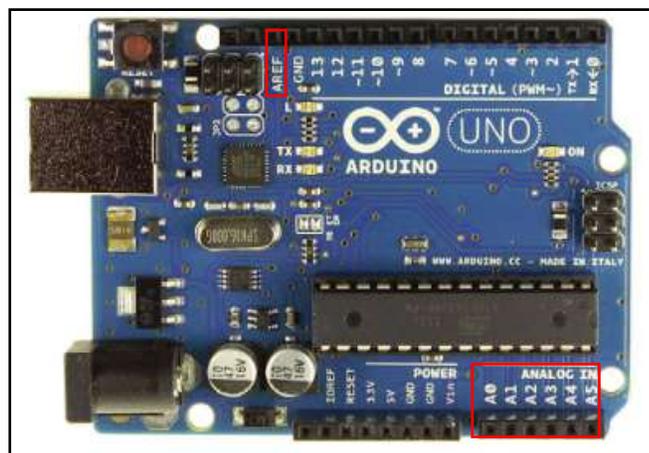


Figura 3.4 Pines de entrada analógica

(Yarnold, 2015)

3.1.7. Botón de reset

Este botón resetea la tarjeta y ejecuta el código desde el inicio.



Figura 3.5 Botón de reset

(Yarnold, 2015)

3.1.8. Puerto Jack

Es una entrada para la alimentación de la tarjeta, soportando un volate de 6Va 12V.



Figura 3.6 Puerto Jack de alimentación

(Yarnold, 2015)

3.2. Software Arduino

El entorno de desarrollado integrado (IDE) o software Arduino contiene un editor de texto para la escritura de los códigos de programación, un área de mensaje, una consola de texto, una barra de herramientas para el menú y las funciones comunes.

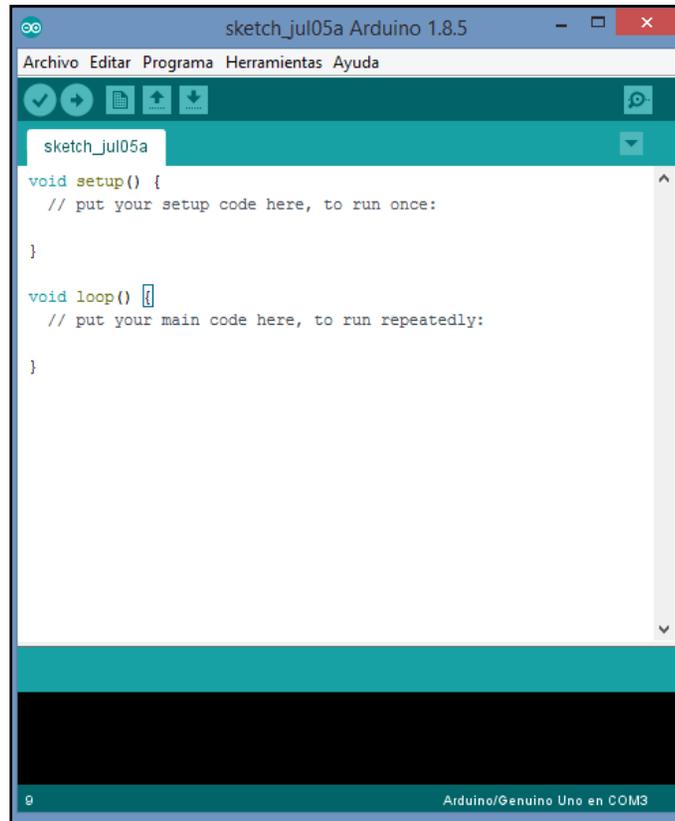


Figura 3.7 Inicio de la aplicación Arduino

IDE (Software Arduino)

➤ **Escritura de sketches o programas**

Los programas escritos usando el software Arduino son llamados sketches. Estos sketches son escritos en el editor de texto y son guardados con una extensión de archivo .ino. El editor tiene las funciones de cortar y pegar así, como buscar y reemplazar.

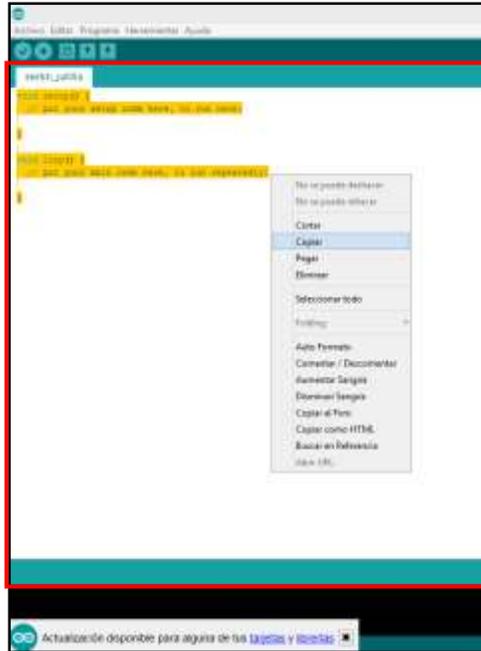


Figura 3.8 Editor de texto

IDE (Software Arduino)

El área de mensajes brinda comentarios al guardar y exportar un sketch a la tarjeta, así mismo muestra los errores del sketch en caso de que los haya, los mensajes muestran todos los errores completos.



Figura 3.9 Área de mensajes

IDE (Software Arduino)

La barra de herramientas incluye botones que permiten verificar, guardar, abrir y crear sketches, también incluye un botón para abrir el serial monitor.

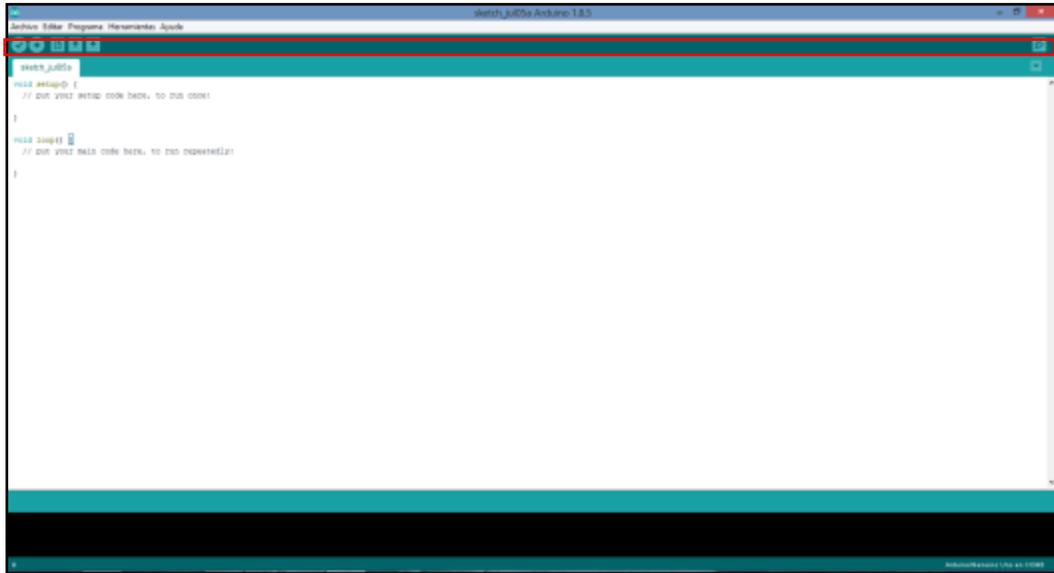


Figura 3.10 Barra de herramientas

IDE (Software Arduino)

3.3. Celda Peltier

El típico módulo termoelectrico consiste en una formación de semiconductores de bismuto telurio. Los semiconductores P/N están configurados en serie, pero térmicamente en paralelo. Las superficies cerámicas metalizadas proveen la plataforma para que los semiconductores y para que las pequeñas pestañas conductoras se conecten.

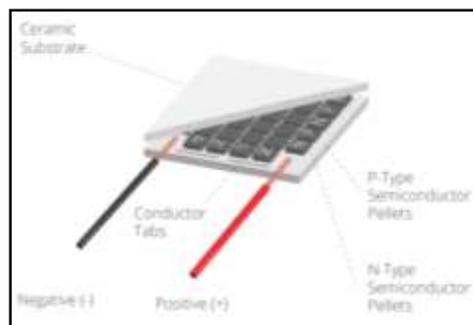


Figura 3.11 Construcción del Peltier

(Cui Inc, 2009)

La celda basa su funcionamiento en el efecto Peltier, existe otro efecto llamado Seebeck el cual tiene un principio inverso al Peltier.

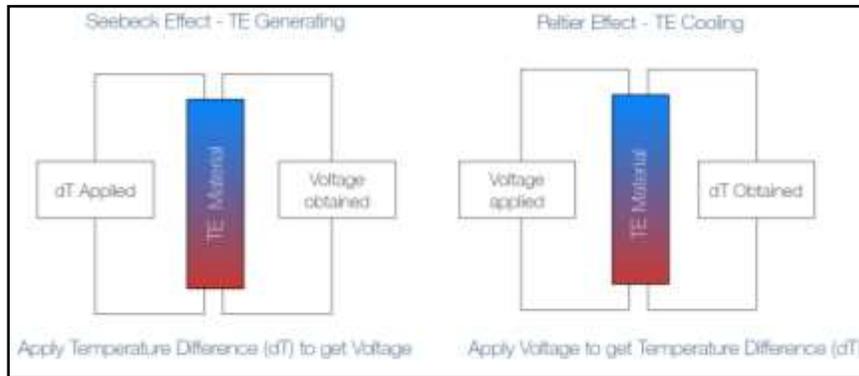


Figura 3.12 Efecto Seebeck y Efecto Peltier

(Tec-microsystem, 2018)

El efecto Seebeck es un generador termoeléctrico, si se aplica una diferencia de temperaturas se obtiene un voltaje, mientras que el efecto Peltier consiste en suministrar un voltaje y se obtiene una diferencia de temperatura.

Los pellets P y N forman un par termoeléctrico, ese es el núcleo de la construcción de un enfriador termoeléctrico.

