

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICOS Y DE TELECOMUNICACIONES

**Diseño e implementación de una PCB
para una estación de monitoreo ambiental**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

**LICENCIADA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICOS Y DE TELECOMUNICACIONES**

PRESENTA:

EVELYN LUCERO HERNÁNDEZ

DIRECTOR

MTRO. AGUSTÍN GONZÁLEZ VILLANUEVA

CODIRECTOR

LIC. DAVID VELÁZQUEZ SUÁREZ

Ciudad de México, marzo de 2021.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Lectores y jurado

M. en Ing. Víctor Manuel Macías Medrano
Academia de Física

Dr. Daniel Tapía Sánchez
Academia de Ingeniería en Sistemas Electrónicos y
Telecomunicaciones

Mtro. Enrique Cruz Martínez
Academia de Matemáticas

Agradecimientos

El presente trabajo de va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciones y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mis padres Felipe Lucero y Gregoria Hernández, quienes han iluminado mi vida y por ser mí pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron en está trayectoria. Además por haber sembrado en mí la constancia y el anhelo de superación que me permitieron culminar mí carrera profesional.

A mis hermanas Kinberly, Miriam y Esmeralda aunque en la mayoría de las veces parece que estamos en una batalla, hay momentos en los que la guerra cesa y nos unimos para cumplir nuestros objetivos. Gracias por el apoyo que me han brindado así como todos los momentos en está trayectoria llamada vida.

A Pablo Soto por la ayuda que me has brindado que ha sido sumamente importante, estuviste a mi lado inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas. Siempre estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían.

A la Univerdad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) que me dió la bienvenida y me brindó la oportunidad de seguir con mis estudios a nivel superior, el cual también agradezco por la ayuda económica en la elaboración de esté proyecto.

Agradezco a mí director de tesis Mtro. Agustín González y coeditor Lic. David Velázquez quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientaron en la investigación. Así como el apoyo y la amistad brindada.

Agradezco a los profesores; Dr. Daniel Tapia, M. en Ing. Víctor Macías y el Mtro. Enrique Cruz, por los conocimientos que me han otorgado y por el tiempo que me brindaron para la revisión de esté trabajo.

A todos los mencionados ¡GRACIAS!

Dedicatoria

A Dios por dedicarme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarme cada día más y sobre todo para empezar una nueva etapa es necesario cerrar otra.

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, así que esta obra esta dedicado a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ellos entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis metas.

Especialmente va dedicada a mí que a través del trabajo, esfuerzo, la energía y el valor. Concluí satisfactoriamente esté trabajo y por tanto no hay mejor satisfacción en el mundo por lo que e logrado hasta hoy.

Evelyn Lucero Hernández

Índice general

Lectores y jurado	III
Agradecimientos	V
Dedicatoria	VII
Introducción	XI
Planteamiento del problema	XII
Objetivo General	XII
Objetivos particulares	XII
Antecedentes	XIII
1. Estaciones Ambientales	1
1.1. Historia y Actualidad	2
1.1.1. Orígenes de la Meteorología	2
1.1.2. Estación Meteorológica	3
1.1.3. Clasificación de Estaciones Meteorológicas	4
1.2. Variables Meteorológicas	8
1.3. Sensores	14
1.3.1. Estaciones con Sensores Comerciales vs Sensores de Investigación	16
1.4. PCB y PIC	18
1.4.1. Microcontrolador PIC	21
2. Estación ambiental	25
2.1. Plan de trabajo	26
2.1.1. Objetivos	27
2.1.2. Estrategia	28
2.2. Aspectos Técnicos	29
2.2.1. Selección de la tarjeta principal	29
2.2.2. Placa de desarrollo	30
2.3. Sensores Meteorológicos	36
2.3.1. Sensor Temperatura y Humedad	36
2.3.2. Sensor Presión Barométrica	40
2.3.3. Sensor Real Time Clock	45

2.3.4.	Sensor efecto Hall	52
2.3.5.	Sensor óptico de polvo	55
2.3.6.	Módulo de almacenamiento de datos	56
2.3.7.	Batería recargable	59
2.3.8.	Voltímetro - Amperímetro digital	61
2.3.9.	Herramientas de desarrollo	61
2.3.10.	Prototipo de la estación ambiental	63
3.	Desarrollo del proyecto	67
3.1.	Propuesta del diseño	68
3.2.	Razones para utilizar los componentes	69
3.2.1.	Requerimientos del software	70
3.3.	Implementación del proyecto	70
3.4.	Diseño de la PCB	71
3.4.1.	Implementación del software	72
3.4.2.	Diseño del Esquemático	74
3.4.3.	Ensamble de la estación	86
4.	Resultados y Análisis	89
4.1.	Datos obtenidos	90
4.1.1.	Formato de datos	90
4.1.2.	Transmisión	92
4.2.	Gráficas	94
4.2.1.	Humedad	94
4.2.2.	Temperatura	95
4.2.3.	Presión atmosférica	96
4.2.4.	Polvo	97
4.2.5.	Viento	98
4.3.	Comparativas	99
4.3.1.	Comparativas económicas	99
4.4.	Proyección a futuro	101
	Conclusiones	105
	Índice de cuadros	107
	Índice de figuras	121
	Referencias	123

Introducción

En la actualidad la información meteorológica resulta de gran utilidad en distintas disciplinas como la agricultura, la hidrología, la navegación, entre otras. Así mismo, la observación de estas variables meteorológicas se relacionan con el tiempo y el clima que influyen de cierta manera en las actividades, distribución y productividad de la vida cotidiana sobre un determinado lugar; por ende estas mediciones se obtienen por medio de Estaciones Meteorológicas Convencionales (EMC) asistidas por un observador capacitado.

Por otra parte, el incremento de las redes de estaciones meteorológicas está dada paralelamente con el incremento de las innovaciones tecnológicas así como obtener datos más específicos y exactos en tiempo real, siendo esta una herramienta de apoyo al momento de tomar una decisión con base en los datos climatológicos. Sin embargo, otro aspecto de gran relevancia es la transmisión y recepción de datos que manejan estas estaciones, es decir, el medio de comunicación que utilizan normalmente es por medio de la Wi-Fi, Bluetooth o una memoria de almacenamiento externa o interna; por lo tanto, para facilitar la comunicación entre los microcontroladores, sensores, memorias entre otros dispositivos inteligentes se utiliza el estándar I2C que mediante su metodología de dos líneas: una se encargará de marcar el tiempo de reloj y la otra de sincronizar el intercambio de información.

Tomando en cuenta estos factores en el laboratorio de Cómputo para la Enseñanza de las Ciencias (LACECI) en el plantel San Lorenzo Tezonco de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), se realizó un prototipo de una estación ambiental donde la propuesta inicial era obtener las condiciones climáticas de los alrededores principalmente en detectar las partículas que se encuentran suspendidas en el aire y que son generadas por el cerro del tezontle que se ubica a los costados de la universidad. Considerando lo anterior, este trabajo contiene como objetivo diseñar una placa de circuito impreso en forma de shield utilizando un software libre donde los componentes y conductores estén conectados dentro de una estructura, logrando minimizar el tamaño y mejorar la protección de esta misma respecto a la existente y así pueda ser un prototipo de bajo costo y fácil de utilizar.

Planteamiento del problema

Diseñar y ensamblar una placa de desarrollo de circuito impreso para el prototipo de la estación ambiental LACECI, bajo los principios de la economía y simplicidad, ofreciendo al agricultor o al público en general la facilidad de adquirir una estación a bajo costo en comparación a las estaciones comerciales con la posibilidad de visualizar, almacenar y descargar los datos obtenidos en tiempo real.

Objetivo General

Diseñar e implementar el prototipo existente de una estación meteorológica que nos permita obtener información en tiempo real de un lugar en específico.

Objetivos particulares

1. Mejorar el prototipo existente de la estación ambiental LACECI en base a la placa de desarrollo comercial y definir los módulos de sensores a utilizar.
2. Diseñar y ensamblar la placa de circuito impreso (PCB) mediante un software libre.
3. Diseñar y ensamblar la carcasa de protección de la estación para su uso ya sea exterior o interior.

Antecedentes

Las condiciones climatológicas han tenido dos fines principales. En primer lugar, constituyen una referencia con la que se pueden evaluar las condiciones (en particular las condiciones actuales o recientes) y en segundo lugar se utilizan extensivamente (de forma implícita o explícita) para fines de predicción, como indicador de las condiciones que es probable que se experimenten en un determinado lugar. El conocimiento acerca de la variabilidad climática es de suma importancia en la agricultura, la navegación y en la vida en general, debido a su influencia en la naturaleza y en nuestras vidas. Por lo que el cambio climático es la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. En teoría, son debidos tanto a causas naturales como antropogénicas [1].

Estas variaciones climáticas serían también responsables de alteraciones en el campo gravitatorio terrestre. La gravedad es una fuerza de atracción invisible que tiende a mantener unida la materia. El movimiento relativo de un objeto pequeño, como un satélite, con respecto a otro objeto pesado, como la Tierra, depende de la cantidad de masa que tenga cada uno de los objetos y de cómo esa masa se distribuye.

Pero ¿Por qué suceden las variaciones climatológicas? cabe mencionar que la tierra esta constituida por tres partes fundamentales: una parte sólida llamada litosfera, recubierta en gran proporción por agua (llamada hidrosfera) y ambas envueltas por una tercera capa, la atmósfera. Estas se relacionan entre sí produciendo modificaciones profundas en sus características. La ciencia que estudia, las características, las propiedades y los movimientos de las tres capas fundamentales de la Tierra, es la Geofísica. Por ende la meteorología es una rama de la Geofísica que tiene por objeto el estudio detallado de la envoltura gaseosa de la tierra y sus fenómenos, usando parámetros como: temperatura del aire, humedad, presión atmosférica y precipitaciones pluviales.

El clima es un conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan las condiciones habituales o más probables de un punto determinado de la superficie terrestre.

Las estaciones meteorológicas son instalaciones con propósito de medir y registrar variables meteorológicas. Las estaciones meteorológicas pueden ser: manuales que son monitoreadas por personal capacitado y las automáticas tienen la facilidad de monitorearlas a distancia, es decir, en este tipo de instalaciones la señal se procesa mediante la tecnología de microcontroladores y microprocesadores para ser enviada a través de un sistema de comunicación.

Las estaciones meteorológicas tienen un amplio campo de aplicación como en la aeronáutica, agricultura, navegación y en deportes al aire libre.

En efecto este cambio se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana por lo que cabe mencionar que la agricultura es el sector más afectado por los cambios rotundos, inesperados y drásticos del clima y cada vez será más vulnerable.

Y los más afectados serán las personas que viven en el área rural y por ende nos veremos afectados todos a nivel global, ya que son ellos los que proveen alimentos destinados principalmente al consumo de las grandes ciudades. Esto estima a que debemos estar sujetos a un índice más alto al precio habitual y esto nos conlleva a consumir los productos enlatados del mercado.

Por lo que en este escrito, se presenta el diseño y la implementación de una placa PCB de un prototipo de una estación ambiental implementado por el Laboratorio de Cómputo para la Enseñanza (LACECI).

Capítulo 1

Estaciones Ambientales

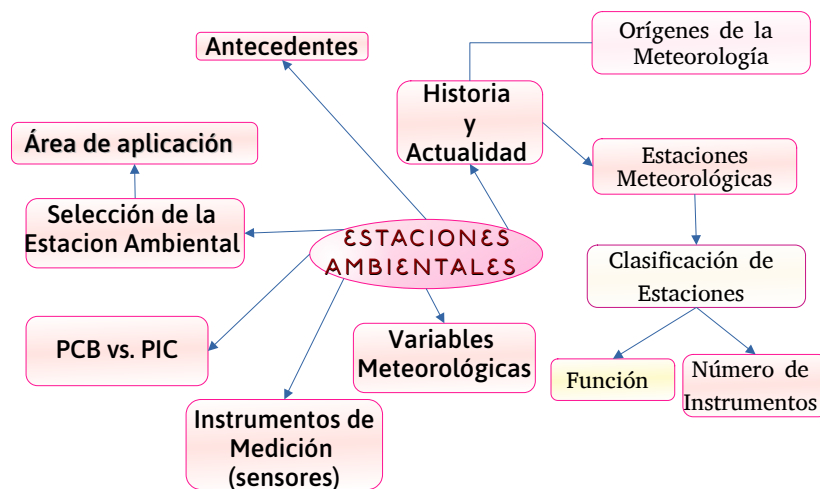


Figura 1.1: DIAGRAMA DE TRABAJO

La figura 1.1 muestra el diagrama conceptual de este capítulo, donde abordaremos lo historia, las definiciones conceptuales, así como las alternativas de la solución del problema, para establecer las especificaciones técnicas de la estación meteorológica

experimental. Por lo tanto el marco teórico proporciona un conjunto de elementos que trabajan por separados tales como: ¿Qué es una estación meteorológica? ¿Qué es una estación ambiental?, variables meteorológicas, instrumentos de medición (sensores), placas de desarrollo, etc. Con base en esto, el resultado es un prototipo de una placa PCB de una estación ambiental que abarca gran parte de estos elementos, además de contar con componentes de hardware y software con un flujo de información entre ambos componentes para brindar al usuario una interface gráfica amigable y de fácil uso, es decir, poder guardar los datos en una base de datos permitiendo la visualización de los datos y así como el monitoreo en tiempo real de los datos actuales.

1.1. Historia y Actualidad

1.1.1. Orígenes de la Meteorología

El ser humano tuvo que convertirse en un observador del medio ambiente para poder sobrevivir, debido a que en esa época se tenía la creencia que los fenómenos atmosféricos eran mensajes o castigos de los dioses. Sin embargo, el humano de aquella época se conformaba con aceptar los beneficios o perjuicios asociados, sin cuestionar los mecanismos o las cosas de los fenómenos.

Un factor de gran importancia fue la agricultura. Cuando el ser humano comienza a cultivar la tierra hace aproximadamente 10,000 años, este acontecimiento permitió el surgimiento de la observación aplicada de los fenómenos meteorológicos. El hombre prehistórico tomó en cuenta los factores meteorológicos y climáticos, tales como la lluvia y la temperatura, para su producción agrícola y para escoger su hábitat.

En la antigüedad, el hombre se dedicaba gran parte del tiempo a observar las características de los fenómenos naturales que lo afectaban, de modo que los podía usar para su beneficio. El tiempo meteorológico tenía gran importancia para las actividades diurnas y era un factor determinante para su alimentación y supervivencia. Aunque es un hecho indiscutible que el clima ha presentado, a lo largo de la historia, variaciones bruscas de temperatura. La posición de los polos ha cambiado y la masa de los continentes está en permanente transformación: también se presentan desviaciones del eje de la Tierra, cambios de la órbita alrededor del sol entre circulares y elípticas, así como los cambios drásticos de la radiación solar [2]. A partir de estos factores surge la metodología donde el ingeniero William Antonio Lozano Rivas la define como "La rama interdisciplinaria de la física atmosférica que estudia el estado del tiempo, el método atmosférico, sus fenómenos y las leyes que lo rigen".

Por lo tanto el estado del tiempo o tiempo meteorológico, hace referencia al con-

junto de características que presenta la atmósfera en un lugar y momento específico como la temperatura, humedad, viento, precipitación, presión, nubosidad, etc. Todas estas variables, sus interacciones y sus manifestaciones tienen lugar en la troposfera (es la capa más baja y es donde se desarrollan la vida y la mayoría de los fenómenos meteorológicos). Por lo tanto el motivo la meteorología es evaluar el estado del tiempo en un instante actual e intenta predecirlo en un futuro cercano.

1.1.2. Estación Meteorológica

Una estación meteorológica es un equipo multifuncional que puede ser empleada tanto en el interior como en el exterior, con el objetivo de medir y registrar diversas variables meteorológicas como la dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa e índice de pluviosidad; también realiza el registro o memorización de tales valores en un tiempo determinado y se utiliza para la elaboración de predicciones a partir de modelos numéricos para estudios climáticos. Algunas estaciones meteorológicas por una parte cuentan con un cálculo automático de punto de rocío, es decir, el momento en el cual se condensará el vapor del agua que hay en la atmósfera que se genera de acuerdo a la temperatura, escarcha, neblina o rocío y por otra tienen funciones para almacenar datos de traspaso a un ordenador.