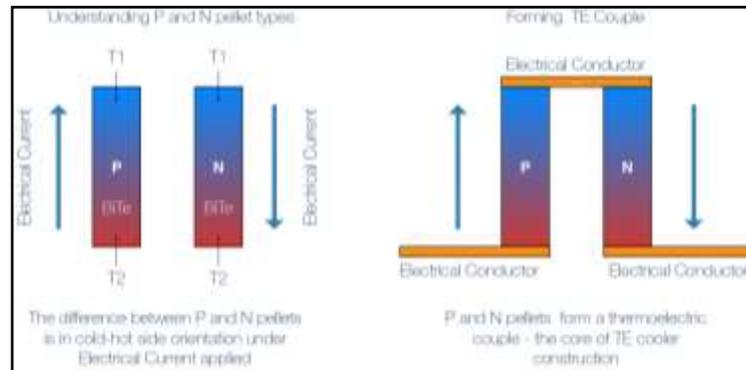


Figura 3.13 Pellets tipo P y N

(Tec-microsystem, 2018)

Las pastillas o pellets que componen la celda, están elaboradas de bismuto telurio, la diferencia entre un semiconductor tipo P y N está en la orientación frío-caliente bajo la corriente aplicada.

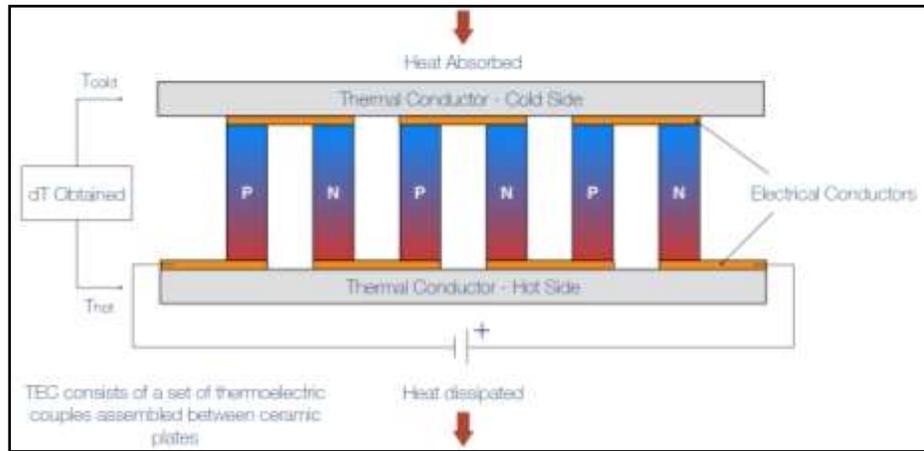


Figura 3.14 Construcción de la celda termoeléctrica

(Tec-microsystem, 2018)

Cuando se aplica un voltaje de corriente continua al módulo, los colectores de carga positiva y negativa absorben energía térmica de una superficie y la liberan en la otra.

La superficie donde la energía térmica es absorbida se enfría, mientras la superficie opuesta se calienta, es aquí donde la energía es liberada.

Invirtiendo la polaridad, los resultados en las superficies, también son inversos. Debido a las elevadas temperaturas alcanzadas en la superficie que se calienta, se emplean disipadores de calor.

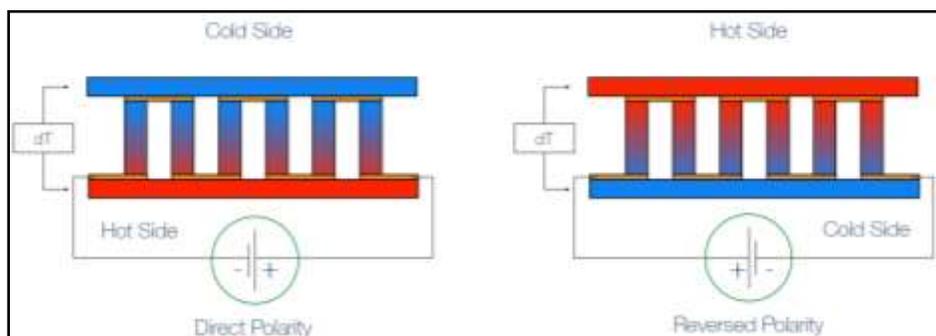


Figura 3.15 Modos de refrigeración y calefacción

(Tec-microsystem, 2018)

➤ **Marcas de identificación de un elemento Peltier**

Las celdas Peltier están marcadas con unos números que indican las características del dispositivo.



Figura 3.16 Identificación del elemento Peltier

(Thermoelectric, 2007)

- Las primeras letras siempre son las mismas “TE” (Thermoelectric cooler).
- La siguiente letra puede ser “C” o “S”, estas indican el tamaño del elemento, la letra “C” indica un elemento de tamaño estándar, “S” indica un elemento de un tamaño más pequeño.
- El siguiente número “1”, después de TEC o TES indica el número de escalones del dispositivo, la figura muestra una celda de una sola etapa, si existe un elemento Peltier más pequeño montado en el dispositivo, sería un elemento de dos escalones “2”.
- Los primeros tres números después del guion, son el número de parejas, tales como “127” o “031”.
- Los siguientes dos números indican el amperaje máximo que puede soportar el dispositivo “04” o “12”.
- En algunos dispositivos están impresos una serie como “T125”, “T150” o “T200” después de la parte numérica, esta cifra indica la máxima temperatura en °C del módulo. (Thermoelectric, 2007)

3.4. Disipador de calor

El disipador de calor es un componente de un circuito electrónico, el cual dispersa el calor de los dispositivos electrónicos.

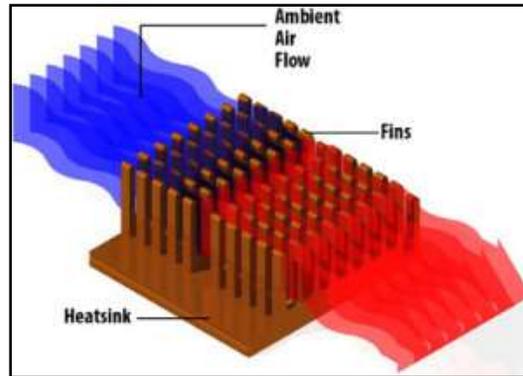


Figura 3.17 Disipador de calor

(ElProcus, 2017)

El principio de funcionamiento del disipador de calor, es establecido por la ley de Fourier, donde se indica que, si el gradiente de temperatura está presente en un cuerpo, entonces el calor se transferirá de la región de alta temperatura a la región de baja temperatura. Esto puede ser conseguido de tres diferentes maneras, tales como, convección, radiación y conducción.

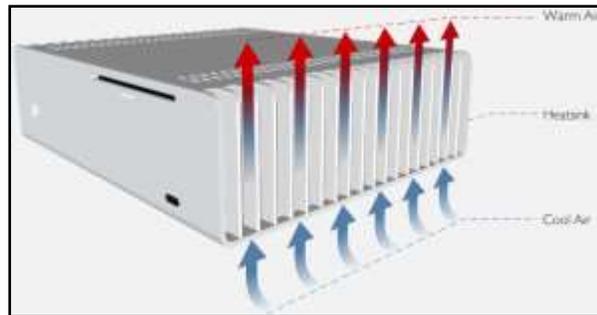


Figura 3.18 Transferencia de calor en un disipador

(ElProcus, 2017)

3.5. Sensor DHT11

El DHT11 es un complejo sensor de temperatura y humedad, con una salida de señal digital calibrada. Usando una exclusiva precisión de señal digital consigue detectar la temperatura y la humedad, garantizando una alta fiabilidad y excelente estabilidad a largo plazo.

Este sensor incluye una medición de humedad mediante un componente de tipo resistivo, así mismo, un componente de medición de tipo NTC para la temperatura y se conecta a un microcontrolador de alto rendimiento, de 8 bits que ofrece una excelente calidad, respuesta rápida, anti-interferencia, bajo costo y elevada efectividad. (AOSONG, 2010)

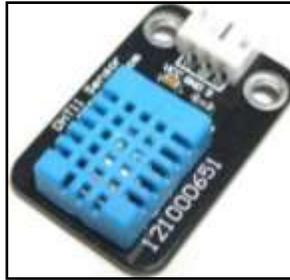


Figura 3.19 Sensor DHT11

(AOSONG, 2010)

Tabla 3. 2 Especificaciones técnicas del DHT11 (AOSONG, 2010)

Parámetros	Condiciones	Mínima	Media (Típica)	Máxima
Humedad				
Resolución		1% RH	1% RH	1% RH
			8 Bit	
Repetibilidad			±1% RH	
Precisión	25°C		±4% RH	±5% RH
	0-50°C			
Intercambiabilidad	Completamente intercambiable			
Rango de medición	0°C	30% RH		90% RH
	25°C	20% RH		90% RH
	50°C	20% RH		90% RH
Estabilidad a largo tiempo	Típica		±1% RH/año	

3.5.1. Diagrama de conexión del Sensor DHT11

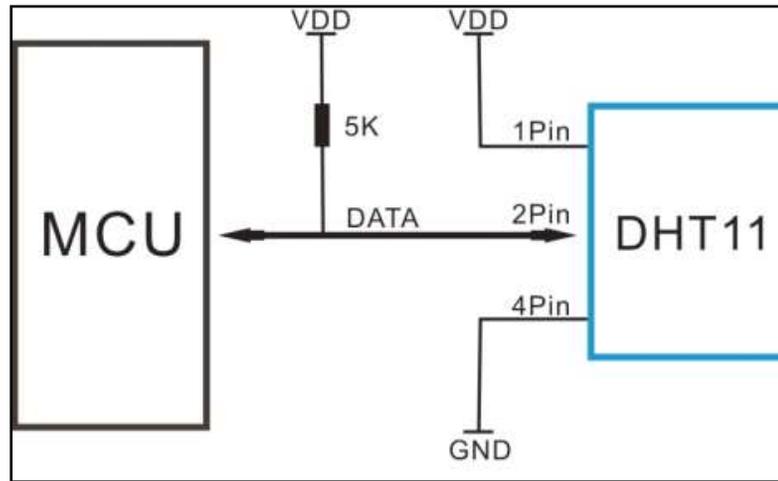


Figura 3.20 Conexión típica del sensor

(AOSONG, 2010)

3.5.2. Fuente de alimentación del sensor

El voltaje suministrado al DHT11 está en 3.5 – 5.5VDC.

- Se recomienda una longitud de cable menor a 20 metros en la resistencia pull-up de 5,1KΩ, para una longitud de cable mayor a 20 metros, se debe reducir la resistencia.
- Cuando se usa un voltaje de alimentación de 3.5V la longitud del cable no debe ser mayor a 20cm. De otra manera, la línea de voltaje interrumpe la fuente de alimentación delo sensor, causando un error de medición.
- Cada lectura de los valores de temperatura u humedad son resultados de la última medición en tiempo real, pero para una precisión de datos se recomienda un intervalo de 5 segundos.