Figura 1.2: Caseta Meteorológica o Caseta de Stevenson

Las estaciones meteorológicas están compuestas de diferentes medidores, que en conjunto miden magnitudes meteorológicas, y por tanto sirven para la observación del tiempo. Estas se usan para mediciones y pronósticos meteorológicos estatales, pero también se pueden utilizar en el ámbito privado. Existen estaciones meteorológicas analógicas y digitales. Una estación meteorológica analógica se coloca dentro de una

caseta meteorológica o también conocida como Garita de Stevenson como se muestra en la figura 1.2, recibe este nombre debido a su creador el ingeniero civil escocés Sir Thomas Stevenson [3] quien la diseñó con el propósito de proteger los termómetros de la intemperie. Para el año 1866 se instalaron las primeras casetas en el Observatorio de Greenwich (Inglaterra).

La garita se trata de pequeñas cajas de madera o plástico resistente a la intemperie con el objetivo de proteger los instrumentos de medición no solamente de la lluvia y la suciedad, sino que además proporciona valores de medición exactos. Las casetas meteorológicas tienen láminas que permiten el paso del aire, y suelen estar pintadas en su exterior de blanco. Esto contribuye a que los datos de temperatura no sean falseados por la luz del sol; por tal razón la puerta de la garita se orienta al norte con el fin de que el sol no perturbe las medidas de cuando se hacen las lecturas de las distintas variables. Hay que tomar en cuenta que si la caja fuera de color oscuro, a la luz del sol, la caja absorbería más radiación transmitiendo al interior de la garita, lo que aumentaría la temperatura interior con relación al exterior.

Por otra parte las estaciones meteorológicas analógicas o manuales incorporan instrumentos meteorológicos totalmente analógicos que no necesitan corriente y permiten una evaluación más precisa, ya que, están diseñados para medir cada una de las variables de interés (temperatura, humedad, presión atmosférica y lluvia). Además, el operador hace observaciones de la evolución del tiempo que no realizaría con estaciones automatizadas, pero la desventaja es que los datos obtenidos de los sensores meteorológicos se registran en un determinado tiempo y deben ser hechos a mano.

Existen estaciones manuales para el interior y el exterior, según si la estación está protegida para la intemperie o no. Los modelos de interior suelen ser de madera, mientras que del exterior está fabricada de acero inoxidable o de la madera resistente de la intemperie, a la corrosión y van protegidos por un tejado, generalmente cuentan con un hidrograma, un termómetro y un barómetro para medir las variables básicas y por ende se recomienda instalarlas siempre a la sombra.

1.1.3. Clasificación de Estaciones Meteorológicas

Las estaciones meteorológicas se clasifican de acuerdo al número de instrumentos que poseen o por la función que cumplen. La primera clasificación es por el número de instrumentos que posee, y la segunda es por la función que realizan.

Como se muestra en la figura 1.3 (superior) esta clasificación va a depender de los instrumentos de medición que lo conformen, ya que puede ir de dos o más y esto depende de las variables que se desean medir.

- **Estaciones de primer orden, también llamadas tipo A o completas:**

En estas se mide la temperatura, precipitación, nubosidad, viento, presión atmosférica, humedad, evaporación, etcétera.

- **Estaciones de segundo orden, tipo B o termopluviométricas (Tp):** En este tipo de estaciones solo se mide la temperatura y la precipitación.
- **Estaciones de tercer orden, tipo C, pluviométricas (Pv) y pluviográficas (Pg):** Estas estaciones se encargan de medir solo la precipitación.

Sin embargo la segunda clasificación de estaciones se muestra en la figura 1.3 (inferior), esta va a depender de la función que desempeñan en la observación meteorológica.

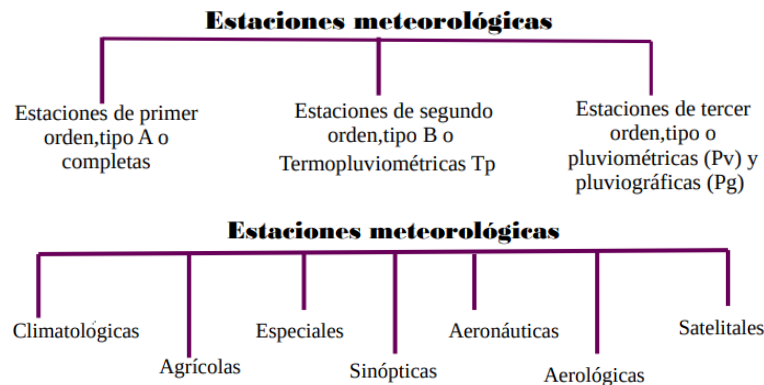


Figura 1.3: Clasificación de estaciones por su número de instrumentos y su función

- **Climatológicas**

Son aquellas cuyos datos se utilizan para determinar las características del clima.

- **Agrícolas**

Una estación agroclimática tiene como objetivo proporcionar datos que permitan un conocimiento de las condiciones del clima en relación con el desarrollo y crecimiento de los cultivos y su manejo. El desarrollo tecnológico ha permitido demostrar que la variación del clima afecta la mayoría de los procesos físicos y biológicos que determinan la calidad y cantidad de la producción agrícola. Conocer el clima oportunamente o con anticipación suficiente es necesario para mejorar la producción o reducir efectos adversos para el cultivo.

El utilizar de manera oportuna y apropiada los registros climatológicos permite los siguientes beneficios agrícolas:

- Realizar un riego eficiente.
- Mejorar la fertilización durante el desarrollo de la planta.

Estos beneficios representan para el agricultor mayor producción, menor costo de cultivo, mayor superficie cultivable, producto de mayor calidad, todo lo cual significa en términos finales, mayor ganancia, menores gastos o menos problemas para el productor agrícola y la población en general.

■ **Especiales**

Este tipo de estaciones meteorológicas son las encargadas de medir variables en mares y océanos. Donde sus instalaciones son más especializadas ya que poseen instrumentos de sondeo como radares meteorológicos para medir la turbulencia atmosférica y la actividad de tormentas, además cuentan con perfiladores de viento y sistemas acústicos de sondeo de la estructura vertical de temperaturas.

■ **Sinóptica**

Las estaciones sinópticas son un conjunto de dispositivos que realizan observaciones de superficie y de la atmósfera libre para los análisis del estado del tiempo a hora fijas establecidas internacionalmente. Los datos de estas estaciones se canalizan de inmediato al centro Meteorológico Nacional y de allí son enviados a través del Sistema Mundial de Comunicaciones para su concentración, intercambio y distribución de los centros meteorológicos Mundiales, Regionales o Nacionales.

Por otra parte la información que suministran las ecuaciones sinópticas pueden ser útiles a la climatología por esta razón se les considera como una estación climatológica.

■ **Aeronáuticas**

Las estaciones aeronáuticas tienen su aplicación en aeropuertos y aeródromos civiles o militares, estas realizan mediciones climáticas las cuales se efectúan durante varias horas al día y son enviadas inmediatamente a un centro recolector de datos; estas observaciones se transmiten a otros aeródromos y los aviones en vuelo, con la finalidad de contribuir y proveer a un normal desarrollo de la navegación aérea segura. En caso de un desastre natural, por medio de la estación se provee información indispensable que permita tomar medidas necesarias para una rápida búsqueda y salvamento de los posibles sobrevivientes.

La disponibilidad de información meteorológica fiable es un factor decisivo para las operaciones de vuelo y en particular para la elección de la ruta y nivel de vuelo. Esta información permite reducir la carga de combustible y el tiempo de duración del vuelo, de esta manera disminuyen los costos operativos logrando muy importantes ahorros gracias a estas predicciones concretas.

Los sensores con los que suelen contar las estaciones meteorológicas aeronáuticas son de: temperatura del aire, punto de rocío, dirección y fuerza del viento, presión barométrica, precipitación, alcance visual en la pista y sensor para medir la altitud.

■ Aerológicas

Las estaciones aerológicas están dedicadas a la observación de la atmósfera libre que miden la temperatura, la humedad, la presión atmosféricas, la dirección y la velocidad del viento a diferentes niveles.

■ Satelitales

Un satélite meteorológico es un tipo de satélite artificial que se utiliza principalmente para supervisar el tiempo atmosférico y el clima de la Tierra. La configuración básica de un satélite meteorológico, consiste en una cámara con la función de fotografiar electrónicamente los sistemas nubosos. La información recibida es enviada rápidamente a la Tierra, debido a que las condiciones meteorológicas pueden variar en poco tiempo. La transmisión de estas imágenes, permiten la suficiente resolución para el trabajo meteorológico.

Los dos tipos básicos de satélites meteorológicos que existen dependen de su órbita que son los geoestacionarios y los polares.

Sin embargo estas clasificaciones nos sirven para formar una Red nacional, la cual se forma mediante un conjunto de estaciones de observación de todas las categorías, es decir, pueden ser climatológica, sinóptica, etc. que cada país instala y opera para satisfacer requerimientos nacionales. Según su función cada una de las estaciones meteorológicas integra una red específica, por ejemplo, una Red Sinóptica, Red Climatológica, Red Agrícola, etc. Estas estaciones meteorológicas automatizadas están distribuidas estratégicamente en una región o zona, las cuales registran en forma continua las condiciones de tiempo atmosférico de cierta región y envía los datos a una base central para ser almacenados e interpretados por el usuario en tiempo real o lo más cercano a lo real.

Normalmente, una selección entre estas estaciones, hecha por la autoridad meteorológica del país, integra una red básica regional y, consecuentemente, también

una red mundial. Por ejemplo, un país puede contar con una red nacional compuesta por 300 estaciones, pero sólo unas cuantas integrarán la red mundial. En el caso de México la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional administra la Red Nacional Meteorológica, la cual está formada por 272 estaciones distribuidas por toda la República Mexicana, de las cuales 84 constituyen la red sinóptica de superficie (ESIMES) y las 188 restantes forman la red de estaciones meteorológicas automáticas (ESMAS). Como ya se mencionó, estas redes de observación son generadoras de información para la modelación meteorológica.

1.2. Variables Meteorológicas

Una variable meteorológica o conocida también como parámetro meteorológico, es toda propiedad con condición de la atmósfera cuyo conjunto define el estado del tiempo (a corto plazo) o del clima (a largo plazo). Las variables más importantes son temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento, estas variables son medidas mediante instrumentos como pluviómetro, termómetro, barómetro, anemómetro, veleta, entre otros [4].

1)► Temperatura

La temperatura es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera, es decir, es el grado de agitación de las moléculas que conforman el aire, sin embargo sabemos que la temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, también entre una ubicación geográfica tomando en cuenta que en invierno puede llegar a estar bajo los 0°C y en verano superar los 40°C .

En otras palabras, la temperatura es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia; entre mayor sea la agitación que presenten, mayor será la temperatura.

El instrumento que se utiliza para, medir la temperatura se llama termómetro que fue inventado por Galileo en 1593. Cabe mencionar que hay diferentes tipos de termómetro pero el más común es el de un tubo graduado de vidrio con un líquido en su interior que puede ser mercurio o alcohol. Sin embargo como toda magnitud física, la temperatura tiene asociadas diferentes unidades de medidas en función de escala que son las siguientes:

* Escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$): Propuesta en 1742 por el astrónomo Anders Celsius, el cual consiste en una división que regula en 100 intervalos, donde el 0 corresponde

al punto de congelación del agua y el 100 es el punto de ebullición y es la escala de medida que se usa habitualmente.

* Escala Fahrenheit (F): Introducida en 1714 por Gabriel D.Fahrenheit, esta escala se utiliza en Estados Unidos. Hay que tomar en cuenta que el termómetro se gradúa entre los 32°F (correspondiente a los 0°C) y 212°F correspondientes a los 100°C).

* Escala Kelvin (K): Introducida por Lord Kelvin en 1848 y es la escala más utilizada por los científicos. Esta escala no tiene valores negativos de la temperatura y su cero se sitúa en el punto donde las moléculas tienen la misma energía térmica. El punto de ebullición del agua corresponde a 373 K y el de congelación a 273 K. Por lo tanto, una variación de 1 grado en la escala Kelvin es igual que una variación de 1 grado en la escala.

Tenemos que tomar en cuenta que para cambiar de una escala a otra, debemos utilizar las siguientes ecuaciones de conversión.

$$F = \frac{9}{5}C + 32^\circ \quad (1.1)$$

$$K = C + 273^\circ \quad (1.2)$$

Otra cuestión importante es a la hora de medir la temperatura del aire ambiente en superficie es saber dónde colocar el termómetro para medir correctamente dicho valor, ya que, la temperatura mínima suele alcanzarse entre 1/2 hora y 1 hora después del sol y la temperatura máxima se alcanza entre 3 y 4 horas después del medio día debido a que en la troposfera (capa que se conecta a la superficie de la Tierra) disminuye en promedio de 6.5°C/Km a esto se le conoce como el gradiente térmico vertical.

2)► Humedad

El agua es uno de los principales componentes de la atmósfera, en la que puede existir como gas, como líquido y como sólido. Por lo tanto, la humedad es una variable meteorológica de suma importancia y se define como la cantidad de vapor de agua presente en el aire.

Esta cantidad no es constante, sino que dependerá de diversos factores; como si ha llovido, si estamos cerca del mar, la abundancia de la vegetación, etc. y también de la temperatura del aire. Conforme la temperatura descienda es capaz de albergar menos vapor de agua; por esta razón aparece el vaho (vapor

que despiden los cuerpos en determinadas circunstancias) cuando respiramos, o el rocío de la noche.

Existen diversas maneras de referirnos al contenido de humedad en la atmósfera:

* Humedad absoluta: Es la masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1m^3 de aire seco.

* Humedad específica: Es la masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1kg de aire.

* Razón de mezcla: Es la masa de vapor de agua, en gramos, que hay en 1kg de aire seco.

Sin embargo, la medida de humedad que más se utiliza es la denominada humedad relativa, la cual se expresa en tanto por ciento se calcula con la siguiente expresión:

$$h = \frac{e}{E}100 \quad (1.3)$$

Donde e representa el contenido de vapor de la masa del aire y E es la máxima capacidad de almacenamiento o presión de vapor saturante. Este valor nos indica la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener una masa de aire antes de transformarse en agua líquida. A esto se le conoce como saturación.

De alguna forma, la humedad relativa nos da una idea de lo cerca que esta una masa de aire de alcanzar la saturación. Por ejemplo, una humedad relativa del 100% es indicativo de que esa masa de aire ya no puede almacenar más vapor en su concavidad, y a partir de ese momento, cualquier cantidad extra de vapor se convertirá en agua líquida o en cristalinos de hielo, esto dependerá de las condiciones ambientales.

3)► **Presión atmosférica**

Es el peso que ejerce el aire que nos rodea sobre la Tierra, es decir, sobre todos los cuerpos debido a la acción de gravedad es, una fuerza por unidad de superficie denominada presión atmosférica, cuya unidad de medida en el Sistema Internacional es el Pascal ($1\text{ Pascal} = 1\text{ N/m}^2$) tomando como referencia la presión atmosférica que existe en el nivel del mar. Sin embargo esta depende de muchas variables como la situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas con sus respectivas condicionantes. Una de estas principales variables es especialmente de la altitud, ya que entre más alto nos encontremos en la atmósfera la cantidad de aire por encima de nosotros

será menor, lo que hará que la presión que esta ejerza sobre un cuerpo ubicado en ese lugar sea menor. Esta importante relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un determinado lugar es fundamental en la información meteorológica, debido a que las nubes, los ciclones, borrascas, vientos, etc. vienen condicionados por los cambios de esta presión.