Tabla 3. 3 Características eléctricas (AOSONG, 2010)

VDD=5V, T=25°C	Condiciones	Mínima	Media (Típica)	Máxima
Fuente de alimentación	DC	3V	5V	5.5V
Corriente de suministro	En medición	0.5mA		2.5mA
	Media	0.2mA		1mA
	En espera	100uA		150uA
Período de Muestreo	Segundo	1		

3.6. LCD

El Display de cristal líquido conocido como (LCD) por sus siglas en inglés, es un elemento que reemplaza a los Displays de segmentos, las pequeñas pantallas no se ven limitadas por la falta de espacio ya que actualmente se pueden conseguir de un tamaño suficiente para cubrir cualquier necesidad. (ingenieriaelectronica, 2017)

Un simple display que puede ser usado con Arduino o Raspberry PI es un LCD de 16x2. El cual consiste en 16 caracteres en 2 líneas. Este módulo LCD es un display de bajo costo y fácil de usar. (Kurniawan, 2017)



Figura 3.21 LCD

(Kurniawan, 2017)

El display más empleado en proyectos electrónicos es el LCD 16x2, los últimos números representan que el dispositivo representa dos líneas y 16 caracteres en cada línea tal como lo muestra la figura.

3.6.1. Diagrama del LCD

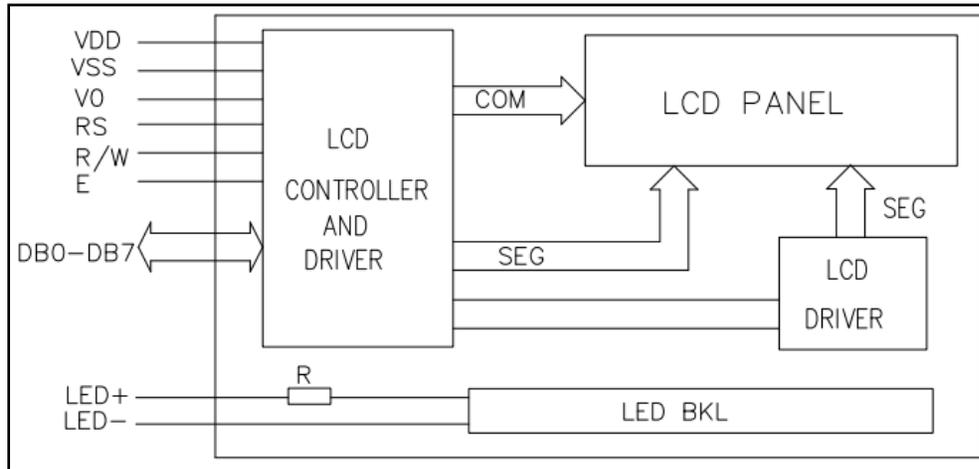


Figura 3.22 Diagrama del LCD

(XIAMEN AMOTEC DISPLAY CO., 2008)

La figura 3.23 etiqueta los pines con sus respectivos símbolos.

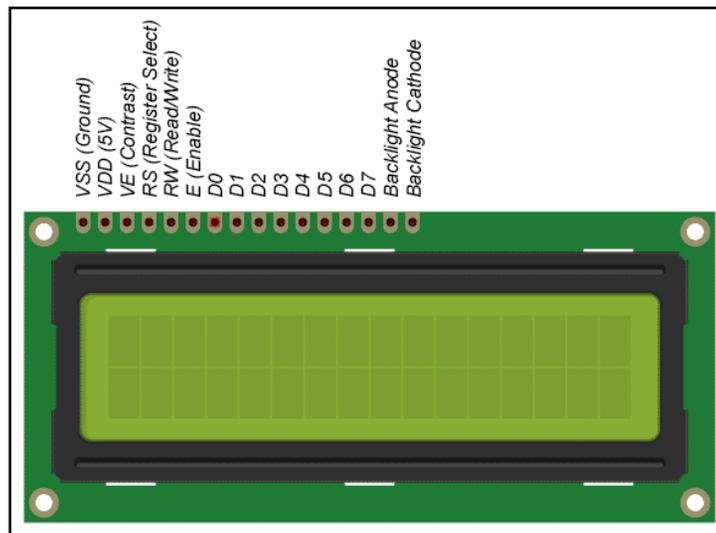


Figura 3.22 Disposición de los pines

(Circuit Basics, 2017)

Tabla 3. 4 Descripción de los pines del LCD (XIAMEN AMOTEC DISPLAY CO., 2008)

Pin N°	Símbolo	Conexión externa	Función
1	VSS	Fuente de alimentación	Señal de tierra para LCM
2	VDD		Fuente de alimentación para LCM
3	Vo		Ajuste de contraste
4	RS	MPU	Señal de registro
5	R/W	MPU	Señal de lectura/escritura
6	E	MPU	Operación (lectura / escritura de datos) señal de habilitación
7-10	DB0-DB3	MPU	Usada para transmitir datos entre MPU y el LCM
11-14	DB4-DB7	MPU	Usada para transmitir datos desde el MPU
15	LED+	LED BKL suministro de poder	Fuente de alimentación del BKL
16	LED-		Fuente de alimentación del BKL

3.6.2. Uso del LCD en Arduino

El entorno de desarrollo de Arduino (IDE) tiene una librería para el LCD 16x2, en caso de no estar, se la descarga desde el gestor de librerías o manualmente. Para incluir la librería y asignar los pines de comunicación del Arduino al LCD se usa el siguiente sketch:

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("    ");
} void loop() {}
```

CAPÍTULO IV

PROTOTIPO DEL TANQUE Y PROGRAMACIÓN

4.1. Librerías

Las librerías son una colección de códigos que hace que la conexión al sensor, display, modulo, etc. sea mucho más fácil. Hay algunas librerías incluidas en el software cientos de librerías disponibles en internet para descargar.

Para instalar una librería dentro del IDE se puede usar “gestionar librería” o si se desea incluir una librería, se selecciona la librería que ya este instalada en el programa.

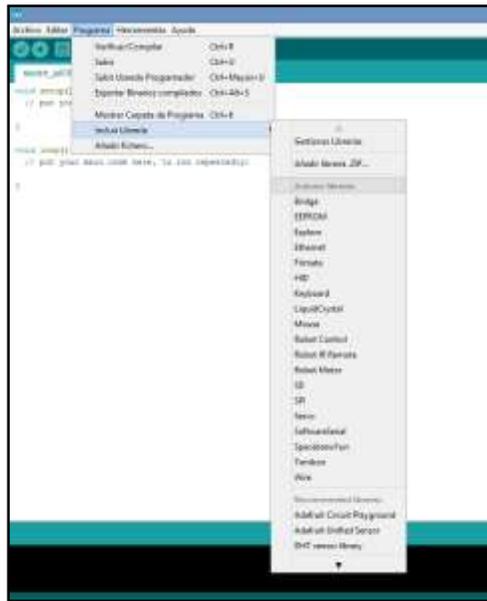


Figura 4.1 Complemento de librerías

IDE (Software Arduino)

4.2. Lenguaje de programación

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

4.2.1. Estructura

Los elementos del código Arduino C++. Las principales funciones son: Setup () y Loop ().

- **Setup ()**

La función Setup se emplea cuando se inicia un sketch. Se la utiliza para iniciar variables, modos de pin, empezar a usar librería, etc. Esta función solo se ejecuta una vez, después de cada encendido o reseteo de la tarjeta Arduino.

Ejemplo:

```
void setup()
{
  pinMode(pin, OUTPUT); // configura el 'pin' como salida
  digitalWrite(pin, HIGH); // pone el 'pin' en estado HIGH
}
```

- **Loop ()**

Después de crear una función setup, la cual inicia y configura los valores iniciales, la función loop hace lo que su nombre sugiere, se ejecuta de forma cíclica, lo que permite que el programa cambie y responda, usándose para controlar activamente la tarjeta.

Ejemplo:

```
void loop()
{
  digitalWrite(pin, HIGH); // pone en uno (on, 5v) el 'pin'
  delay(1000);           // espera un segundo (1000 ms)
  digitalWrite(pin, LOW); // pone en cero (off, 0v.) el 'pin'
  delay(1000);
}
```

4.2.2. Sintaxis adicionales

- **#define**

Es un componente C¹² útil, que permite al programador dar un nombre a un valor de una constante antes de que el programa sea compilado.

¹² C: Es un lenguaje de programación de computadora que admite una programación estructurada.

Ejemplo:

```
#define ledPin 3
```

//El compilador reemplazará cualquier mención de ledPin con el valor de 3 en el momento de compilación.

- **#include**

Es usado para incluir bibliotecas externas en el sketch.

Ejemplo:

#include <avr/pgmspace.h> // AVR C, es una referencia para el chip Atmel en el cual Arduino está basado.

- **/* */ Bloque de comentarios**

Los comentarios son líneas que son usadas para informar al programador acerca de la forma en la que el programa trabaja. El compilador ignora las líneas, y no las exporta al procesador, de manera que no ocupan ningún espacio en la memoria flash.

Ejemplo:

```
/* Esto es un comentario válido*/
```

// Línea de comentarios: Son usadas de la misma manera que el bloque de comentarios.

Ejemplo:

// El pin 13 tiene un led conectado en la mayoría de las placas Arduino.

- **Punto y coma ;**

Se utiliza para terminar un enunciado.

Ejemplo:

```
int a = 13;
```

- **{ } Llaves**

Son importantes en el lenguaje de programación.

Se usa una llave de apertura y una de cierre, esta es una condición que a menudo se conoce como equilibrio de llaves.

Ejemplo:

```
type funcion()  
{  
  instrucciones;  
}
```

4.2.3. Variables

Son expresiones predefinidas en el lenguaje Arduino. Son usadas para hacer que los programas sean más fáciles de leer.

- **Constantes**

Niveles lógicos: Verdadero y falso: Son dos constantes que representan lo verdadero y lo falso en el lenguaje Arduino: true y false.

False

El falso es el más fácil de definir de los dos. La constante false es definida como 0 (cero).

True

La constante true es a menudo definida como 1, lo cual es correcto, aunque tienen una amplia definición. Cualquier entero que no sea cero es verdadero en un sentido booleano.

4.2.4. Definición de niveles de pin: HIGH Y LOW

Cuando se escribe o se lee en un pin digital solo puede haber dos posibles valores: HIGH y LOW.

HIGH

El significado de HIGH en referencia a un pin, depende si el pin está configurado como una entrada o salida. Cuando un pin es configurado como INPUT con pinMode() y leído con digitalRead(), el Arduino (Atmega) informará HIGH si:

- Un voltaje más grande que 3.0V está presente en el pin (Para tarjetas de 5V).

- Un voltaje más grande que 2.0V está presente en el pin (Tarjetas de 3.3V).

Un pin también puede ser configurado como un INPUT con `pinMode()`, y después se lo convierte en HIGH con `digitalWrite()`. Cuando un pin es configurado como OUTPUT con `pinMode()`; y configurado a HIGH con `digitalWrite()`; el pin está en:

- 5 Voltios (Tarjeta de 5 Voltios).
- 3.3 Voltios (Tarjeta de 3.3 Voltios).

LOW

El significado de LOW también tiene diferentes interpretaciones, dependiendo de si el pin está configurado como INPUT u OUTPUT. Cuando un pin está configurado como INPUT con `pinMode()`, y leído con `digitalRead()`, el Arduino (Atmega) informará LOW si:

- Un voltaje menor a 1.5V es presente en el pin (Para tarjeta de 5V).
- Un voltaje menor a 1.0V está presente en el pin (Para tarjetas de 3.3V).

Cuando un pin es configurado a OUTPUT con `pinMode()`; y configurado a LOW con `digitalWrite()`, el pin está a 0 (Para tarjetas de 5V y 3.3V).

4.2.5. Tipos de datos

Los tipos de datos detallados a continuación son variables que pueden ser empleadas en el editor de texto del programa Arduino.

- **Int**

Los enteros son un tipo de datos, principales en el almacenamiento de números.

Ejemplo:

```
int ledPin = 13;
```

- **Funciones**

Para controlar la placa Arduino y realizar cálculos.

- **PinMode()**

Configura un pin especificado para que se comporte ya sea como entrada o salida, INPUT u OUTPUT.

Ejemplo:

```
void setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT);    // Configura el pin digital 13 como salida
}
void loop()
{
  digitalWrite(13, HIGH); // Configura el pin 13 en HIGH
  delay(1000);           // Espera un segundo
  digitalWrite(13, LOW);  // Configura el pin 13 en LOW
  delay(1000);           // Espera un segundo
}
```

4.3. Programación del sensor DHT11

Antes de usar el DHT11 es necesario instalar su librería, la cual tiene todas las funciones para que el sensor pueda leer los valores de temperatura y humedad del ambiente. El archivo puede descargarse directamente desde el gestor de librerías del programa de Arduino o descargarlo desde una página web e instalarlo manualmente.

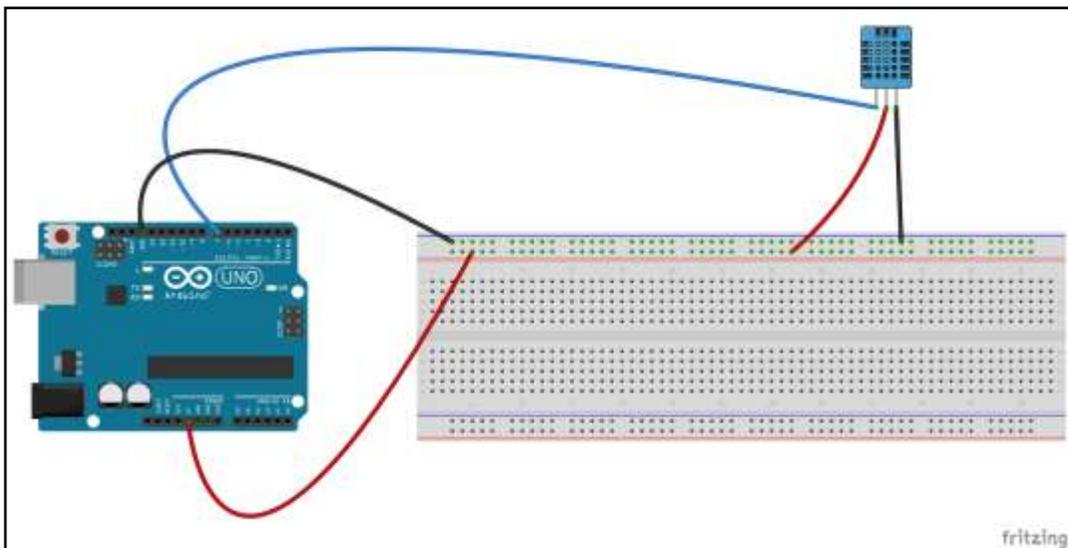


Figura 4.2 Esquema de conexión del DHT11 a la tarjeta Arduino

(Andrés Mejía)

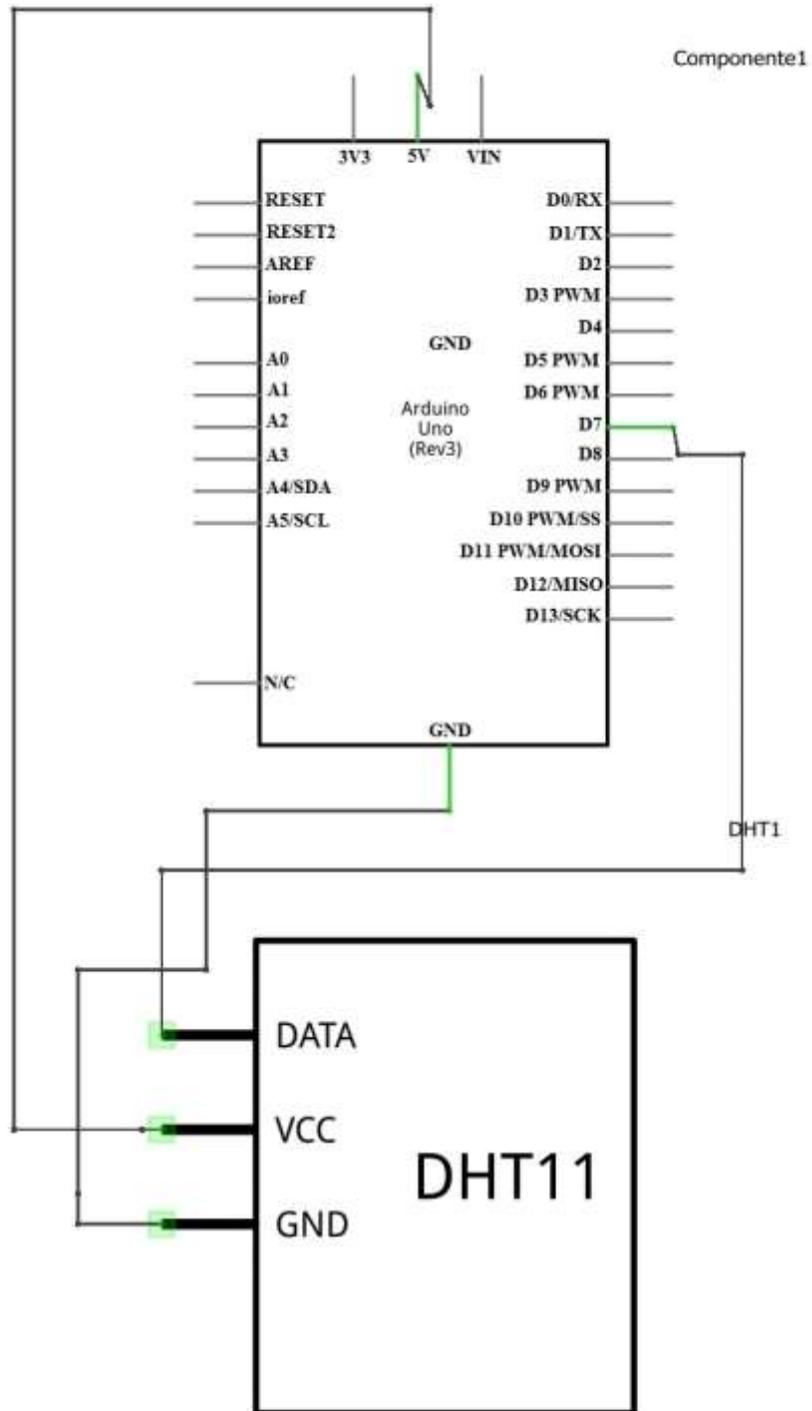


Figura 4.4 Esquema de conexión del LCD

(Andrés Mejía)

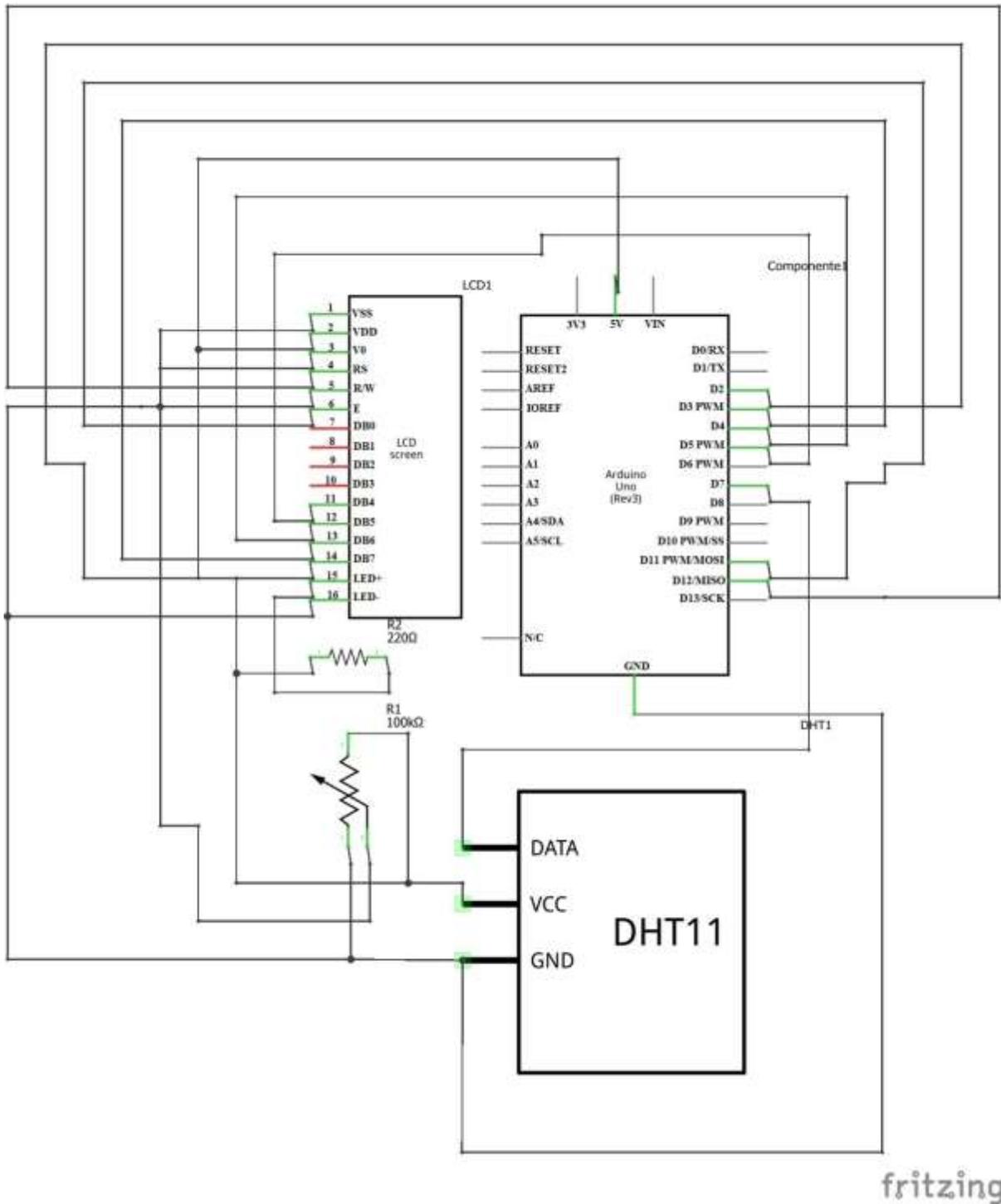


Figura 4.5 Diagrama de conexión del LCD

(Andrés Mejía)

Para que los valores de lectura del sensor se muestren en el LCD es necesario cargar este código a la tarjeta.