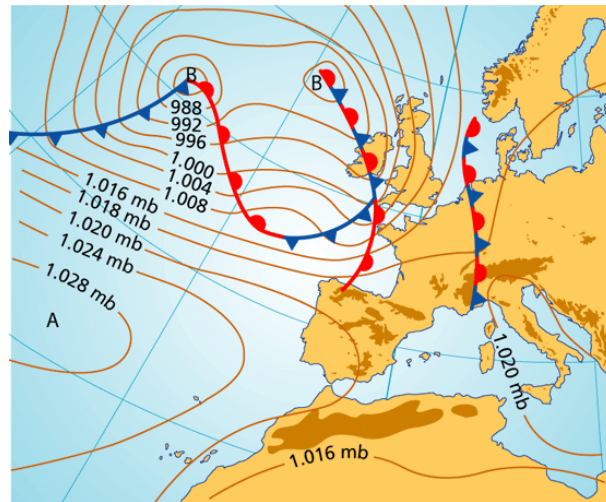


Figura 1.4: Mapa de Isobaras

Hay que tomar en cuenta que para medir la presión de un fluido se utiliza los manómetros, en cambio para medir la presión atmosférica se utilizan los barómetros, como el de Torriceli, uno de los más conocidos. Cabe destacar que los mapas de tiempo que son elaborados por los meteorólogos, están elaboradas con la información recolectada por situaciones atmosféricas que representan los distintos países y zonas de estudio por las estaciones meteorológicas. A los mapeos que representan las líneas de igual presión atmosférica se les denomina isobaras. Ver figura 1.4. Conforme cambia la presión atmosférica, más líneas isobaras habrán en el mapa, tal y como se muestra en dicha figura. Gracias a estos mapeos por lo tanto gracias a estos mapeos es posible determinar el tiempo y cómo irá evolucionando en las próximas horas con un límite de hasta tres días.

4) ► **Viento**

En nuestra vida diaria el viento es una variable meteorológica muy importante que nos afecta debido a las condiciones climáticas, pero también podemos hacer

uso de él para obtener energía. Sin embargo, ¿Qué es el viento? El viento es el movimiento de las corrientes de aire en la relación a la superficie de la Tierra.

El viento es producido por el movimiento de la rotación de la Tierra, el efecto de insolación que se crea con la entrada y salida del sol a través de nuestra atmósfera, junto a las diferencias de la presión atmosférica provoca aires calientes que se dilatan volviéndose más ligeros para después elevarse y su lugar va ser ocupado por aires fríos que lo hacen más pesado. Esta es una variable muy importante para la Tierra y sus habitantes, ya que, sirve como un medio de transporte natural para la migración de los aves. Con las corrientes de vientos y como un vector de polarización abiótico el polen viaja naturalmente en el viento o en el agua para encontrar el órgano femenino y efectuar la fecundación en algunas plantas, por lo que no hay acción animal alguna en ello.

Tipos de viento

De acuerdo con la escala o dimensión del recorrido de los vientos tenemos tres tipos de viento que son: los vientos planetarios, los vientos regionales y los locales, aunque existen otros tipos como los monzones. Estos son un tipo de viento que sopla en Asia meridional; en los meses de invierno, del continente hacia el océano con dirección nordeste y, en los de verano, del océano al continente con dirección sudoeste. Estos son mas difíciles de determinar y que ocupan variantes dentro de esta clasificación. Por lo tanto los vientos globales, constantes o planetarios, se generan principalmente como consecuencia del movimiento de rotación terrestre, que origina un desigual calentamiento de la atmósfera por la insolación y proceden de centros de acción dispuestos en franjas latitudinales de altas y bajas presiones, es decir, de anticiclones y depresiones.

• Vientos regionales

Son determinados por la distribución de tierras y mares, así como por los grandes relieves continentales. Los monzones también podrían considerarse como vientos regionales, aunque su duración en el tiempo y su alternabilidad estacional los convierten más bien en vientos planetarios.

• Vientos Locales

Como los demás tipos de vientos, los vientos locales presentan un desplazamiento del aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión, determinando los vientos dominantes y los vientos reinantes de un área más o menos amplia. Aun así hay que tener en cuenta numerosos factores locales que influyen o determinan los caracteres de intensidad y periodicidad de los movimientos del aire. Estos factores son difíciles de simplificar por su multiplicidad, además que permiten

hablar de vientos locales, los cuales son en muchos lugares más importantes que los de carácter general. Estos tipos de vientos son los siguientes:

- * Brisas marina y terrestre
- * Brisa de valle
- * Brisa de montaña

●Viento catabático

Vientos que descienden desde las alturas hasta el fondo de los valles producido por el deslizamiento al ras de suelo del aire frío y denso desde los elementos del relieve más altos. Aparecen de forma continuada en los grandes glaciares, adquiriendo enormes proporciones en la capa de hielo de Groenlandia y de la Antártida, donde soplan a velocidades continuas que superan los 200 km/h motivado por la ausencia de obstáculos que frenan su aceleración.

●Viento anabático

Vientos que ascienden desde las zonas más bajas hacia las más altas a medida que el sol calienta el relieve.

Las características más importantes del viento son: la velocidad y la dirección.

* Velocidad. La velocidad, esto es la rapidez y dirección de los vientos se mide con el anemómetro, que suele registrar dicha dirección y rapidez a lo largo del tiempo. La intensidad del viento se ordena según su rapidez utilizando la escala de Beaufort, la cual mide la intensidad del viento basándose principalmente en su fuerza, del viento, el estado de la mar y la forma y altura de las olas. Esta escala se divide en varios tramos según sus efectos y/o daños causados, desde el aire en calma hasta los huracanes de categoría 5 y los tornados.

* Dirección. La dirección del viento viene definida por el punto cardinal del cual proviene y al cual se dirige. Las veletas tienen indicadas en la parte inferior las direcciones de los vientos con los puntos cardinales y los puntos intermedios, conformando así lo que se conoce como rosa de los vientos, que se emplean con una brújula en los mecanismos de navegación de las embarcaciones desde hace muchos siglos.

Para poder disponer de medidas directas de velocidad y dirección del viento, los meteorólogos utilizan distintos instrumentos de medida:

Medida de la velocidad horizontal del viento. El instrumento más utilizado es el anemómetro de cazoletas, en el que el giro de las mismas es proporcional a la velocidad del viento. Otro tipo de anemómetro es el tubo Pitot que determina

la velocidad de viento a partir de la diferencia de presión de un tubo sometido a presión dinámica y otro a la presión atmosférica. La unidad de medida es el km/h o el m/s . Sin embargo la velocidad del viento se de forma directa mediante unas palas rotativas o indirectamente mediante diferencias de presión o de velocidad de transmisión de ultrasonido

Medida de la dirección. Para ello se utilizan las veletas, que indican la procedencia geográfica del viento. Hablamos de viento norte, noreste, suroeste, etc. en función de dónde provenga éste.

Normalmente estas son los variables que mide una estación meteorológica o ambiental. Sin embargo, en el prototipo de LACECI las variables que medirá son: la humedad, temperatura, densidad de polvo, presión atmosférica y la velocidad del viento. Asimismo, para realizar estas mediciones se harán uso de los instrumentos de medición llamados sensores de variables meteorológicas.

1.3. Sensores

En la actualidad se ha presentado un incremento de automatización de los complejos sistemas de producción, la cual necesita de la utilización de los componentes que son capaces de adquirir y transmitir la información relacionada con dicho proceso de producción. Los sensores cumplen con estos requerimientos y se han convertido en un componente de suma importancia en la tecnología de medición, ya que proporcionan información al control en forma de variables individuales del proceso como son: temperatura, presión, fuerza, longitud, etcétera.

¿Qué es un sensor?

Un sensor es un dispositivo de medición que detecta y transforma magnitudes físicas o químicas que reciben el nombre de variables de instrumentación o variables de medición que dependerán del tipo de sensor, por ejemplo, la temperatura, presión, fuerza, torsión, distancia, vibraciones, variaciones de tensiones de alimentación y convirtiéndolos en una señal de salida eléctrica.

Sin embargo existen varias formas de clasificar los sensores en digitales (también se le denominan binarios ya que manejan dos valores el 0 y 1) y los analógicos.

A) Digitales (Binarios): Los sensores binarios son aquellos que convierten una magnitud física en una señal binaria, es decir, en una señal eléctrica con base en los estados de “ON”(conectado) y “OFF”(desconectado), como sensor de proximidad, sensor de nivel, termostato, etcétera.

B) Analógicos: Los sensores analógicos son aquellos que convierten una magnitud física a una señal analógica, es decir, a una señal eléctrica de tensión o de intensidad. Por ejemplo, sensores de longitud, distancia, presión, flujo (gases y fluidos), de radiaciones físicas, sustancias químicas, etcétera.

Características de los sensores

- ◆₁ La naturaleza de la señal que el sensor-transductor, es decir, el sensor con el transductor trabajan en conjunto para generar el voltaje, rango de actitud, respuesta de frecuencia, la tensión, convertidor A/D o dependerá de cualquier otro elemento físico a utilizar.
- ◆₂ La influencia de las señales de ruido, así como los efectos de carga de los elementos físicos o materiales para la adquisición de datos sobre el sensor.
- ◆₃ La calibración del sensor con respecto a la variable física, es decir, si la respuesta del sensor a los cambios de la variable física es lineal o no; una calibración mal realizada producirá mediciones erróneas.
- ◆₄ La precisión del sensor debe tener la capacidad de medir el mismo valor repetidas veces en idénticas condiciones.
- ◆₅ El tiempo de respuesta, es el tiempo requerido para responder a un cambio brusco de la variable utilizada.
- ◆₆ El coeficiente de temperatura, éste viene dado por el cambio que se produce en la respuesta del sensor debido al cambio en la temperatura a la cual se encuentra.
- ◆₇ La histéresis va a definir la dependencia a de la salida el sensor de la respuesta anterior y es muy común en sistemas magnéticos y mecánicos.

Por lo tanto es de suma importancia conocer los tipos de sensores y sus características de funcionamiento. Esto permitirá decidir qué tipo de sensores requiere una estación ambiental. En el caso de una estación básica, esta consta de sensores de humedad y temperatura. Sin embargo, los sensores son de gran importancia en las estaciones meteorológicas, ya sean de tipo comercial o de investigación, pues permiten obtener los parámetros de medición en un intervalo de tiempo.

1.3.1. Estaciones con Sensores Comerciales vs Sensores de Investigación

En la actualidad las observaciones meteorológicas cuantificadas son de gran importancia en la agricultura para el incremento de la productividad, por tal razón las estaciones meteorológicas automatizadas son las más utilizadas. Sin embargo, algunas de estas son adquiridas en países desarrollados, provocando que, cuando las estaciones presentan una falla, no puedan ser reparadas por el costo elevado y la falta de conocimiento sobre ellos.

Las estaciones comerciales normalmente están equipadas con sensores para los diferentes ámbitos de aplicación, ya que cuentan con termómetro, higrómetro, barómetro e incluso pluviómetro y además suelen ser estaciones digitales compuestas por un mínimo de dos partes separadas, como son la estación base y los sensores para los valores de medición.

Los sensores de la estación meteorológica se deben colocar en el punto de medición deseado con ayuda del mástil incluido. Allí los sensores trabajan como un registrador de datos recopilando la información y finalmente ésta se transmite a la estación base. La transferencia se realiza bien por radio o por cable directamente a la pantalla. La ventaja de la estación meteorológica digital es seguramente, que los datos se almacenan y se pueden consultar en cualquier momento.

Comúnmente la conexión de estas estaciones son a una PC u ordenador portátil que posibilita por una parte una previsión para varias horas o permite al software analizar y comparar la fluctuación meteorológica mediante gráficos y diagramas a través de un tiempo prolongado. Por consiguiente una estación comercial de base típica se conforma de las siguientes funciones:

Estación con sensores comerciales

- 1) Temperatura interior en grados Celsius o Fahrenheit
- 2) Temperatura exterior en grados Celsius o Fahrenheit
- 3) Humedad relativa interior
- 4) Humedad relativa exterior
- 5) Indicación de la presión atmosférica en inHG o hPa
- 6) Selección de presión atmosférica relativa o absoluta
- 7) Indicación de la pluviometría en mm o inch

- 8) Indicación de la pluviometría para 1 hora, 24 hora, 1 semana, 1 mes o desde la última puesta a cero
- 9) Selección de la velocidad del viento en *mph*, *km/h*, *m/s*, nudos o Beaufort
- 10) Indicación de la dirección del viento
- 11) Indicador de temperatura Wind Chill (sensación térmica)
- 12) Indicación del punto de rocío
- 13) Previsión del tiempo
- 14) Tendencia de la previsión del tiempo
- 15) Aviso de tormenta
- 16) Indicación de los valores meteorológicos
- 17) Funciones de alarma programables para diferentes valores meteorológicos
- 18) Memoriza los valores máximo y mínimo recibidos
- 19) Pantalla LED con iluminación de fondo
- 20) Indicación en 12 o 24 horas Caseta Meteorologica o Garita de Stevenson
- 21) Calendario
- 22) Ajuste de la franja horaria
- 23) Función de ahorro energético
- 24) Posibilidad de montarlo en la pared o instalarlo de pie
- 25) Ajuste permanente de los valores meteorológicos

Estación con sensores de investigación

Una estación con sensores de investigación, analiza las 24 horas los 7 días de la semana y los 365 días del año sin ninguna pausa y con los datos obtenidos se realizan las predicciones meteorológicas (huracanes, ciclones, tornados, etc); e incluso su estudio también se realiza satelitalmente.

Así mismo un ejemplo de una estación de investigación es la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) donde se obtienen datos atmosféricos y ambientales en distintos puntos del país. Estos datos obtenidos son empleados para fines educativos como para investigaciones de meteorología, cambio climático, etcétera.

1.4. PCB y PIC

Inicialmente se requiere conocer la diferencia entre las PCB Y PIC's en tanto a los microcontroladores, ya que, hoy en día el microcontrolador más utilizado en la formación vocacional son las placas de desarrollo que actualmente siguen siendo de gran uso por la variedad que existe. Por tal razón analizaremos las diferencias de estos dos tipos.

La plataformas de desarrollo normalmente son códigos abiertos. Una de las placas desarrollo más utilizadas hoy en día, surgió como un proyecto personal en el Instituto de Ivrea (Italia) en el año 2003 por el estudiante Hernando Barragán. Ahí los estudiantes se dedicaban a experimentar mediante la interacción entre humanos y diferentes dispositivos basados especialmente en microcontroladores, con el objetivo de lograr espacios únicos. Sin embargo, esta placa de desarrollo nació oficialmente en el año 2005 con el propósito de contar con un dispositivo de bajo costo, que funcionará con cualquier sistema operativo y además que pudiese desarrollarse en una placa de software libre dando a los usuarios la autodeterminación de poder modificarlo, ya sea, al momento de ejecutarlo, copiarlo, estudiarlo, distribuirlo e incluso mejorarlo sin la necesidad de pagar permisos al desarrollador original.

Una placa de desarrollo consta de un microcontrolador y una interfaz para programarlo. Está diseñado y construido para que sea muy fácil utilizarlo y en él se pueden desarrollar proyectos multidisciplinarios además de contar con un hardware libre donde sus ficheros esquemáticos están disponibles para descargarse de la página web de dicho proyecto bajo la licencia Creative Commons Attribution Share-Alike [5], el cual es una licencia libre que permite realizar trabajos derivados tanto personales como comerciales siempre y cuando estén bajo la licencia de esta misma.

El hardware de Arduino es una tarjeta que contiene para su interacción con el

usuario trece entradas/salidas digitales de las cuales seis son entradas analógicas y un puerto serial que permite realizar la comunicación con un periférico, además que consta de un puerto serial de conexión USB, un microcontrolador Atmel y también tiene un pulsador que su función es de resetear cualquier falla que exista en los procesos de trabajo con la tarjeta. A continuación se mencionan la función de los pines que conforman la placa.

Entradas y salidas. Existen diferentes versiones y modelos de placas Arduino, pero todas tienen en común una cantidad definida de periféricos de entradas y salidas, esto va a depender de la placa ya que podrá tener más o menos puertos de entrada y salida. Los puertos de entrada son utilizados para ingresar datos que serán procesados por el microcontrolador, en cambio los de salida son donde el microcontrolador entrega el resultado. Una ventaja es que el programador puede configurar cada puerto del microcontrolador para tener el control del puerto, ya sea, como uno de entrada o como uno de salida.

Alimentación. La mayoría de las placas de desarrollo son alimentadas con 5 volts aunque algunas lo pueden hacer con tensiones de hasta 12 volts.