```
#include <dht.h>
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
dht DHT;
#define DHT11_PIN 7
void setup(){
  lcd.begin(16, 2);
}
void loop()
{
  int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Temp: ");
  lcd.print(DHT.temperature);
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Humedad: ");
  lcd.print(DHT.humidity);
  lcd.print("%");
  delay(1000);
}
```

4.5. Introducción a las salidas digitales

La entrada y salida digital, es posible en los pines, y es que un pin, puede usarse tanto como entrada como para salida, para la lectura de una señal digital, se escribe en el editor de texto

digitalRead, mientras que para la salida de una señal digital desde la tarjeta Arduino se escribe *digitalWrite*.

El siguiente sketch es la muestra de un ejemplo tanto para *digitalRead* y *digitalWrite*.

4.5.1. DigitalRead()

Lee los valores de un pin específico, ya sea HIGH o LOW.

Ejemplo:

```
int ledPin = 13; // LED conectado al pin digital 13
int inPin = 7; // Pulsador conectado al pin 7
int val = 0; // Variable para almacenar
void setup()
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // configura al pin 13 como salida
  pinMode(inPin, INPUT); // configura al pin 7 como entrada
}
void loop()
{
  val = digitalRead(inPin); // Lee el pin de entrada
  digitalWrite(ledPin, val); // Configura el Led al valor del pulsador
}
```

4.5.2. digitalWrite()

Escribe un valor HIGH o LOW en un pin digital. Si el pin ha sido configurado como OUTPUT con *pinMode()*, su voltaje será configurado al valor correspondiente: 5V (o 3.3V en tarjetas de 3.3V) para HIGH; 0V (tierra) para LOW.

Si el pin ha sido configurado como INPUT, *digitalWrite()*, se habilitará (HIGH) o desactivará (LOW) la resistencia pull-up interna en el pin de entrada.

Ejemplo:

```
void setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT); // Configura el pin digital 13 como salida
}
```