Comunicación. Existen algunos puertos destinados a la comunicación de la placa con algún otro dispositivo, estos son los pines RX y TX, mediante estos puertos se establece la comunicación como por ejemplo, con un display LCD o con el computador para mostrar datos en ella.

Complementos. Los complementos o Shields, brindan una mayor autonomía al programador y/o usuario de la placa, permitiendo un entorno más amigable y simple de trabajar con una placa de desarrollo. Además son de gran ayuda para los programadores, ya que reducen el tiempo de desarrollo y entrega del producto sólido que se puede utilizar fácilmente.

Una parte fundamental de la placa de desarrollo es el microcontrolador que maneja, que puede ser el Atmega168, Atmega238, Atmega1280 o Atmega8 el cual viene montado sobre la placa permitiendo adquirir información del entorno a través de sus entradas análogas y digitales. El modelo del microcontrolador es el ATmega328P de la marca Atmel donde la P final, significa que este chip incorpora la tecnología Pico-power (propietaria de Atmel), permitiendo un consumo eléctrico ligeramente menor comparándolo con el modelo equivalente sin Pico-power, ATmega328 (sin la P). Aunque el ATmega328P puede trabajar a un voltaje menor y consumir menos corriente que el ATmega328, ambos modelos son funcionalmente idénticos, es decir, pueden ser reemplazados el uno por el otro.

Plataforma IDE

El desarrollo integrado del Software o plataforma (IDE) consta de un editor

de texto para escribir el código, además de un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para funciones comunes y una serie de menús que conecta el hardware con el arduino para cargar programas y comunicarse entre ellos. Por otra parte los programas están escritos en un editor de texto, es decir, en sketches (Código que se programa en el microcontrolador para después ejecutarse) o bocetos que se guardan principalmente con la extensión arduino, además de que proporciona la retroalimentación mientras se guarda y se exporta el programa mostrando los errores que se pudieran presentar[6].

Ventajas de utilizar la placa de desarrollo

- 1) **Bajo costo:** Con bajo presupuesto se puede adquirir un kit que contiene los componentes necesarios.
- 2) **Fácil de utilizar:** Cualquier persona desde niños hasta adultos que estén interesados en la programación y en la electrónica pueden utilizarlo.
- 3) **Plataforma abierta:** Como es un código abierto, se pueden construir y desarrollar proyectos con menos límites, ya que permite combinar otras plataformas.
- 4) **Alta flexibilidad:** Permite trabajar en diferentes plataformas informáticas, además de que cuenta con una gran variedad de herramientas para facilitar su uso.
- 5) **Variedad de placas:** Maneja una gran variedad de placas que poseen ciertas similitudes y con diferentes funciones que van a depender del proyecto a realizar.
- 6) **Introducción a la programación:** Debido a su plataforma y a sus sistemas visuales como el scratch, es mas fácil a programar desde cero sin la necesidad de un código.
- 7) **Hardware y Software ampliable:** Gracias a que es un código abierto, posee grandes posibilidades de crear cualquier tipo de proyecto desde básicos hasta profesionales.

Desventajas de utilizar la placa de desarrollo

Dado que la programación no se realiza en ensamble, el precio a pagar por el uso de las librerías ocasiona un retraso en la ejecución de las instrucciones, donde el retraso de unos microsegundos en los dispositivos de uso cotidiano son irrelevantes, pero significativos a la hora de hacer adquisición de datos.

Po lo tanto, las placas de arduino cuanta con entradas tanto analógicas y digitales que permiten la lectura de sensores en base a un lenguaje de programación, por lo

que son dispositivos que relacionan el mundo físico con el virtual, así como de análogo a digital.

1.4.1. Microcontrolador PIC

Un microcontrolador es un circuito integrado digital que contiene todos los elementos de un procesador digital que realiza diferentes tareas, especialmente de control y de comunicación. Por lo tanto, contiene sólo un circuito integrado el mismo microcontrolador además de la memoria de datos, la memoria que programa y las unidades de entrada/salida, lo que lo hacen más compacto, económico y fácil de utilizar.

En la actualidad los microcontroladores son más utilizados debido a la ventajas y facilidad de diseñar circuitos con ellos, además de que existe una amplia gama de fabricantes de microcontroladores. Entre ellos están: Microchip, Intel y Atmel. Los microcontroladores o PIC son ampliamente usados por su fácil uso, bajo costo y sobre todo por la facilidad de encontrar el software y hardware para el desarrollo de proyectos. La manera de operación de un microcontrolador es por medio del número de bits de las combinaciones binarias con las que se realizan la operaciones aritméticas o lógicas en un solo ciclo de instrucción. Los microcontroladores más utilizados son los de 8 bits o también denominados octetos, en comparación con los de 16 y 32 bits que reservan informaciones binarias de un número elevado de bits al momento de trabajar en las aplicaciones.

Principalmente los microcontroladores de la marca Microchip son los que han tenido un mayor auge en los últimos años, ya que son dispositivos que se conforman desde 6 pines hasta los 100 pines; además maneja microcontroladores de 8 bits que se dividen en cuatro grupos que son: baja, media, alta y mejorada. Esta gama es de lo más sencillo, ya que existe una gama superior que es de 32 bits.

Características Generales de los PIC

1) Arquitectura Interna

Comúnmente utilizan la arquitectura Harvard, que es un procesador digital secuencial sincrónico que se caracteriza por tener una unidad de control con un sistema secuencial que posee un contador de entrada y salida en paralelo, es decir, se caracteriza por la memoria de programa que genera la dirección de la memoria de datos. Esta memoria de datos está estructurada en palabras de ocho bits y la memoria de programa en palabras de 12, 14 ó 16 bits.

Sin embargo para la ejecución de instrucciones se aplica la segmentación o la búsqueda y ejecución simultánea de instrucciones, lo que permite que el procesador realice al mismo tiempo la ejecución de una instrucción y la búsqueda siguiente

logrando que todas las instrucciones dadas, menos la de salto se ejecuten siempre en un ciclo de instrucción.

2) Repertorio de instrucciones

Utiliza procesadores de tipo RISC o conocido como un conjunto reducido de instrucciones de computadora, por lo que las instrucciones son de características determinadas, además de que el número de estas dentro del repertorio son reducidas. Por lo tanto, el número de instrucciones es diferente para cada gama.

3) Memoria

Poseen una memoria RAM de datos volátil de pequeña capacidad comprendida entre los 25 y 3840 octetos que va a depender del modelo, y se direcciona por una memoria no volátil como EPROM, OTP, EEPROM o FLASH que contiene el programa.

4) Programación

La programación se realiza mediante un canal de comunicación serie denominado ICSP (IN. Circuit Serial Programming) que se compone fundamentalmente por una línea de datos y una de reloj.

5) Clasificación

Los microcontroladores PIC se clasifican en cuatro gamas que son: la gama baja (base line) el cual posee instrucciones de 12bits, la gama media (Mid range) de 14 bits y la gama alta (High End) con una versión mejorada de 16 bits. Cada gama se diferencia por el número de bits de sus instrucciones.

La placa de desarrollo no es mejor que un microcontrolador ni viceversa. Un microcontrolador se necesita programar desde cero con un lenguaje de programación C++ que permita modificar sus registros internos, fusibles; además de que obliga al usuario a conocer mejor el hardware y sus características eléctricas por medio de su hoja de especificaciones. Hay que mantenerse actualizados en plataformas, compiladores, en nuevos microcontroladores y por ende, se necesita más tiempo y conocimiento para su utilización.

En cambio la placa de desarrollo es más flexible, debido a que sus librerías permiten el múltiple desarrollo de aplicaciones de manera simple y rápida, ya que son las que realizan el trabajo duro permitiendo que el tiempo de desarrollo sea menor.

Dicho lo anterior, se pretende realizar un prototipo de una estación ambiental que de acuerdo a la clasificaciones que se mencionaron es una estación de primer orden.

Siendo, está de gran utilidad para lo toma desiciones con respecto al clima, pese a que no se puede controlar el clima, es de vital importancia mantenerse informado de las condiciones climatológicas ante cualquier eventualidad ambiental.

Capítulo 2

Estación ambiental



Figura 2.1: DIAGRAMA DE TRABAJO

La figura 2.1 muestra el diagrama conceptual para el desarrollo e implementación de la estación meteorológica, el cual seguiremos como método y procedimientos del

desarrollo propuesto.

2.1. Plan de trabajo

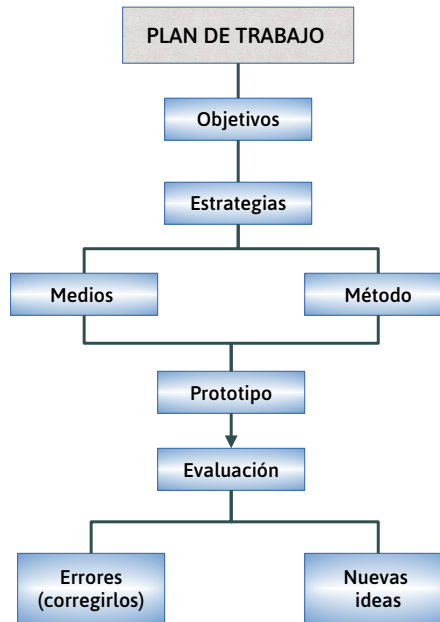


Figura 2.2: Plan de trabajo

A lo largo de la vida, los cultivos dependen completamente de las condiciones climatológicas, es decir, de los parámetros ambientales del terreno, el cual es un factor de gran importancia para el crecimiento de las siembras. Por esta razón en México se abandonan los campos agrícolas en las zonas rurales, por falta de interés por cultivar y sembrar las tierras, debido a que más del 60 % de la superficie es árida o semiárida y con base en ello, la mayoría de los agricultores cultivan en temporal y sólo pocos lo hacen con sistemas de riego. Otro factor es el uso de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas químicos.

Como se ha dicho, en la agricultura es fundamental el control de ciertos factores ambientales como; la pluviometría, la humedad y temperatura relativa, la radiación e incluso la velocidad del viento que se asocia a ráfagas o tormentas. Con base en estos factores se toman las decisiones para calcular las posibles problemáticas que puedan surgir en la siembra y el riego.

Al ser impredecible el comportamiento del clima, en la agricultura es conveniente informarse de las condiciones climatológicas para poder enfrentar cualquier eventualidad ambiental. Considerando estas condiciones, la problemática a resolver es diseñar y ensamblar un prototipo de una estación ambiental bajo los principios de la economía y simplicidad, ofreciendo al agricultor la facilidad de adquirir una estación a bajo costo en comparación con las estaciones comerciales, siendo éstas últimas las más costosas. Existe además la posibilidad de visualizar, almacenar y descargar los datos obtenidos (humedad, temperatura, velocidad del aire y densidad de polvo) en tiempo real, ya que el diseño deberá ajustarse a condiciones ambientales que se exigen en las zonas agrícolas localizadas en la periferia de la Ciudad de México. Por ejemplo, el material de la carcasa podría hacerse de policarbonato e incluso acrílico y así garantizar una resistencia y protección a los sensores cuando se encuentren a la intemperie.

Mientras que los datos obtenidos por los sensores son de gran utilidad para el agricultor, como como los de humedad, factor climático difícil de controlar en los cultivos, debido a que los niveles fluctúan con el cambio de temperatura, ocasionando enfermedades en las raíces, pérdida en la calidad y producción. En relación con esto, la estación estará integrada por un grupo de sensores controlados por una placa Arduino que a su vez será capaz de almacenar los datos en una micro_SD; asimismo se diseñará una placa PCB (tipo shield) donde se montarán los sensores, y la estación contará con su fuente de energía propia. Con base en ello, se seguirá la secuencia de la figura 2.2 para la realización de este proyecto.

2.1.1. Objetivos

- Diseñar un prototipo de una estación ambiental basado en una placa de desarrollo comercial y definir los módulos de sensores a utilizar.
- Se montarán y programarán los sensores de la estación para obtener los datos correspondientes de cada uno.

Se realizarán las pruebas correspondientes para el funcionamiento adecuado de la estación.

2.1.2. Estrategia

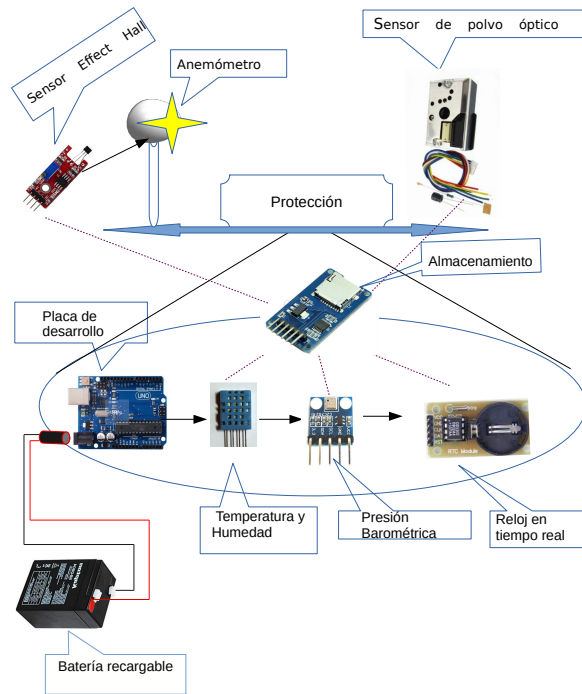


Figura 2.3: Diagrama del prototipo de la estación ambiental

En cuanto a la elaboración de este prototipo, se hará uso de la tecnología inteligente (SMART, por sus siglas en inglés) la cual que permite que los sensores contengan datos de calibración de fábrica; es decir, cada vez que se instale el sensor permitirá que la información de control pueda ser descargada e instalada de forma automática. Los sensores que utilizarán en la implementación del prototipo pertenecen al área de medición inteligente o SM (Smart Metering por sus siglas en inglés) siendo un tema de gran importancia en la industria; más aun, tiene el potencial de satisfacer las necesidades de proveer la información y así dar paso a la innovación de desarrollo de placas electrónicas a bajo costo. SMART es un concepto que se usa

en electrónica y se relaciona con lo programable y lo funcional; en otras palabras, se hace uso de las plataformas con microcontroladores como Arduino, Raspberry Pi.

Arduino permite gestionar sistemas de control e interfaces de I/O (Input / Output, por sus siglas en inglés). Cuenta con una variedad de tarjetas y en conjunto con la plataforma, ofrece múltiples paquetes, bajo consumo energético, así como flexibilidad y compatibilidad al momento de integrar funciones adicionales con otros sistemas electrónicos.

En el diseño y la implementación del proyecto se toma en cuenta el hardware y software a utilizar, cuya finalidad es realizar un prototipo capaz de procesar cada una de las propiedades y características de las variables de medición en determinados intervalos de tiempo. Se debe tomar en cuenta que los sensores que se necesitan para obtener el prototipo que se muestra en la figura 2.3, se encuentran disponibles en el mercado.

Como se puede observar en la figura 2.3 los componentes que se utilizarán para la estación ambiental son: una placa de desarrollo, siendo esta la arquitectura principal del sistema, dentro de la gama de sensores se encuentran los siguientes; polvo óptico mod. GP2Y1010AU0F, humedad y temperatura, presión barométrica, efecto Hall. Además contará con un módulo de almacenamiento micro_SD y un reloj en tiempo real, de manera que los datos obtenidos sean confiables.

2.2. Aspectos Técnicos

A continuación se tratan los aspectos técnicos de cada uno de los elementos utilizados para llevar a cabo el prototipo de la estación ambiental, analizando las especificaciones técnicas de cada uno.

2.2.1. Selección de la tarjeta principal

Para llevar a cabo este proyecto se cuenta con la disponibilidad de usar la tarjeta Arduino UNO R3, perteneciente a la familia Arduino, por lo que se hizo la comparación entre las placas de desarrollo comerciales, ya que en la actualidad existen diferentes placas de desarrollo, así como diferentes tipos de microcontroladores y sobre todo en la capacidad de memoria, por lo que ofrecen una funcionalidad similar. En la figura 2.4 se muestran las características técnicas de las tarjetas Arduino.

Con base a la figura 2.4 se observa que son tarjetas de desarrollo basadas en los microcontroladores de Atmel, además que las características de alimentación son las mismas; es decir, tanto el voltaje de entrada recomendado y el voltaje de operación, así como físicamente pueden ser muy semejantes. Sin embargo, se decidió utilizar

Modelo	Arduino UNO	Arduino DUE	Arduino Leonardo	Arduino Mega 2560	Arduino Mega ADK	Arduino NANO
Microcontrolador	ATmega328P	AT91SAM3X8E	ATmega32u4	ATmega2560	ATmega2560	Atmel ATmega168
Voltaje operativo	5V	3.3V	5V	5V	5V	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 – 12 V	1 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V
Pines de entrada/salida digitales	14 salidas (6 son salidas PWM)	54 pines (12 son salidas PWM)	20 pines (7 son para)	54 pines (14 proveen salida PWM)	54 pines (15 proveen salida PWM)	14 pines (6 proveen salida PWM)
Pines de entrada/salida analógica	6 pines	12 pines de entrada y 2 de salida	12 pines	16 pines	16 pines	8 pines
Memoria flash	32KB (ATmega328) de los cuales 0.5KB son usados por el Bootloader.	512 KB (disponible completamente)	32 KB (4 KB son usados por el Bootloader)	256 KB (8 KB usados para el Bootloader)	256 KB (8KB usados para el Bootloader)	32 KB (16KB son usados para el Bootloader)
SRAM	2 KB (ATmega328)	96 KB (2 bancos de 64 KB y 32 KB).	2.5 KB	8 KB	8 KB	1 KB
EEPROM	1 KB (ATmega328)	-	1 KB	4 KB	4 KB	512 bytes
Velocidad del reloj	16 MHz.	84 MHz.	16 MHz.	18 MHz.	16 MHz.	16 MHz.
Corriente DC máxima en el pin de 3.3 v	50 mA	800 mA.	40 mA.	50 mA.	50 mA.	
Corriente DC máxima en el pines entrada/salida	40 mA.	130 mA.	50 mA.	40 mA.	40 mA.	40 mA

Figura 2.4: Se seleccionó la tarjeta de entre otras por la disponibilidad de puertos, costo y accesibilidad.

una placa de desarrollo comercial con un microcontrolador Atmega328P por la compatibilidad que tiene con los shields que existen y ofrece un entorno de desarrollo agradable, con un lenguaje de programación sencillo y completo. A continuación se aprecian con más detalle las características de esta placa de desarrollo comercial.

2.2.2. Placa de desarrollo

La placa de desarrollo es una tarjeta que está basada en un microcontrolador modelo ATmega328P de la marca ATmel. Esto significa que la “P” de este chip incorpora la tecnología picopower, la cual permite el consumo eléctrico sensiblemente menor; es decir, trabaja a un menor voltaje y consume menos corriente, en comparación al modelo equivalente sin el picopower. Este microcontrolador consta de tres memorias que son las siguientes:

I) **Memoria Flash:** La capacidad de memoria flash que tiene este microcontro-

lador es de 32KB (tomando en cuenta que un kilobyte es igual a 1024 bytes) donde se almacena temporalmente el programa que ejecuta el microcontrolador hasta que se reescriba nuevamente. En la placa arduino la capacidad de memoria disminuye, ya que, 512 Bytes son ocupados por un código programado ya de fábrica llamado bootloader o gestor de arranque, el cual permite utilizar el arduino de forma más sencilla.

- II) **Memoria SRAM:** Es una memoria volátil donde instantáneamente se almacena el programa independientemente de la memoria flash, ya que éste manipula la información para su correcto funcionamiento. El ATmega328P tiene una capacidad de 2Kb, donde cada dato que almacena, ya sea de valor numérico o algún otro carácter, será eliminado cuando se deje de alimentar eléctricamente al microcontrolador.
- III) **Memoria EEPROM:** En esta memoria se graban los datos una vez que se apaga el microcontrolador para su uso posterior. En el microcontrolador tiene una capacidad de 1 KB; es decir, se entiende como una tabla con 1024 posibilidades de posiciones de un byte cada una.

El microcontrolador se programa usando el “Arduino Programming Language” (basado en Wiring) y el “Arduino Development Environment” (basado en Processing). Las placas se pueden ensamblar a mano o cargarlas preensambladas; el software se puede descargar gratuitamente y una de las principales ventajas que tiene, es que los diseños de referencia archivos CAD del hardware están disponibles bajo licencia open-source, es decir, son libres para poder adaptarlas.

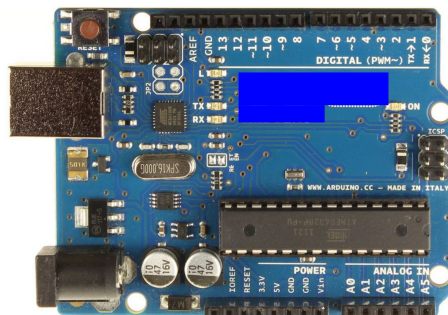


Figura 2.5: Placa de desarrollo comercial

Alimentación

La placa de desarrollo puede alimentarse a través de la conexión USB o por una fuente de energía externa. La fuente de energía se selecciona mediante el jumper PWR-SEL donde la alimentación externa puede ser desde un adaptador AC-a-DC (wall-wart) o una batería. No obstante, la placa puede operar con un suministro externo de 6 a 20 volts. En caso de exceder los 12 volts, el regulador de tensión puede llegar a sobre calentarse dañando la placa, por lo que el rango de operación es de 7 a 12 voltios. Los pines de alimentación que maneja esta placa son los siguientes:

VIN: La entrada de la tensión de la placa Arduino cuando se encuentra en uso la fuente de alimentación externa, se puede suministrar la tensión a través de este pin.

5V: Es el voltaje de suministro regulado de energía usado para alimentar al microcontrolador y otros componentes de la placa. Este puede ser suministrado a través del VIN por medio de un regulador en la placa, por USB u otro suministro regulado a 5V.

3.3V: Este suministro de 3.3v es generado por el chip FTDI de la placa y su corriente máxima es de 50mA.

GND: Son los pines de tierra.

Entrada y Salidas

Una placa que consta de 14 pines de entrada y salida, de los cuales 6 son usados como salidas con una modulación por ancho de pulso PWM (por sus siglas en inglés, Pulse Width Modulation) es un tipo de señal de voltaje que se utiliza para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. Principalmente este tipo de señales sean cuadradas o sinusoidales, son muy utilizadas en circuitos digitales para emular una señal analógica. Dicha señal se emula mediante el cambio del ciclo de trabajo, de tal manera que el valor promedio de la señal sea el voltaje máximo que se desea obtener; es decir, se envían voltajes desde los 0V y el máximo que soporta el dispositivo a utilizar o en caso de la placa es a 5 volts.

Los pines usan las funciones de `pinMode()`, `digitalWrite()` y `digitalRead()` que operan a 5 volts, además de que cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40mA y cuentan con una resistencia interna de "pull-up" de 20-50 K Ω (que se encuentra desconectada por defecto). Tomando en cuenta que algunos pines tiene funciones especiales como:

Serial: 0 (Rx) y 1 (Tx), donde Rx es para recibir y Tx para transmitir datos TTL en serie que se encuentran conectados a los pines correspondientes del chip FTDI USB-a-TTL Serie.

Interruptores externos: Son los pines 2 y 3 que pueden ser configurados para disparar un interruptor con un valor bajo, obteniendo un margen creciente y decreciente o simplemente un cambio de valor.

PWM: Son los pines 3, 5, 6, 9, 10 y 11 que proporcionan la salida de la modulación PWM de 8 bits con la función `analogWrite()`. Maneja, voltajes de 0V a 5V con una frecuencia de 500Hz tomando en cuenta que en los pines 5 y 6 la frecuencia es aproximadamente el doble.

SPI: Son los pines 10 (SS), 11 (MOSI) y 13 (SCK); estos soportan la comunicación SPI, la cual es proporcionada por el hardware subyacente que actualmente no se encuentra incluida en el lenguaje de Arduino.

Así mismo, la placa de desarrollo consta de 6 entradas analógicas, de las cuales cada una proporciona 10 bits de resolución. Por defecto miden 5 voltios desde tierra, aunque es posible cambiar el valor más alto de su rango usando el pin `AREF` y algún código de bajo nivel. Además, algunos pines tiene una funcionalidad especializada como son:

- a) **I² C:** Son los pines 4 (SDA) Y 5 (SCL) que soportan la comunicación I² C (TWI) usando la librería `Wire5`.
- b) **AREF:** Es el voltaje de referencia para las entradas analógicas, que utiliza la función `analogReference()`.
- c) **Reset:** La función de este es poner la línea a LOW para formatear o resetear el microcontrolador. Típicamente se usa para añadir un botón de rest a dispositivos que bloqueen la palanca principal.

Comunicación

Al momento de transmitir un conjunto de datos de un componente electrónico a otro se establece un protocolo de comunicación o reglas que permiten que dos dispositivos se comuniquen entre sí mediante la transmisión de variación de alguna magnitud física sea tensión o voltaje. Estas reglas nos permiten establecer la sintaxis, la semántica, la sincronización y la metodología al momento de recuperar errores.

La placa de desarrollo tiene un número de infraestructuras para comunicarse con un ordenador, con otra placa e incluso con otros microcontroladores. Por lo que en conjunto con el microcontrolador ATmega328P se utilizan los siguientes protocolos de comunicación I² C/TWI y el SPI.

1. Protocolo I² C/TWI

Inter-Integrated Circuit o también conocido como TWI (por sus siglas en inglés, Two-Wire que significa dos cables), fue propuesta en la década de 80, por Philips para permitir la comunicación digital entre los diferentes componentes de un sistema electrónico. Este es muy usado principalmente en la industria para la comunicación de circuitos integrados entre sí, cuya principal característica es que utiliza dos líneas para transmitir información. Una es la línea datos seriales (SDA-Data serial, por sus siglas en inglés) que transfiere los datos en un rango de 0s y 1s y la segunda, es la línea del reloj serial (SCL o CLK-Serial clock por sus siglas en inglés) que envía la señal de reloj, es decir, una señal binaria con frecuencia periódica, precisa; coordina y sincroniza los emisores y receptores de tal manera que sepan cuándo empieza, cuánto dura y acaba la transferencia de información.

Cuando se conecta un dispositivo al bus o puerto I² esta va a tener una dirección única y va estar configurado como maestro y esclavo, donde un dispositivo maestro, como lo señala Torrente Artero Óscar (2013), es el que inicia la transmisión de datos y genera la señal de reloj. Pero no necesariamente el dispositivo tiene que ser el maestro, que pueden ir intercambiando ordenadamente los dispositivos, y para que funcionen correctamente, tanto la línea SDA como SCL, necesitan estar conectadas mediante una resistencia pull-up a la fuente de alimentación común que generalmente provee un voltaje de 5V a 3.3V.

Por último, la velocidad de transferencia de datos es de 200kbits por segundo en un modo estándar posee a que solo hay una única línea de datos. La transmisión de la información es half duplex, la comunicación solo puede ser establecida en un sentido y al mismo tiempo, así que al momento que un dispositivo empiece a recibir un mensaje tendrá que esperar que el emisor termine para poder responder.

2. Protocolo SPI

Serial Peripheral Interface (SPI por sus siglas en inglés) es un protocolo de comunicación síncrono desarrollado por Motorola en el año 1982. Este permite el control a distancias cortas de casi cualquier dispositivo electrónico digital que acepte un flujo de bits serie regulado por un reloj, permitiendo alcanzar velocidades altas. El tipo de comunicación es de full duplex, ya que permite mantener una comunicación bidireccional mediante el envío y la recepción de mensajes de forma simultánea. Por consiguiente, cuando se conecta un dispositivo al bus SPI puede ser maestro que genera la señal de relo, además de que

reinicia la transmisión de datos y el esclavo que es el que limita la respuesta.

Para la comunicación este requiere de cuatro cables o líneas en comparación al I². La primera línea es SCK encargado de enviar la señal de reloj generada por el maestro actual a todos los dispositivos; la segunda es la SS, la cual es utilizada por el maestro para seleccionar el momento de la comunicación entre el dispositivo esclavo y los que puedan estar conectados, ya que solo puede transferir datos con un solo esclavo a la vez; la tercera línea se le conoce normalmente como MOSI, esta se utiliza para enviar los datos 0s y 1s desde el maestro hacia el esclavo elegido, y la cuarta línea es el MISO; esta envía datos en sentido contrario donde la respuesta es esclavo al maestro.

Microcontrolador	Atmega328P
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada(recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada(límite)	6-20V
Pines digitales de E/S	14(de los cuales proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógicos	6
Corriente DC por pin E/S	20mA
Memoria Flash	32Kb donde 0.5Kb son usados en el Bootloader
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Frecuencia de reloj	16MHz.
Tamaño	68.6mm X 53.4mm
Peso	25g

Cuadro 2.1: Características técnicas Arduino UNO R3

Por lo tanto, el protocolo SPI es más rápido que I², ya que los mensajes son más grandes. Al igual que el puerto I² Arduino tiene las bibliotecas integradas SPI para

ser utilizadas en diferentes aplicaciones donde los pines de desarrollo del protocolo en el Arduino UNO son 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) Y 10 (SS Slave).

Características de la placa de desarrollo comercial

En el cuadro 2.1 se muestran las características técnicas que proporciona la placa de desarrollo que se debe tener en cuenta principalmente el voltaje de operación así como el número de puertos disponibles.

Protección de sobrecarga del USB

La placa de desarrollo consta de un fusible reseteable, cuya función es proteger los puertos USB del ordenador de cortes y sobrecargas. No obstante, la mayoría de los ordenadores proporciona su propia protección interna, donde el fusible proporciona una capa de protección extra. Por ende, si se aplica una corriente de 500mA al puerto USB, el fusible automáticamente reaccionará rompiendo la conexión hasta que el corte o la sobrecarga sean eliminados.

2.3. Sensores Meteorológicos

Las predicciones meteorológicas condicionan importantes sectores productivos, tales como la agricultura. Por lo tanto, los sensores meteorológicos son instrumentos de gran importancia para obtener información que sea útil para estos sectores. Pero ¿Qué es un sensor meteorológico? La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) [9] La define como un “dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud meteorológica y transformarla en otra, en muchos casos eléctrica, que se pueda cuantificar y procesar para facilitar su comprensión”. Al agrupar varios sensores en una misma instalación se conforma una estación meteorológica que con los equipamientos adecuados, pueden conformar a su vez redes de observación meteorológica más o menos amplias o con diferentes propósitos y resolución. Cabe mencionar que a la hora de implementar una estación meteorológica es importante conocer el tipo de sensores a utilizar así como la función que tiene, para obtener así los datos.

2.3.1. Sensor Temperatura y Humedad

Actualmente, las magnitudes más medidas por los sistemas de adquisición de datos meteorológicos es la temperatura. Para medir la temperatura se utilizan distintos

sensores cuyo montaje dependerá de la precisión de su estructura interna. Los termistores, por ejemplo, son sensores que son sensores resistivos de temperatura, cuyo funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura, ya sea de tipo NTC (coeficiente de temperatura negativa) o PTC (coeficiente de temperatura positiva); otra opción sería usar un sensor analógico el LM35 que realiza medidas mediante una entrada y salida analógica al Arduino. Por último, se puede usar un sensor de temperatura con salida digital, con la ventaja de que sus bibliotecas ya se encuentran desarrolladas para funcionar en la plataforma Arduino; dentro de esta gama encontramos el DHT11 que es el sensor que se utilizará en este proyecto por su bajo costo, fácil manejo y conexión[10].

Rango de medición	Humedad 20-90 % RH Temperatura 0 – 50°C
Presión de humedad	5 %
Presión de temperatura	+2°C
Resolución de temperatura	0.1°C
Resolución de humedad	1 % RH
Frecuencia máxima	1Hz velocidad de muestreo (una vez cada segundo)
Alimentación	3.3V - 5V
Corriente máxima	2.5mA durante la conversión
Dimensiones	15.5mm x 12mm x 5.5mm

Cuadro 2.2: Características técnicas sensor DHT11

El sensor DHT11 está integrado por un medidor capacitivo de humedad, un termistor y un circuito digital de acondicionamiento y transmisión, que permite enviar digitalmente al sistema de control, el valor de la temperatura y de la humedad con una salida de señal digital calibrada, además de que se conecta a un microcontrolador de 8 bits de alto rendimiento, donde los coeficientes de calibración programados son almacenados en la memoria OTP (One-Time Programmable) con una velocidad entre lecturas de 2 segundos.