```

void loop()
{
  digitalWrite(13, HIGH); // Configura el pin digital 13 en alto (5V).
  delay(1000);           // Espera un segundo
  digitalWrite(13, LOW); // Configura el pin digital 13 en bajo (0V).
  delay(1000);           // Espera un segundo
}

```

4.6. Control de la celda Peltier

El control de la celda Peltier es dado por medio de una señal digital que la recibe de la tarjeta Arduino por intermedio de un relé, las imágenes siguientes muestran un esquema y diagrama de conexión.

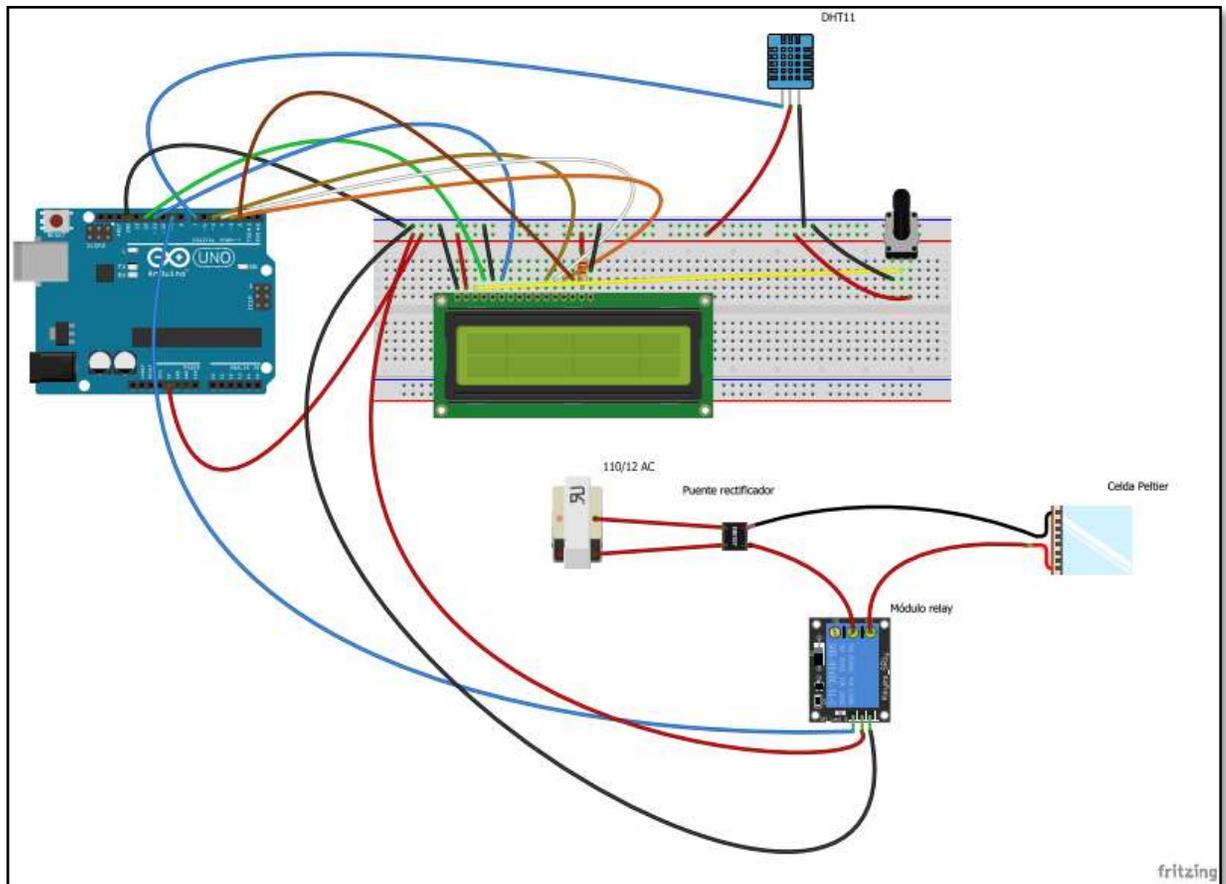


Figura 4.6 Esquema de conexión y control de la celda Peltier

(Andrés Mejía)

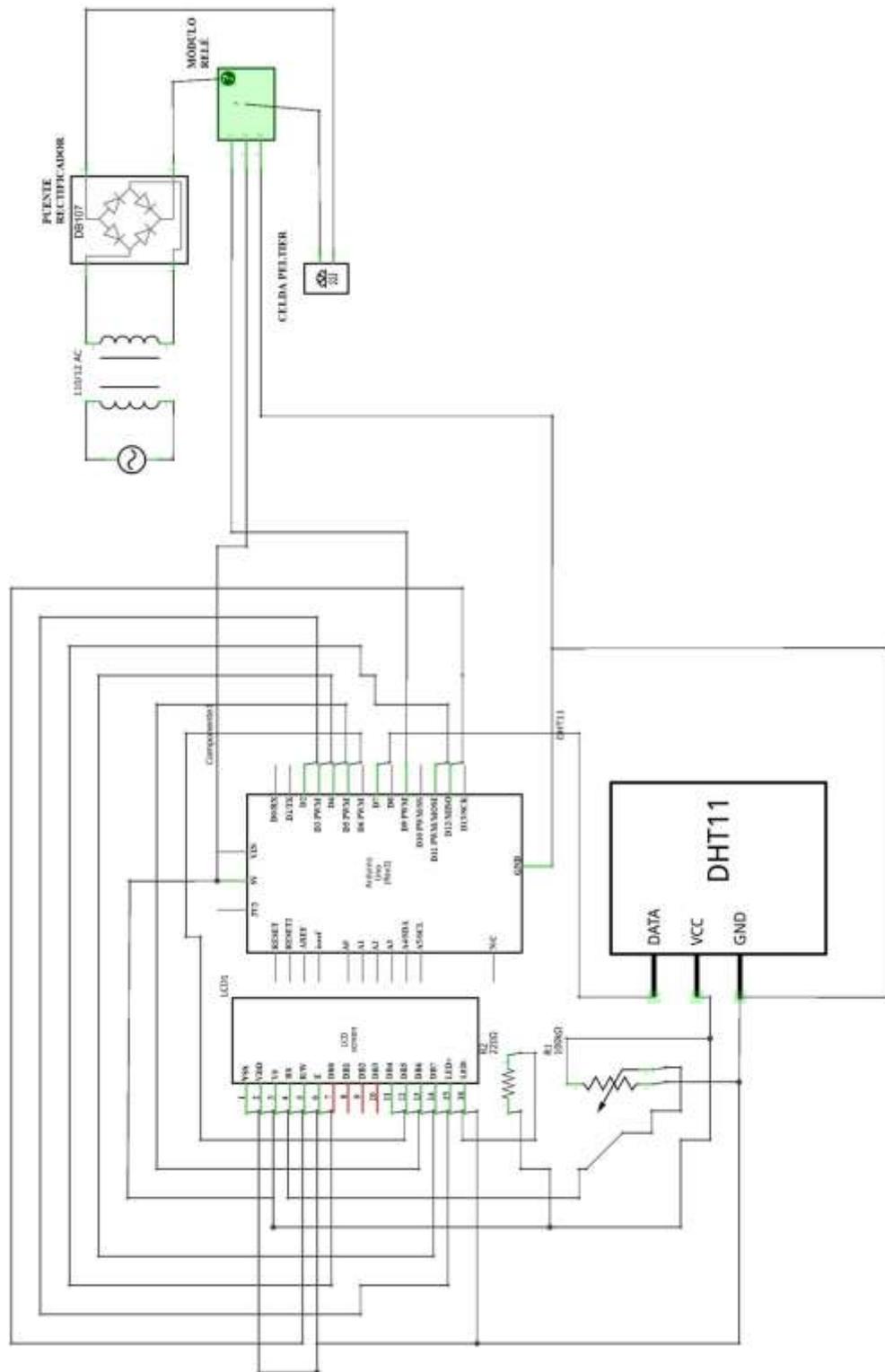


Figura 4.7 Diagrama de conexión y control de la celda Peltier

(Andrés Mejía)

Adicionalmente la tarjeta Arduino debe enviar una señal digital para actuar el modulo relé y así poder activar el funcionamiento de un blower que funcionará como extractor, dando así la posibilidad de recircular el posible aire húmedo dentro del tanque si las condiciones lo permiten.

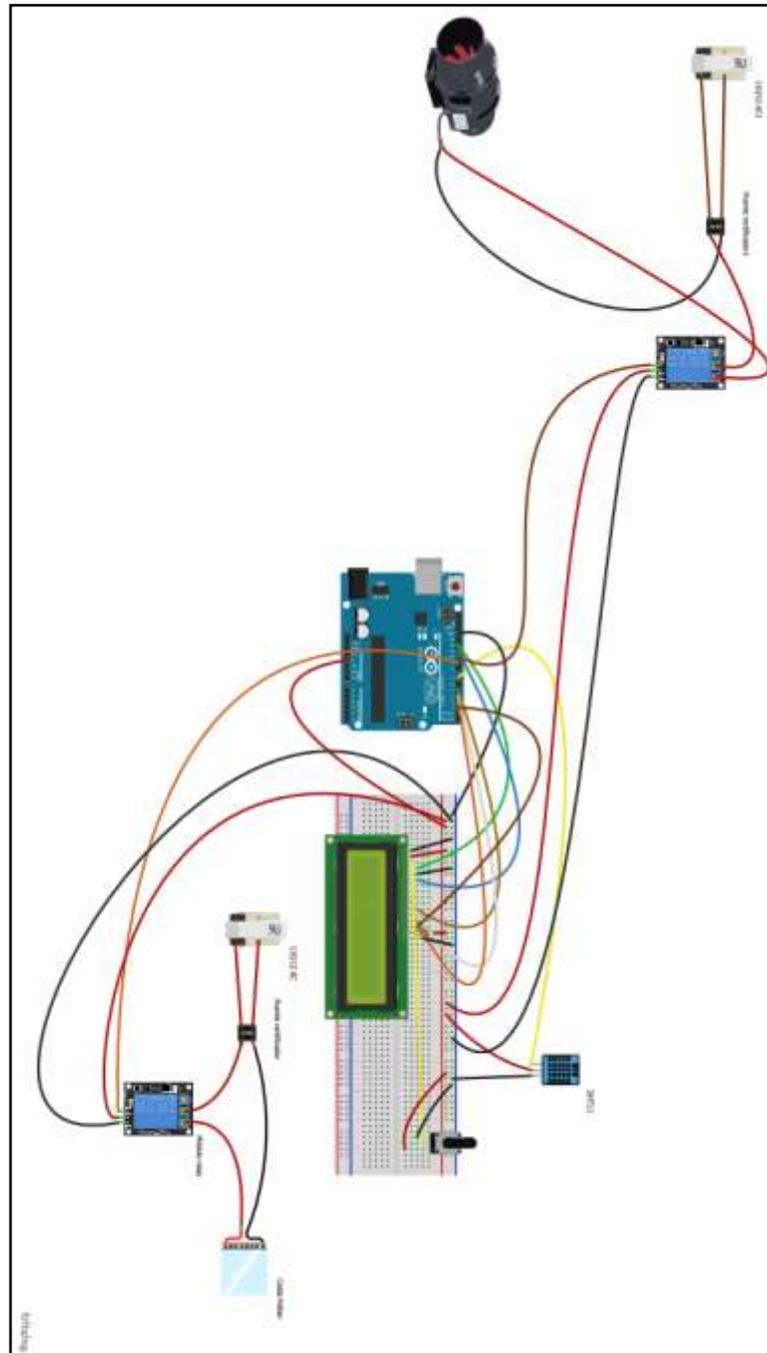


Figura 4.8 Esquema de conexión y control de un blower

Fuente: (Andrés Mejía)

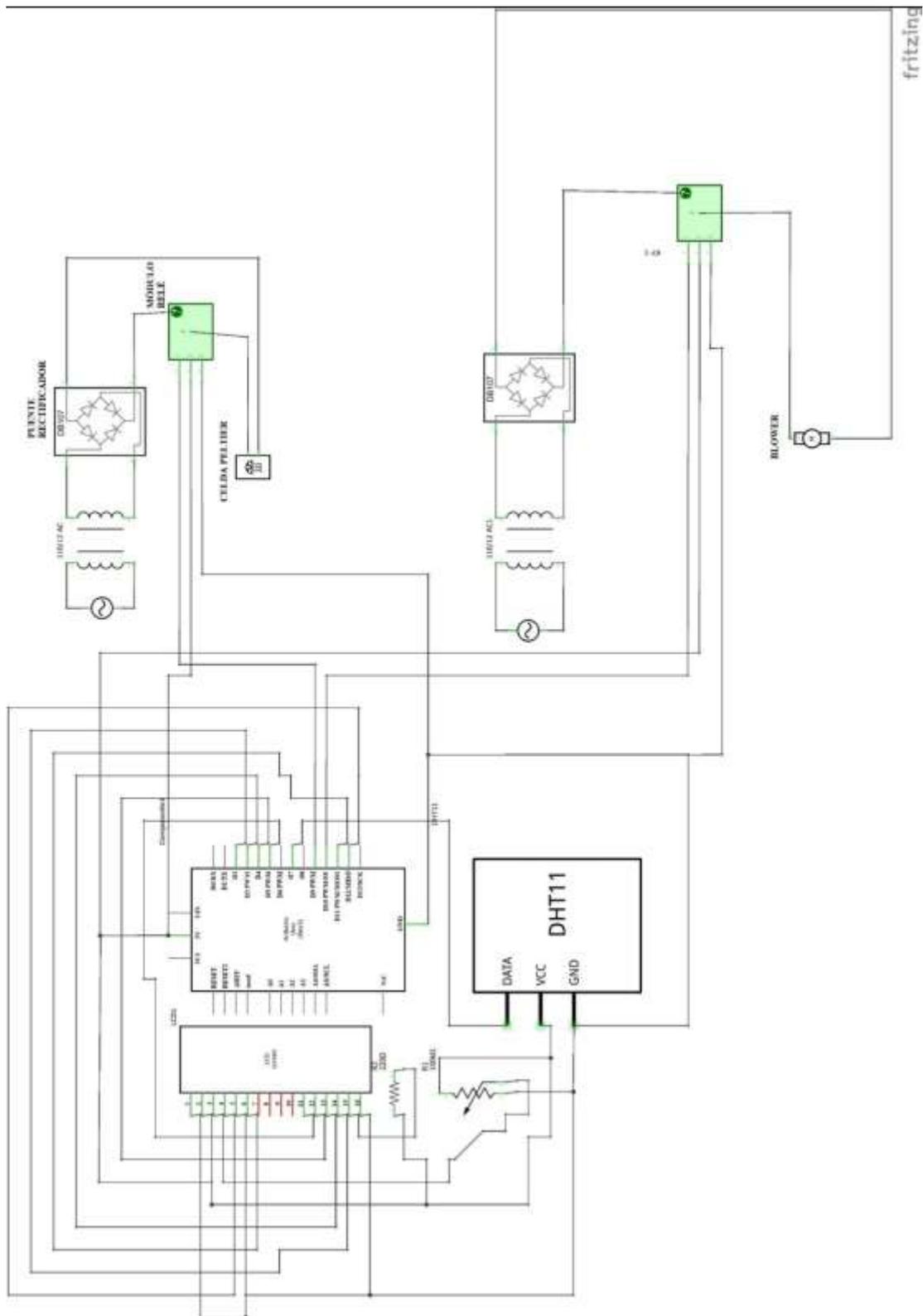


Figura 4.9 Diagrama de conexión y control de un blower

Fuente: (Andrés Mejía)

El código o sketch completo del circuito o sistema sería el siguiente:

```
#include <LiquidCrystal.h> //Se incluye la librería del LCD
#include <dht.h> //Se incluye la librería del sensor de temperatura y humedad
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2); // Se asignan los pines de conexión del LCD
dht DHT;
#define DHT11_PIN 7 // Se asigna el tipo de sensor DHT y el pin de señal
int pinOut1 = 8; //Se selecciona una variable y el pin
int pinOut2 = 9; // Se selecciona una variable y el pin
void setup(){
  lcd.begin(16,2);
  pinMode(8, OUTPUT); //Se selecciona el modo de la variable como salida
  pinMode(9, OUTPUT); // Se selecciona el modo de la variable como salida
}
void loop()
{
  int chk = DHT.read11(DHT11_PIN); //Lectura del sensor DHT11
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Temp: ");
  lcd.print(DHT.temperature);
  lcd.print((char)223); //Char223 representa el carácter o símbolo de grado
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Humedad: ");
  lcd.print(DHT.humidity);
  lcd.print("%");
  if(DHT.temperature>=25 && DHT.humidity>=60){
    digitalWrite(pinOut1, HIGH);
    digitalWrite(pinOut2, HIGH);
  }
}
```