Características técnicas

En el cuadro 2.2 se muestran las características técnicas que proporciona el sensor de Temperatura y Humedad (DHT11), el cual será de gran importancia para su correcta ejecución.

Protocolo de comunicación

El sensor DHT11 tiene un protocolo de comunicación propio tipo bidireccional llamado Interface Serial (Single- Wire Two - Way) siendo un formato de un solo hilo y utilizado para la comunicación y la sincronización del sensor al microcontrolador.

Para explicar mejor la forma de comunicación del sensor nos basaremos en las gráficas obtenidas en la hoja de especificaciones del sensor.

Proceso general de comunicación

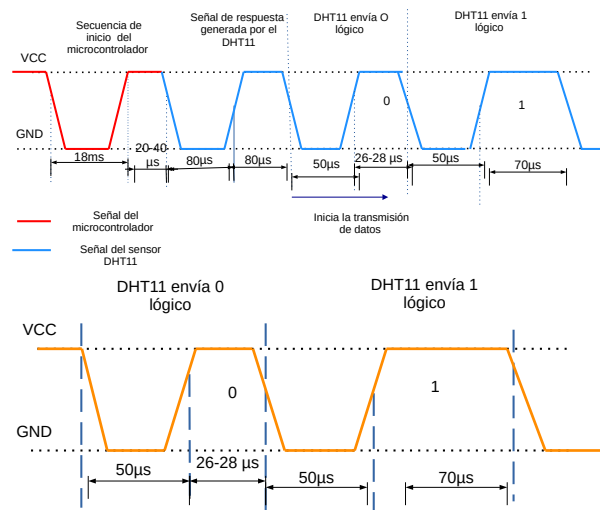


Figura 2.6: Proceso de comunicación en DHT11

El proceso de comunicación general ver 2.6 (superior) consiste en lo siguiente: cuando el microcontrolador empieza a enviar la señal y al mismo tiempo el sensor cambia de modo de consumo de energía bajo a modo de ejecución, manteniéndose en este estado aproximadamente por 18ms hasta que el microordenador complete la señal de inicio; es decir, una vez completada la señal, el sensor envía una señal de

respuesta con un pulso bajo de 80ms con un tamaño de información de 40 bits que incluye la información de la humedad y la temperatura relativa al microcontrolador.

Una vez que se recopilan o se leen los datos, el sensor cambiará nuevamente a su estado de nivel de consumo de energía bajo hasta que reciba nuevamente la señal de inicio. Tomando en cuenta que debe de existir comunicación entre el MCU y el sensor, ya que, sin esta comunicación el sensor no dará señal de respuesta al MCU.

La codificación de datos que utiliza se basa en un esquema de ancho de pulso, es decir, va a depender de la longitud del pulso alto. En la figura 2.6 (inferior) se muestra esta codificación, donde cada bit comienza con un pulso bajo de 50us aprovechándolo para sincronizar la librería con la señal del sensor. Posteriormente el pulso alto dependerá del estado lógico o el valor del bit que el sensor desee transmitir, ya que puede utilizar pulsos de 26 a 28 ms para obtener un “0” y los pulso de 70 ms para obtener un “1” y así sucesivamente hasta que obtenga los 40 bits de información.

Por último, la transmisión comienza una vez que esté completo el tamaño de datos que el sensor proporciona siendo este de 40 bits o equivalente a 5 byte. Donde cada byte proporciona los siguientes datos:

- a) 1 byte que se recibe es la parte entera de la humedad relativa.
- b) 2 byte es la parte decimal de la humedad relativa que no se utiliza en el sensor, por lo tanto es cero.
- c) 3 byte es la parte entera de la temperatura.
- d) 4 byte es la parte decimal de la temperatura relativa que no se utiliza en el sensor, por lo tanto es cero.
- e) 5 byte es donde se realiza la suma de comprobación, es decir, es la resultante de sumar todos los bytes.

Esquema eléctrico del DHT11

El esquema eléctrico del sensor DHT11 es muy sencillo, ya que este cuenta con cuatro pines de los cuales solo se utilizan tres que son: VCC, GND y Output que es una entrada digital. Entre el VCC y el pin Output se conecta una resistencia de 5K de tal manera que el esquemático se muestra en la figura 2.7.

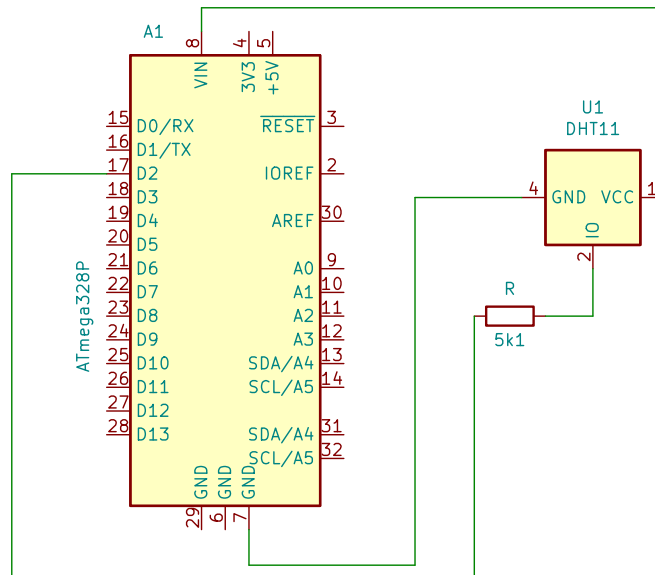


Figura 2.7: Esquema eléctrico Sensor DHT11

2.3.2. Sensor Presión Barométrica

Es un dispositivo que mide la presión del aire y también funciona como altímetro, debido a que la presión se origina por el peso de la columna del aire de la atmósfera. Es importante tener en cuenta que dicha presión depende de diversos factores, especialmente de la temperatura por la densidad de aire que influye en ella, además de la humedad y el viento que también afectan a la medición. Por lo tanto, el sensor que se utilizará para obtener estas mediciones es el BMP180.

El sensor de presión barométrica BMP180 es un sensor piezo-resistivo que incluye un sensor de temperatura que compensa los efectos de la medición. Es el sucesor del BMP085 que consta de una alta precisión digital, bajo consumo de energía, permitiendo medir la altura respecto al nivel del mar, y su funcionamiento se basa en la relación entre presión del aire y la latitud. Por su ultra baja potencia y voltaje, éste es optimizado para su uso en dispositivos móviles, dispositivos de navegación especialmente en GPS e incluso para equipos exteriores. Adicionalmente cuenta con un nivel de ruido bajo de altitud de 0.25m con un tiempo de conversión rápido y con una interfaz de I²C serie que permite una integración más sencilla con el sistema del microcontrolador. Por consiguiente, consta de una memoria de control E²PROM la

Alimentación	1.8 V a 3.6 v
Capacitores	By pass
Resistencias	Pull-up
Bajo Ruido	0.06hPa en modo ultra bajo consumo
Interfaz	I2C utilizando dos líneas
Calibración	100 %
Corriente máxima durante conversión	650 μA
Modo de ultra bajo consumo	3 μA - 1sample/s (25 $^{\circ}C$)
Rango de medición de presión atmosférica	300hPa-1100hPa
Resolución presión atmosférica	0.01hPa
Precisión presión atmosférica	950hPa-1050hPa de +o.12hPa
Rango de medición de temperatura	0 $^{\circ}C$ a 65 $^{\circ}C$
Resolución temperatura	0.1 $^{\circ}C$
Precisión temperatura	1 $^{\circ}C$

Cuadro 2.3: Características técnicas sensor BMP180

cual almacena 176 bits de datos que pertenecen a la calibración que se utilizan para compensar el offset, la temperatura y otros parámetros del sensor. Por lo tanto, la temperatura tiene una resolución de 16 bits y la presión se encuentra entre los 16 y 19 bits que dependerá del consumo y la resolución que se escoja.

Características técnicas

En el cuadro 2.3 se muestran las características técnicas que proporciona el sensor de Presión Barométrica (BMP180) para su correcta ejecución.

Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación que utiliza el BMP180, es el conocido I2C (Inter-Integrated Circuit). Se trata de un bus de datos serial desarrollado por Philips en

el año 1992. Este protocolo está diseñado como un bus maestro-esclavo. La comunicación de este protocolo se realiza a través de dos hilos, el bus de datos (SDA) y el reloj de sincronización (SCL), donde la transferencia de datos siempre la inicia el maestro, generando la señal de reloj utilizada para la sincronización permitiendo que el esclavo responda a las condiciones de éste. Asimismo, cada dispositivo dispone de una única dirección de 7 bits que se distingue en el bus de comunicación en comparación a otros dispositivos. De igual manera, el protocolo también permite tener más de un maestro en el mismo bus de comunicación (Multimaster-Mode), permitiendo la comunicación entre dos maestros asignando el trabajo del esclavo a uno de ellos. Mientras la comunicación se encuentre en curso, sólo puede existir un maestro; los demás dispositivos actuarán como esclavos hasta el fin de la comunicación.

Este protocolo tiene en especial las siguientes condiciones en las señales del bus. Para poder iniciar la comunicación, el maestro envía una señal de inicio (Start (S)); para parar la señal envía un (Stop (P)) y en los datos binarios donde cada byte de información va a requerir que el receptor le dé una respuesta de confirmación. Por lo tanto, cuando no hay acceso en el bus tanto el SCL y el SDA permanecen en un nivel alto. A continuación se explicarán las condiciones de Start y Stop.

- **Condición Start (S)**

En esta condición el maestro inicia llevando la línea SDA con el valor de cero o nivel bajo. Mientras que SCL permanece en un estado de nivel alto o valor “1”, como se muestra en la figura 2.8 (izquierda).

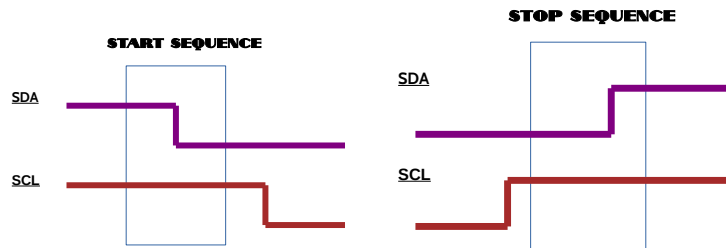


Figura 2.8: Condición de comienzo y paro

- **Condición Stop (P)**

En cambio para la condición de Stop, la línea SDA para a un nivel alto o “1”. Al igual que la línea SCL que se mantiene en un nivel alto. Como se muestra en la figura 2.8 (derecha).

Proceso de comunicación

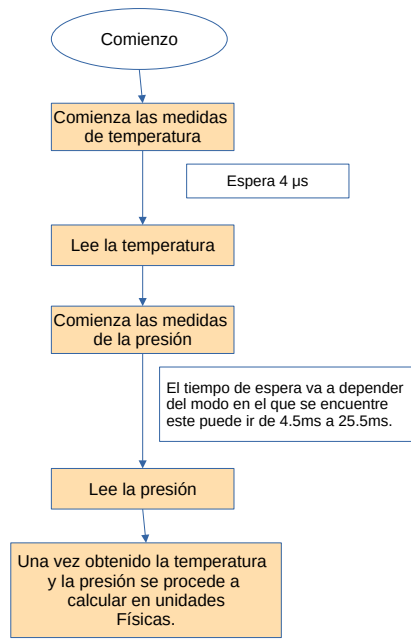


Figura 2.9: Proceso de medición del BMP180

Como se muestra en el diagrama de la figura 2.9 la calibración de los parámetros es un proceso muy importante para que estos parámetros puedan ser leídos al inicio, antes de que se realice la lectura de dichos datos de la temperatura y la presión, ya que estos se utilizarán posteriormente para compensar las medidas tomadas por la partes no compensadas de la temperatura (UT) y la presión (UP) tomando en cuenta que sólo se necesita de una lectura al inicio del sistema porque los valores no cambian. El siguiente diagrama de flujo muestra la secuencia del proceso que se lleva a cabo.

Una vez leído estos parámetros, el fabricante del sensor proporciona el algoritmo que se tiene que implementar para obtener los valores reales de la temperatura y la presión atmosférica.

2 Para la transferencia de datos, nos basaremos en la gráfica del datasheet BMP180 (Digital pressure sensor) por BOSCH ver figura 2.10. Se interpreta de la

siguiente manera: la condición de inicio se da cuando el SCL es alto y SDA tiene un flanco descendente (transmisión de dos estados lógicos “0” y “1”, que pueden estar en un estado bajo (descendente) a un estado alto (ascendente) envía la dirección del esclavo. Es decir, el maestro envía la dirección del esclavo de 7 bits en conjunto al bit de control de dirección R / W, selecciona la lectura o escritura en operación y el dispositivo esclavo responde con un ACK (acknowledge) para confirmar que ha recibido la información después de que se ha iniciado la transmisión de datos. La transmisión finaliza cuando el maestro envía la conexión Stop.

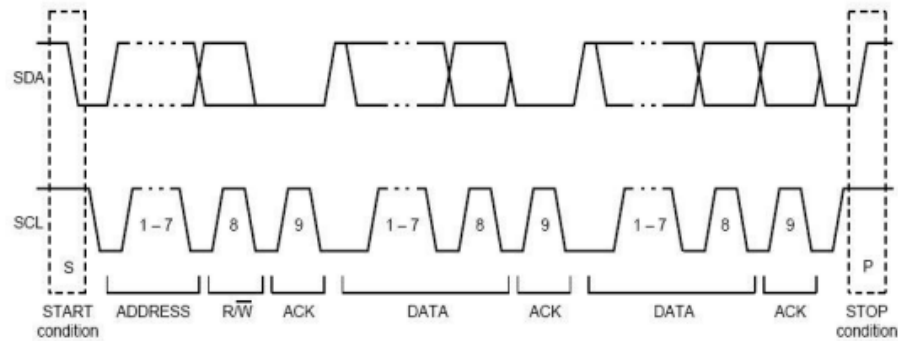


Figura 2.10: Proceso de comunicación Protocolo I²C

Configuración eléctrica del BMP180

El sensor BMP180 consta de 4 pines de los cuales la función de cada uno se describe a continuación.

- **SDA:** Línea de datos del protocolo I²C.
- **SCL:** Señal de reloj del protocolo I²C.

Para estos dos pines, hay que tomar en cuenta que se necesitará una resistencia de tipo pull-up para que su funcionamiento sea correcto.

- **VCC:** Voltaje de alimentación de 3.3V, debido a que el sensor soporta un voltaje máximo de 3.6V.
- **GND:** Voltaje de referencia (tierra).

Estos son los pines que tenemos para la implementación del sensor, y también cuenta con los siguientes pines:

- **CSB:** Es de tipo entrada y selecciona el chip.
- **VDDIO:** Es de tipo entrada y es el encargado de la alimentación digital de 1.8 V.
- **SDO:** Es de tipo salida y es el SPI o I²C (Serial bus data).

Por consiguiente, el encapsulado del sensor BMP180 ya tiene incorporado las resistencias de pull-up de 4.7K para el bus I2C y el regulador de tensión para garantizar una tensión fija de 3.3V al sensor. También incorpora condensadores de desacoplo que eliminan las interferencias y el ruido de la alimentación.

2.3.3. Sensor Real Time Clock

En la actualidad la supervisión de los sistemas industriales o de algún otro tipo en este caso, una estación ambiental no sólo necesita de sensores para obtener datos, sino que también requiere de un sistema de registro de la hora y fecha exacta del momento en el que se obtuvieron los datos. Comúnmente estos sistemas hacen uso de los dispositivos Real Time Clock (RTC), que significa reloj en tiempo real, para configurar hora y fecha del sistema.