```
else {  
    digitalWrite(pinOut1, LOW);  
    digitalWrite(pinOut2, LOW); //Asignación de un parámetro de funcionamiento  
}  
delay (5000);  
}
```

4.7. Diseño de un sistema de almacenamiento de combustible en Solidworks

La figura 4.10 representa un tanque convencional diseñado en Solidworks, con sus respectivas tuberías y demás accesorios.

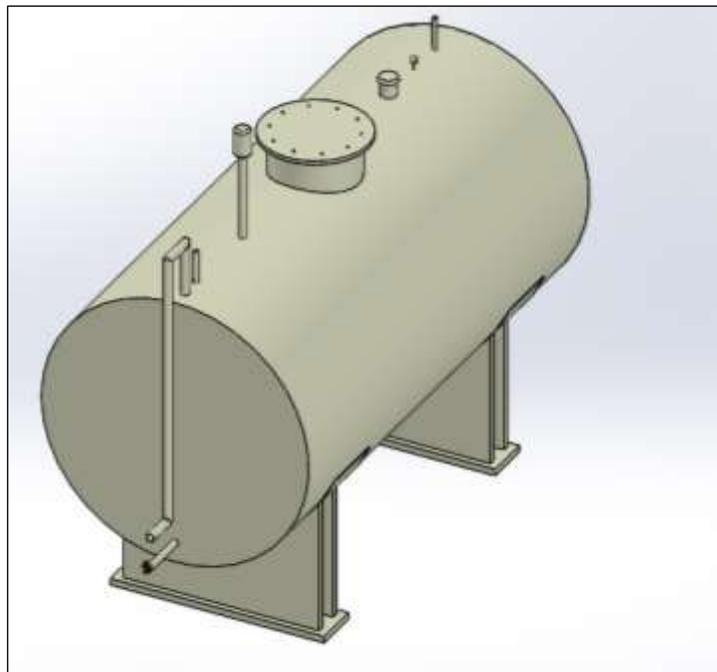


Figura 4.10 Tanque de almacenamiento al granel (Solidworks)

(Andrés Mejía)

Aunque la mayoría de tanques pueden tener más dispositivos según sus sistemas, es común e indispensable de que consten con una ventilación, esta permite que el tanque literalmente “respire”, la razón se debe a que los cambios de volumen que ocurren en el interior del tanque a causa de la variación de la temperatura ambiental, o en las fluctuaciones del nivel de combustible, filtro de ventilación empleado en zonas con elevada humedad y alta contaminación de partículas sólidas, estos también tienen materiales desecantes que ayudan a retirar las partículas de agua del aire, deben ser chequeados constantemente, en caso de que estén obstruidos, la respiración del tanque ocurre sin un aire filtrado por medio de una válvula bypass ubicada en la base del filtro. El tanque también posee un ingreso hacia el interior conocido en inglés como “manway” usado para hacer mantenimientos de limpieza y arreglos del tanque.

También es posible empelar sistemas de control o medición en el tanque y empelarse dispositivos como, medidores de nivel, medidores de presencia de agua, medidor de fuga, etc.

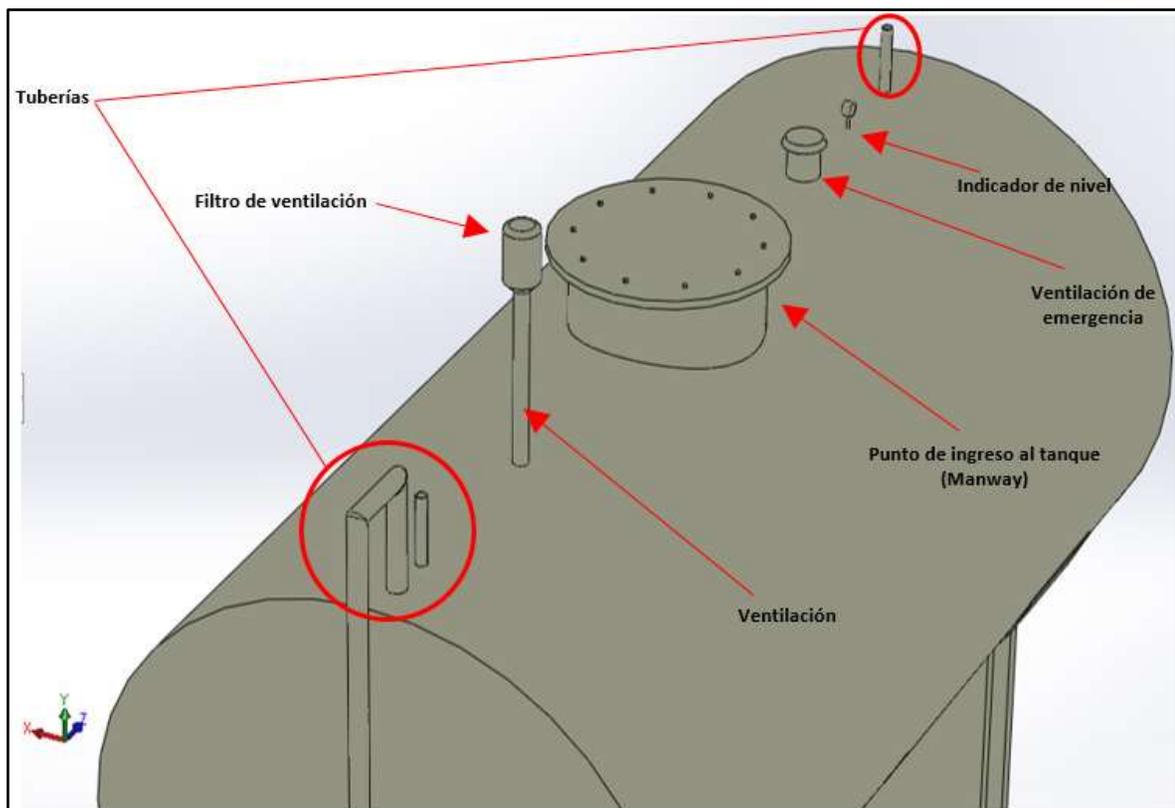


Figura 4.11 Tuberías, ventilación y filtro, entrada, ventilación de emergencia y medidor del nivel del tanque respectivamente (Desde izquierda a derecha)

(Andrés Mejía)

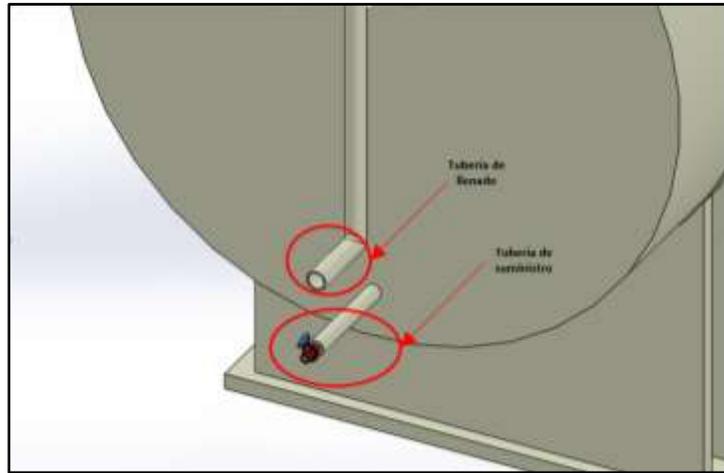


Figura 4.12 Tubería de llenado y suministro

(Andrés Mejía)

4.8. Diseño del circuito de deshumidificación

Cómo previamente se planteó en este trabajo, el sistema que se propone a diseñar con el fin de ayudar en la eliminación de la presencia de agua en el interior del tanque, consta de tuberías y deshumidificador donde se eliminará el agua. La tubería con color violeta representa el recorrido del aire que se desea deshumidificar.

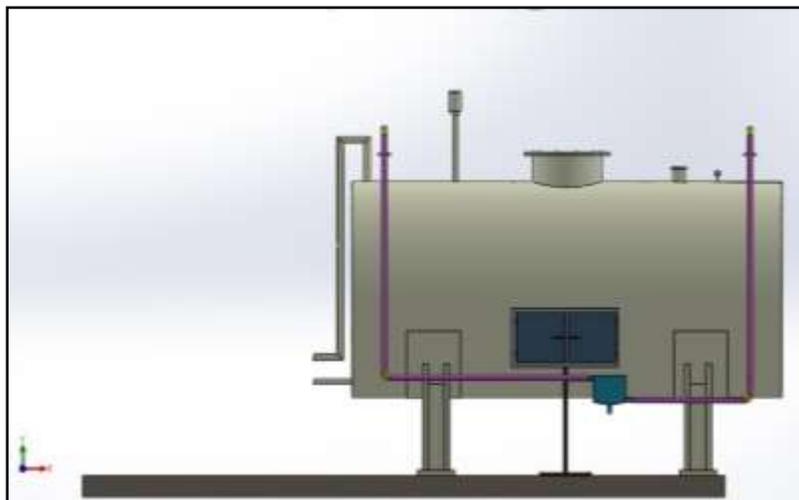


Figura 4.13 Circuito de deshumidificación

(Andrés Mejía)

El recorrido del aire será de un ciclo cerrado, es decir; retornará nuevamente al tanque, pero esta vez con menos humedad, con la ayuda de un blower que puede ser instalado junto con brida o juntas en cualquiera de los puntos que muestra la imagen, se da la extracción del aire, existiendo blowers lineales hasta de 3" de diámetro.

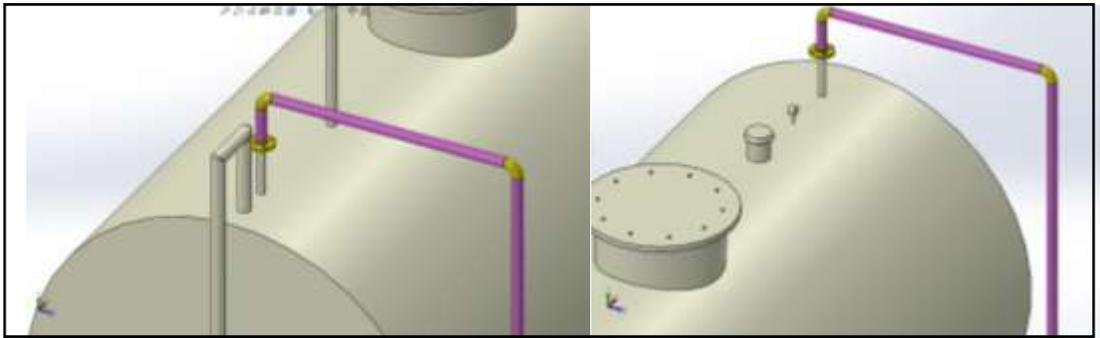


Figura 4.14 Tuberías del circuito

(Andrés Mejía)

En el programa se diseñó una cabina donde se almacene la tarjeta Arduino y los demás componentes para el funcionamiento de sistema.

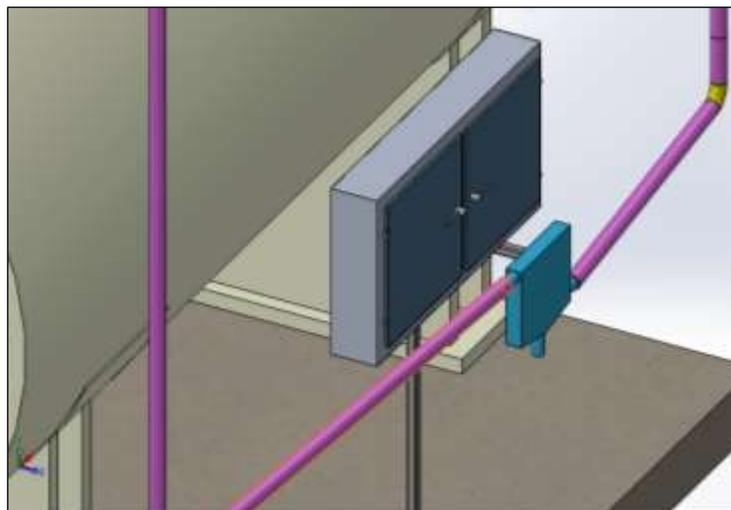


Figura 4.15 Cabina de control

(Andrés Mejía)

El medio o elemento que deshumidifica el aire no es más que un cajetín que internamente posee unas aletas metálicas, idéntico a un dissipador de calor, este se muestra en la figura 4.16 y que solo en este caso, en la parte trasera se encuentra anexada la celda Peltier, de manera que se transmite una temperatura baja (debido a la absorción de calor de la celda) hacia las aletas por donde circulará el aire, de esa manera cederá el exceso de vapor de agua presente en él.

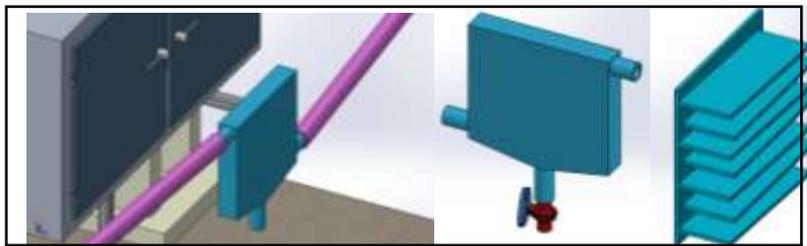


Figura 4.16 Construcción del elemento deshumidificador

(Andrés Mejía)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Al investigar los daños que ocurren dentro de un tanque de almacenamiento y posteriormente al combustible, debido a un ambiente húmedo, se conoce la importancia por la que se debe mantener una humedad baja en el interior del tanque, de lo contrario los daños en la calidad del diésel perjudicarían a todas las máquinas y equipos que funcionan con tal combustible.
- Debido a la facilidad de uso de una tarjeta Arduino y el bajo precio de los componentes que conforman el sistema, se puede deducir que el implementar este sistema con el fin de mejorar o prevenir un daño en el combustible es factible, ya que mejoraría la calidad de un recurso no renovable.
- La facilidad del uso de una celda Peltier y su capacidad de transferencia de energía la convierten en un dispositivo ideal para el trabajo de deshumidificación.
- Al recrear el sistema planteado y diseñado en Solidworks en un prototipo que simule el ambiente de un tanque de almacenamiento, se observó que la humedad fue leída casi de manera inmediata por el sensor, y en función de la programación de la tarjeta, el sistema entró en funcionamiento, hasta alcanzar un valor de humedad bajo, de manera que se sostiene que el implemento de este sistema es de gran ayuda en la eliminación de la humedad.

5.2. Recomendaciones

- Es importante inspeccionar de manera rutinaria un tanque de almacenamiento y observar los posibles puntos y fuentes de contaminación, pensar que el tanque no necesita mantenimiento o inspección, es un error grave, ya que el mismo contiene el fluido con el que funcionan los equipos.