Por lo tanto, se hará uso del módulo RTC DS1302 que consiste en un circuito integrado alimentado por una batería que permitirá que en todo momento se registre la fecha, hora y día de la semana, de la misma forma que lo hace un reloj digital convencional.

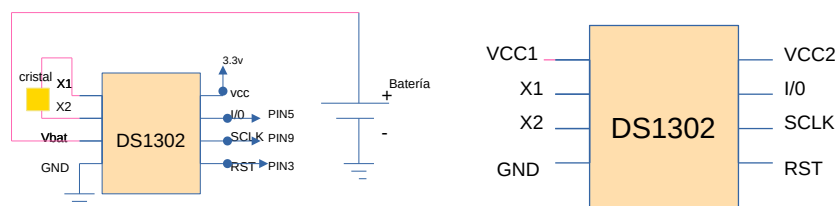


Figura 2.11: Diagramas del sensor RTC y el integrado DS1302

Como se puede observar, este módulo se compone de un integrado DS1302, un cristal de cuarzo 32.768KHz y una pila CR2032.

Integrado DS1302

El integrado DS1302 que contiene este módulo es un reloj/calendario con la capacidad de almacenar segundos, minutos, horas, días de la semana y/o mes e incluso el año. Es un dispositivo con la capacidad de actualizar los datos registrados automáticamente al finalizar el mes (31 días), con un formato similar al de un reloj digital 24 y 12 horas y un indicador de AM y PM. Para un mejor funcionamiento, requiere de un oscilador de cristal de cuarzo de 32.768KHz con una capacidad de carga de 6pF y una serie de resistencias de 45K Ω para marcar el paso de cada segundo y así actualizar los datos en sus registros internos.

La interface de comunicación que maneja este integrado, es de tipo serie síncrona, encargada de realizar la comunicación de escribir o leer los datos que se almacenan e incluso configurar la operación del circuito integrado hacia el microcontrolador. Es decir, puede transmitir o recibir información byte por byte ya que cuenta con una memoria RAM de 31 bytes de uso general. Está diseñado además, para trabajar en aplicaciones de bajo consumo de potencia. El dispositivo está conformado por 8 pines como se muestra en la figura ?? (derecha):

Donde la función de cada pin es la siguiente:

- **Pin 1:** El VCC es el pin de la alimentación primaria con una configuración de doble fuente, el cual se conecta a una batería de respaldo Vcc1 para mantener la hora y fecha en dado caso de la que la fuente primaria este ausente. Tomando en cuenta que el DS1302 mientras Vcc2 \geq Vcc1 + 0.2v y cuando Vcc2 \leq Vcc1 es cuando Vcc1 alimenta el integrado.
- **Pin 2 y 3:** El pin 2 (X1) y el pin (X2) son utilizados para conectar el cristal de cuarzo con el valor estándar de 32.768KHz. Donde X1 está conectado a un oscilador externo y X2 se encuentra flotando.
- **Pin 4:** Es el pin de tierra o GND.
- **Pin 5:** Se utiliza para el Inicio/Fin de la comunicación serial (CE o RST), es decir, la entrada de la señal CE debe ser alta durante la lectura y escritura además de que este pin cuenta con una resistencia de pull-down interna de 40Kohms a tierra.
- **Pin 6:** Su función es la transmisión de datos seriales (I/O), es decir, es el pin de los datos bidireccionales para un cable con una interfaz de 3 hilos, contando con una resistencia pull-down interna también de 40Kohms conectado a tierra.

- **Pin 7:** El reloj de la comunicación Serial (SCLK) que se utiliza para sincronizar el movimiento de los datos con una interfaz de serie, que al igual que a los otros pines utiliza una resistencia pulldown de 40Kohms a tierra.
- **Pin 8:** Es el pin donde se conecta el voltaje de la batería (Vcc1), es decir, con una operacion de baja de potencia en sistemas de suministro único con una batería de respaldo de baja potencia, garantizando que la corriente de carga se regrese cuando se usa una batería de litio.

Funcionamiento del DS1302

El pequeño procesador del DS1302 cuenta los ciclos de su propio cristal proporcionando los segundos, minutos y horas, quitándole la responsabilidad al microcontrolador. Para realizar la operación de lectura o escritura, es necesario utilizar algunos comandos para especificar el registro al que va dirigida la instrucción de información o el dato que se desea leer, ya que este cuenta con un registro de 8 bits. A continuación en la tabla 2.4 se muestra la dirección de comandos por byte tomada del datasheet del sensor Trickle-Charge Timekeeping Chip de Maxim Integrated.

7	6	5	4	3	2	1	0
1	RAM CK	A4	A3	A2	A1	A0	RD WR

Cuadro 2.4: Dirección de comandos por byte

De acuerdo con el cuadro de direcciones, se observa lo siguiente:

- El bit 7 siempre es 1
- El bit 6 es el encargado de indicar la operación sobre la memoria RAM, donde el uso en general del bit 6 es “1”. Cabe señalar que puede realizar la operación sobre los registros del reloj/calendario donde el bit 6 toma el valor “0”.
- Para los bits 4 (A4), 3 (A3), 2 (A2), 1 (A1) y A0 son los encargados de indicar la dirección del registro sobre el cual va dirigida la instrucción, ya sea de lectura o escritura.
- El bit 0 es el encargado de indicar si la operación de lectura es “1” y para la escritura es “0”.

Como se muestra en la figura 2.12 tomada del datasheet del sensor Trickle-Charge Timekeeping Chip de Maxim Integrated, los números hexadecimales mostradas en las primeras dos columnas son los comandos que operan sobre el registro de lectura y escritura en la memoria.

RTC										
READ	WRITE	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	RANGE
81h	80h	CH	10 Seconds			Seconds				00–59
83h	82h		10 Minutes			Minutes				00–59
85h	84h	12/24	0	10 AM/PM	Hour	Hour				1–12/0–23
87h	86h	0	0	10 Date		Date				1–31
89h	88h	0	0	0	10 Month	Month				1–12
8Bh	8Ah	0	0	0	0	0	Day			1–7
8Dh	8Ch	10 Year				Year				00–99
8Fh	8Eh	WP	0	0	0	0	0	0	0	—
91h	90h	TCS	TCS	TCS	TCS	DS	DS	RS	RS	—

CLOCK BURST	
BFh	BEh

RAM		
C1h	C0h	00–FFh
C3h	C2h	00–FFh
C5h	C4h	00–FFh
.	.	.
.	.	.
.	.	.
FDh	FCh	00–FFh

RAM BURST	
FFh	FEh

Figura 2.12: Registro de dirección

El bit 7 (WP, Write Protect) registra los segundos utilizados para detener o iniciar la operación del reloj, es decir, el bit 7 tiene la condición de “0”, el reloj opera normalmente. En cambio si la condición del bit 7 es “1” la operación del reloj se detiene. El registro de control habilita o deshabilita la escritura del DS1302 cuando el bit esta en “1” (deshabilita) y en “0” (habilita). Al tomar en cuenta que maneja dos tipos de modos: el Modo burst y el Modo de ingreso de comandos.

Modo burst: El modo Burst permite acceder de manera continua bit por bit a todos los registros del reloj/calendario o de la memoria RAM, empezando por el bit 0 ubicado en la localidad 0.

Modo de ingresos de los comandos: Esta interfaz de comunicación utiliza tres terminales que son; RST, IO y SCLK. Para realizar cualquier tipo de comunicación se lleva a cabo mediante la terminal RST en un estado de nivel lógico alto, es decir,

debe ser “1”. De lo contrario, no se habilitará la comunicación. De la misma manera, para el envío o recepción de los comandos/direcciones hacia o desde el DS1302 se realiza bit a bit por medio de la terminal I/O existe un flanco de subida para la señal SCLK. Así que, la terminal I/O es bidireccional, ya que por medio de está, fluye la información hacia el DS1302 [11].

Resumen de transferencia de datos

Como se ha mencionado, los comandos de lectura y escritura nos ayudan a manipular al DS1302, permitiendo el acceso al registro del reloj, así como los registros de la memoria interna RAM, ya que estos datos se almacenarán en dicha memoria hasta que se desconecte la batería del DS1302. Para usar el byte de comando establecido, se debe seguir la siguiente secuencia que se muestra en la figura 2.13.

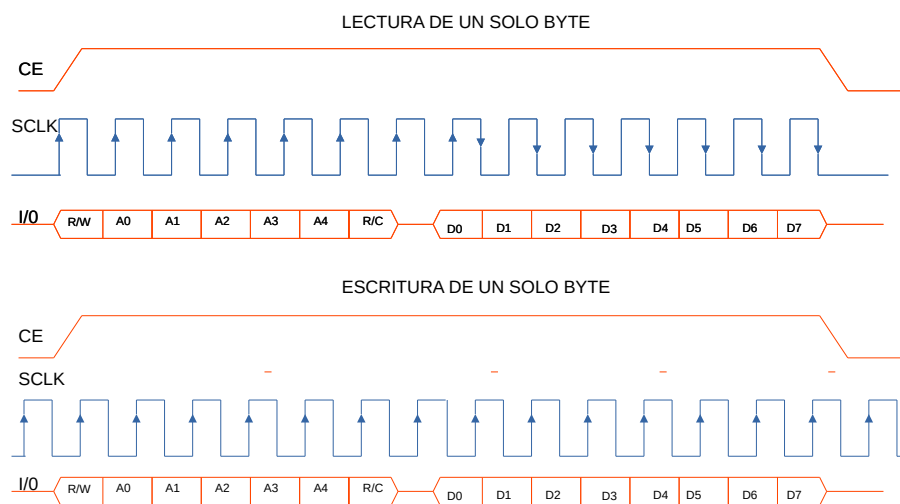


Figura 2.13: Gráfica de resumen de datos de transferencia

Es importante considerar dos aspectos:

1. El byte de comando que se manda al DS1302 de manera inversa, ya que comienza en RD/WR y termina en “1”.
2. Cuando se lee el byte del DS1302, se consideran dos condiciones: la primera es cuando el flanco de bajada se encarga de iniciar la recepción de los datos, y la segunda, cuando el flanco de subida define el bit.

Con respecto a la gráfica de tiempos se deduce lo siguiente:

- Cuando no hay transmisión el CE y SCLK se mantienen en cero.
- Al momento de iniciar la comunicación el CE se pondrá en “1” para indicarle el inicio al DS1302.
- El R/W se pone al pin I/O del DS1302 poniendo el 1(leer datos) y 0 (escribir datos).
- Se pone el valor de 1 del reloj (SCLK) para obtener un flanco de subida y el DS1302 tome el valor de R/W’.
- El tiempo de espera es más de *2micro* s.
- El valor del reloj (SCLK) será 0.
- A0 se asigna al pin I/O del DS1302.
- Se sigue con esta secuencia hasta terminar con los bytes. Es importante mencionar que cuando se trata de un comando de lectura el DS1302 va a mandar el bit cuando se detecte el flanco de bajada y sólo se podrá leer cuando el flanco esté de subida.
- Una vez terminada la transmisión de los bytes nuevamente CE y SCLK tomar el valor de cero.

Características técnicas.

En el cuadro 2.5 se muestran las características técnicas que proporciona el módulo de reloj en tiempo real DS1302 para su correcta ejecución.

Configuración de los pines

El módulo RTC cuenta con cinco pines, los cuales se distribuyen de la siguiente forma:

- El pin 1 es VCC que se conecta a 5V.
- El pin 2 es GND que se conecta a GND (tierra).
- El pin 3 es el CLK que se conecta al pin 9 del arduino.
- El pin 4 es el DAT que se conecta al pin 5 del arduino.

Voltaje de funcionamiento	2.0V-5.5V
Voltaje máximo de entrada recomendado	5V
Corriente	300nA a 2V
Microcontrolador	DS1302
Batería	CR2032 a 260mAh
Entrada/Salida	En serie para el encuentro mínimo de datos
Transferencia de datos	Byte a byte o multiples bytes de lectura o escritura de datos del reloj o memoria RAM
Iterfaz simple	3cables
TTL	Compatible Vcc=5v
Precisión presión atmosférica	931x8 RAM
Almacenamiento de datos	0 ^o C a 65 ^o C
Temperatura	-40 ^o C a + 85 ^o C

Cuadro 2.5: Características técnicas del módulo DS1302 RTC

sensor de efecto hall entregando cambios de la señal cada vez que se cruce con el imán. Para que esta señal pueda usarse de manera deseable y poder obtener la mediciones del viento, se hará uso de las revoluciones por minuto, obteniendo la diferencia entre una medición y otra. En consecuencia, se procede a un procedimiento matemático para obtener la velocidad angular y posteriormente la velocidad lineal en conjunto, da como resultado la velocidad del viento.

Las ecuaciones que se utilizan para obtener el la velocidad del viento son:

Velocidad angular

$$\omega = \frac{(rpm)(\pi^2)}{60} \quad (2.1)$$

donde

ω es la velocidad angular.

rpm= revoluciones por minuto del movimiento.

Velocidad lineal

$$V = \omega r \quad (2.2)$$

Por lo tanto, el sensor de efecto hall que se utilizará en la construcción del anemómetro es el módulo lineal KY-024. En este sensor se activa cuando detecta un campo magnético generando un voltaje de salida. Además de contar con un potenciómetro para ajustar la sensibilidad del sensor y como resultado se, obtienen las señales de salida tanto analógicas como digitales.

La salida digital del sensor actúa como un interruptor que se enciende y apaga cuando la presencia del imán está cerca; mientras tanto la salida analógica se puede medir la polaridad y la fuerza relativa del campo magnético. Asimismo, esta constituido por un circuito integrado 49E lineal analógico que permite realizar mediciones precisas de la distancia al campo magnético, un comparador de diferencial dual LM393, un potenciómetro, dos led que iluminan el umbral de detección deseado. Se alcanza seis resistencias y el header macho con un ángulo de 4 pines (Vcc, GND, A0 y D0) para su conexión.

Funcionamiento del sensor KY-024

Es un sensor magnético lineal que se utiliza para calcular, ajustar o estabilizar la velocidad de cierto mecanismo en rotación o bien, puede actuar como un switch de proximidad. La intensidad 0 debe corresponder aproximadamente a +2.5V con una

salida de 0V y +5V en pasos de 1024, si se alimenta correctamente a 5V teniendo una respuesta lineal.

Voltaje de funcionamiento	2.7V-6.5V
Comprobador de salida de corriente	16mA
Interruptor digital de salida	I/O
Temperatura de operación	-40 ^o C a 85 ^o C
Batería	CR2032 a 260mAh
Sensibilidad	1.0mA/G min. 1.4mV/G typ. 1.75mV/G máx.
Dimensiones	40 x 26 x 32 mm
Peso	4gr.
Led 1	Indicador de alimentación
Led 2	Indicador salida sensor digital

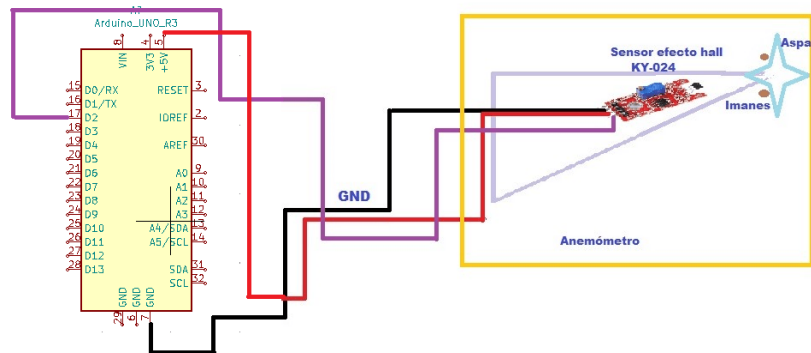
Cuadro 2.6: Características técnicas del sensor KY-024

El sensor consta de tres principales componentes en su tarjeta impresa: el primero es la unidad del sensor en la parte frontal del módulo, el cual mide el área físicamente y envía una señal analógica; el segundo componente, es un amplificador que se encarga de amplificar la señal de acuerdo con el valor de la resistencia del potenciómetro y este envía una señal analógica a la salida del módulo, y el tercer componente es un comparador el cual cambia o apaga la salida digital y el led. En cambio, si la señal cae por debajo de un valor específico, la señal será invertida. Cuando se mide un valor alto este se mostrará como un valor bajo de voltaje en la salida analógica. Por otra parte, se puede controlar la sensibilidad ajustando el potenciómetro [12].