- La instalación de un filtro en la ventilación del tanque es de suma importancia pues la contaminación por partículas sólidas y humedad presente en el ambiente pueden ser reducidas con el uso de un filtro.
- Tener cuidado en la conexión y estado de los componentes o cualquier otro sistema del tanque, de manera que no ocurra ningún problema eléctrico, no es buena idea una chispa eléctrica cerca de un combustible.
- Si se desea un mayor descenso de temperatura por parte de la celda, es posible variar tal valor en función a la intensidad eléctrica con la que se alimenta la celda, de manera que, si se llega a aumentar la intensidad de alimentación, mayor será la diferencia de temperatura en los lados de la celda.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- C. Donald Ahrens, R. H. (2015). *Meteorology Today* (11 ed.). Boston, Massachusetts , USA: Cengage Learning. Obtenido de <https://bit.ly/2yEP8Cl>
- Frank P. Incropera, D. P. (2006). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. En D. P. Frank P. Incropera, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (págs. 641-642). Nueva York: John Wiley & Sons Inc.
- Kurniawan, A. (2017). *Intelligent IoT Projects in 7 Days*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Michael J. Moran, H. N. (2004). Fundamentos de termodinámica técnica. En H. N. Michael J. Moran, *Fundamentos de termodinámica técnica* (págs. 57-58-59). Barcelona: Reverte.
- Michael J. Moran, H. N. (2004). *Fundamentos de termodinámica técnica*. (Reverte, Ed., & J. Antonio, Trad.) Barcelona: Reimpresión.
- Yarnold, S. (2015). Arduino in easy steps. En S. Yarnold, *Arduino in easy steps* (págs. 8-10-112). Cambridge: In Easy Steps.

Reportes técnicos

- AOSONG. (10 de 08 de 2010). *circuitbasics.com*. Obtenido de [circuitbasics.com: https://www.mouser.com/ds/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf](https://www.mouser.com/ds/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf)
- Coordinating Research Council, I. (2014). *Diesel Fuel Storage and Handling Guide*. Alpharetta: CRC. Obtenido de <https://crcao.org/reports/recentstudies2014/CRC%20667/CRC%20667.pdf>
- Council, C. R. (7 de 07 de 2016). *crcao.org*. Obtenido de [crcao.org: https://crcao.org/reports/recentstudies2016/CRC%20672/CRC%20672.pdf](https://crcao.org/reports/recentstudies2016/CRC%20672/CRC%20672.pdf)
- Cui Inc. (11 de Octubre de 2009). *www.cui.com*. Obtenido de [www.cui.com: https://www.cui.com/catalog/resource/peltier-app-note.pdf](https://www.cui.com/catalog/resource/peltier-app-note.pdf)

EPA. (20 de 07 de 2016). *trucking.org*. Obtenido de [trucking.org: http://www.trucking.org/ATA%20Docs/What%20We%20Do/Trucking%20Issues/Documents/Energy%20Environment/diesel-corrosion-report.pdf](http://www.trucking.org/ATA%20Docs/What%20We%20Do/Trucking%20Issues/Documents/Energy%20Environment/diesel-corrosion-report.pdf)

Tec-microsystem. (24 de 01 de 2018). *www.tec-microsystems.com*. Obtenido de [www.tec-microsystems.com: https://www.tec-microsystems.com/Download/Docs/TEC_FAQ_TCM.pdf](https://www.tec-microsystems.com/Download/Docs/TEC_FAQ_TCM.pdf)

XIAMEN AMOTEC DISPLAY CO., L. (29 de 10 de 2008). *www.circuitbasics.com*. Obtenido de [www.circuitbasics.com: http://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2015/03/16x2-LCD-Datasheet-1.pdf](http://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2015/03/16x2-LCD-Datasheet-1.pdf)

Sitios Web

Circuit Basics. (4 de 03 de 2017). [http://www.circuitbasics.com: http://www.circuitbasics.com/how-to-set-up-an-lcd-display-on-an-arduino/](http://www.circuitbasics.com/how-to-set-up-an-lcd-display-on-an-arduino/)

Donaldson. (12 de 08 de 2014). *mycleandiesel.com*. Obtenido de [mycleandiesel.com: http://www.mycleandiesel.com/pages/ProblemWater.aspx](http://www.mycleandiesel.com/pages/ProblemWater.aspx)

ElProcus. (17 de Mayo de 2017). *www.elprocus.com*. Obtenido de [www.elprocus.com/: https://www.elprocus.com/different-types-of-heat-sinks-and-their-importance/](https://www.elprocus.com/different-types-of-heat-sinks-and-their-importance/)

FA-ST Filtration Analysis Services Technology Ltd. (17 de 05 de 2017). *dieselfiltration.co.uk*. Obtenido de <http://www.dieselfiltration.co.uk/>

ingenieriaelectronica. (14 de Febrero de 2017). *ingenieriaelectronica.org*. Obtenido de [ingenieriaelectronica.org: https://ingenieriaelectronica.org/display-de-cristal-liquido-lcd-definicion-caracteristicas-y-conexion/](https://ingenieriaelectronica.org/display-de-cristal-liquido-lcd-definicion-caracteristicas-y-conexion/)

Matulor Group of Companies. (23 de Julio de 2016). *www.matulorgroup.co.za*. Recuperado el 28 de Abril de 2018, de [www.matulorgroup.co.za: http://www.matulorgroup.co.za/diesel-fuel/#.WuU3rqQvyM9](http://www.matulorgroup.co.za/diesel-fuel/#.WuU3rqQvyM9)

Storey, A. (30 de 8 de 2016). *university.upstartfarmers*. Recuperado el 17 de 05 de 2018, de [university.upstartfarmers: https://university.upstartfarmers.com/blog/the-true-costs-of-greenhouse-humidity-control](https://university.upstartfarmers.com/blog/the-true-costs-of-greenhouse-humidity-control)

Thermoelectric, C. (21 de 09 de 2007). *customthermoelectric.com*. Obtenido de customthermoelectric.com: <https://customthermoelectric.com/tech-info/te-encyclopedia/what-tec-do-i-have.html>