Características técnicas

En el cuadro 2.6 se muestran las características técnicas que proporciona el sensor del efecto Hall para su correcta ejecución.

Por lo tanto es un sensor que basa sus principios en el funcionamiento del efecto Hall, llamado así por Edwin Hall, el cual consiste en ejercer un campo magnético de manera transversal a un conductor a través del cual circula una corriente, haciendo que las cargas sean impulsadas hacia un lado del conductor generando un voltaje denominado voltaje Hall o transversal. Este sensor en particular puede producir una salida lineal proporcional a la cantidad de magnetismo, siendo muy útil para la elaboración de proyectos de electrónica por su amplia gama de aplicaciones. En este caso se ocupará para la elaboración de un anemómetro. En la imagen se muestra se muestra los puetos usados en su conexión.



2.3.5. Sensor óptico de polvo

En tal sentido para lograr simplificar los requerimientos del hardware, que es de suma importancia en este proyecto, se optó por utilizar el módulo de sensor óptico de polvo Sharp GP2Y1010AU0, el cual detecta partículas muy finas de polvo del aire mediante la detección óptica, como el humo del cigarro, por ejemplo. Además es muy utilizado en los sistemas de purificación del aire. El sensor está constituido por un diodo emisor de infrarrojos y un fototransistor, los cuales se encuentran diagonalmente en el dispositivo, con la finalidad de detectar la luz reflejada del polvo en el aire.

El sensor tiene un consumo de corriente muy baja que va típicamente de los 11mA, hasta alcanzar una corriente máxima de 20mA y puede ser alimentada por una corriente directa de 7V. La salida es un voltaje lineal proporcional a la cantidad

de polvo detectado y la sensibilidad que maneja el sensor es de 0.5V por cada 0.1mg por metro cúbico.

Características técnicas

Voltaje	5V-7V
Concentración de detención de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (típica)	0 a 600
Sensibilidad	$0.5\text{V}/(0.1\text{mg} \times \text{m}^3)$
Tensión de salida de polvo	Típica 0.9V
Potencia	7Vdc
Temperatura	-10°C a $+65^{\circ}\text{C}$
Temperatura de operación	25°C
Dimensiones(mm)	46 x 30 x 17.6
Peso	10gr

Cuadro 2.7: Especificaciones técnicas del sensor de polvo óptico GP2Y1010AU0F

En el cuadro 2.7 se muestran las características técnicas que proporciona el sensor de polvo óptico GP2Y1010AU0F para su correcta ejecución.

Esquema eléctrico del sensor

La parte interna del sensor está compuesta como se muestra en la siguiente figura 2.15 (izquierda):

Para poder conectarlo al ATmega328P se añade una resistencia de 150/ohms y un capacitor de 220uF en forma de circuito RC en serie como un divisor de tensión, como se muestra en la figura 2.15 (derecha):

2.3.6. Módulo de almacenamiento de datos

Para almacenar los datos que detectará la estación ambiental, se hará uso de un lector SD, que permite emplear una tarjeta SD o micro.SD, siendo dos modelos

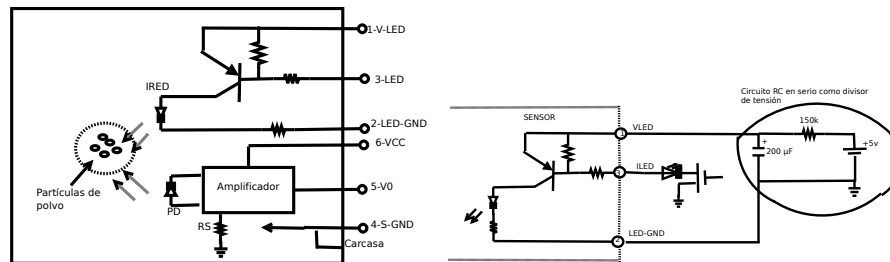


Figura 2.15: Sensor y conexión de polvo óptico GP2Y1010AU0F

de tarjeta modernos, debido a su gran capacidad de almacenamiento y tamaño son utilizadas en diversos dispositivos. Por ello, la lectura que realiza es mediante el bus SPI, aunque pueden disponer de otras interfaces como el bus I²C o UART. Se recomienda usar la interface SPI por su alta tasa de transferencia.

Asimismo, se pueden emplear las tarjetas SD o SDSC (Standard Capacity), siendo éstas las primeras que se introdujeron en el mercado con una capacidad de almacenamiento de 1MB (Megabytes) a 2GB (Gigabytes) por otro lado se encuentran las SDHC (High Capacity) que son más modernas y tiene una capacidad de almacenamiento de 4GB a 32Gb. Sin embargo, no se pueden emplear las tarjetas SDXC (Extended Capacity) debido a su alto nivel de almacenamiento que va desde los 32GB hasta 2TB (Terabytes) o su equivalente a 2000 Gigabytes. Estas tarjetas deberán estar formateadas en un sistema de archivos FAT16 o FAT32.

La tensión de alimentación es de 3.3V, tomando en cuenta que estos módulos están diseñados con la electrónica necesaria para su conexión con la placa comercial, incluyendo un regulador de voltaje que se puede conectar al arduino a 5V.

Por otro lado se hará uso de la tarjeta micro_SD, debido que es un modelo estándar en las tarjetas SD, además que actualmente son las más utilizadas por su tamaño.

Voltaje de alimentación	3.5V-5V
Regulador de tensión	3.3VCD
Consumo de corriente	200mA
Interfaz	SPI
Dimensiones	24 x 42 x 12 mm

Cuadro 2.8: Especificaciones técnicas del módulo de Micro_SD

visualización de datos en cualquier otro ordenador. Además soporta tarjetas micro_SD DE 2GB hasta 32GB, permitiendo tener un mejor almacenamiento de acceso para este proyecto.

2.3.7. Batería recargable

Celdas por unidad	6
Voltaje por unidad	12V
Capacidad	23Wh- 15 minutos de velocidad a 1.67V por celda 25°C
Peso	Aprox. 2.1kg
Corriente máxima de descarga	130A(5seg)
Resistencia interna aprox.	Aprox. 19.9mΩ
Rango de temperatura de funcionamiento	Descarga: $[-15, 50]^{\circ}C$. Carga: $[-15, 40]^{\circ}C$. Almacenamiento: $[-15, 40]^{\circ}C$
Rango de temperatura nominal de funcionamiento	25°C
Voltaje de carga del flotador	13.5 a 13.8 VDC
Límite de corriente de carga máximo recomendado	SPI
Servicio de ecualización y ciclo	14.4 a 15.0 VDC promedio de la unidad a 25°C
Material del contenedor	El ABS(UL94-HB) y la resistencia a la inflamabilidad de (UL94-VO)
Terminal	F2-Fasion Tab.250

Cuadro 2.9: Especificaciones técnicas batería CSB HR1221WF2

Como ya se ha mencionado, la estación ambiental contará con su fuente de alimentación independiente, para lo cual se hará uso de una batería recargable o llamada también acumulador recargable, dado que es un grupo de una o más celdas

electroquímicas. Su funcionamiento ocurre cuando la reacción transcurre en un solo sentido, los materiales de la pila se agotan y se genera una corriente eléctrica. En cambio, cuando el sentido es inverso, se necesita una corriente eléctrica para generar los materiales consumidos. En el cuadro 2.9 se muestran las características técnicas de la batería.

Estas vienen en diferentes tamaños y emplean diferentes productos químicos. La que se utilizará en este proyecto está dentro del grupo de celdas secundarias que son las que más se utilizan ya que esta compuesta de polo y ácido; también existen las hechas de níquel-cadmio, níquel-metal hidruro, iones de litio. Tomando en cuenta que están construidas en planchas de plomo o celdas, donde el electrodo positivo está cubierto de dióxido de plomo en forma cristalina entre otros aditivos [13].

La pila recargable que se utilizará en este proyecto es el modelo CSB HR1221WF2, que está especialmente diseñada para aplicaciones de alta descarga con una vida útil de aproximadamente 5 años en uso estacionario.

Dimensiones	4.8cm x 2.8cm x 2.3cm
Alimentación	4.5V— a 30V— (rango amplio, para varios usos)
Corriente de operación	20mA
Medición de voltaje	0V— a 100V—
Resolución	100mA (con divisor de frecuencia integrado)
Pantalla	0.28" tipo LED
Tasa de medición	100ms/tiempo
Precisión de la medición	1 % (+1 dígito)
Temperatura de operación	-15°C a 70°C
Humedad de operación	10 % a 80 % (sin condensación)
Presión de operación	80kPa a 106kPa.

Cuadro 2.10: Características técnicas Voltímetro-Amperímetro digital

2.3.8. Voltímetro - Amperímetro digital

Los medidores digitales son dispositivos electrónicos que representan una medida en magnitud, representada mediante números iluminados sobre una pantalla. El voltímetro-amperímetro es un dispositivo cuya función es medir el voltaje y la corriente del circuito eléctrico o de algún elemento pasivo permitiendo mostrar estos valores.

El voltímetro-amperímetro digital 100vdc/50A que se utilizará es de la marca HAVR modelo ME0016, el cual consta de una pantalla digital de dos niveles: en la parte superior muestran la medida del voltaje [V] en color rojo mientras que en la parte inferior se muestran las medidas de la corriente [A] en color azul; de igual manera, consta de 5 pines que se distribuyen de la siguiente manera: dos son de alimentación del dispositivo, uno es la tierra del circuito a medir y los otros dos representan la corriente y el voltaje a medir.

En el cuadro 2.10 se muestran las características técnicas del voltímetro-amperímetro digital.

2.3.9. Herramientas de desarrollo

Para el diseño, programación y desarrollo de la estación ambiental se emplearán los siguientes software que son esenciales para su funcionamiento.

Tanto Windows como Linux (GNU/LINUX) son sistemas operativos necesarios para que el ordenador permita utilizar programas como: editor de texto, navegadores de internet e incluso para la instalación de programas. Ambos se pueden utilizar mediante una interfaz gráfica.

Software IDE

El software principal de la placa de desarrollo comercial es el IDE que realiza la programación correspondiente de la tarjeta de desarrollo, siendo este un código abierto que permite realizar una programación rápida y sencilla para posteriormente cargarla mediante el puerto USB de la tarjeta. El entorno de desarrollo está basado en Java principalmente en Processing, por lo cual puede ser utilizada en cualquier tarjeta de desarrollo comercial de la familia arduino. Por lo tanto, este será empleado para la programación de los módulos que se utilizan en la estación.

Kicad

Es un paquete de software libre para la automatización de diseño electrónico que facilita el diseño de esquemáticos de circuitos electrónicos y para su conversión a una placa de circuito impreso. Además de que genera una lista de materiales, ilustraciones, archivos Gerber, permite la edición de las librerías de componentes para símbolos y footprints (huellas) y proporciona una vista de 3D de la PCB y sus componentes. Tomando en cuenta que kicad es un programa multiplataforma con un lenguaje de programación C++ y que puede ejecutarse en Linux y Windows. La versión de programa que se utilizará es la v.5.1.4.

Proteus

Es un software de simulación y diseño de circuitos electrónicos de forma análoga y digital. Sus principales características son:

- **ISIS:** Se encarga de realizar el modelo esquemático del circuito, el cual consta con librerías que contienen aproximadamente mas de 6,000 dispositivos tanto digitales como análogos.
- **ARES:** Es el encargado de hacer la placa de circuito impreso (PCB), además de que proporciona de manera automática los componentes al igual que el trazo de las pistas.
- **PROSPICE:** Este es un módulo importante ya que se encarga de simular el comportamiento del circuito.
- **VSM:** Cuando se trabaja con micro-controladores, este módulo es de gran ayuda para simular el comportamiento de los micro-controladores de las familias PIC, AVR entre otras. Únicamente hay que cargar el archivo en formato HEX y Proteus se encarga de simularlo permitiendo la interacción con los diferentes periféricos.

Por lo tanto, la versión de programa que se utilizo fue el Proteus portátil v.8.3.

Fritzing

Al igual que Kicad y Proteus es un software libre para el diseño electrónico credo bajo los principios de Processing y Arduino, ya que, permite crear los esquemas de circuitos impresos. Este software es de gran ayuda para hacer la representación de la

conexión de los dispositivos a una placa Arduino e incluso tiene la opción de usar el protoboard. La versión que se utilizará es fritzing Beta v.0.9.3.

Estos son los software que utilizaremos para el diseño de la placa PCB donde cada uno tiene sus propios principios de aprendizaje.

2.3.10. Prototipo de la estación ambiental

La integración de los diferentes sensores con la tarjeta Arduino UNO R3 conforman el prototipo de la estación ambiental como se observa en la figura 2.17.

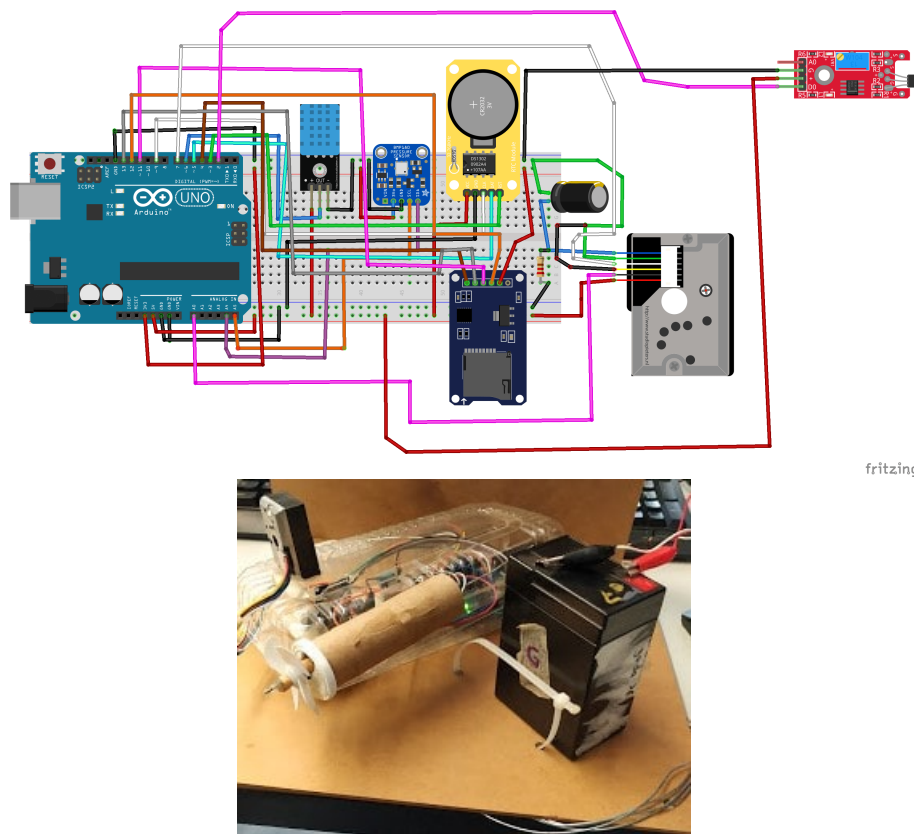


Figura 2.17: Se observa las conexiones de los sensores de manera gráfica que conforman la estación ambiental LACECI

Como se observa en la figura 2.17 (superior), el ensamble de los dispositivos se realizó en un protoboard, que es una placa de pruebas que facilita la conexión de los

dispositivos electrónicos mediante cables. Para obtener la conexión correcta de cada sensor a la tarjeta Arduino se hizo uso de los hojas de especificaciones para conocer con más detalle su funcionamiento.

Para finalizar este prototipo se requirió de una caja para protegerlo y que sirviera de soporte para el anemómetro y el sensor de polvo, ya que son los dispositivos más grandes y que por su función tiene que ir por fuera. Por tal motivo, se eligió un contenedor tipo bisagra transparente de plástico donde se adaptaron de tal manera para quedar listos para su funcionamiento. Como los módulos estarán a la intemperie, se adaptó una tabla fibracel de 30 x 30 cms como se muestra en la figura 2.17 (inferior).

El prototipo se realizó en el laboratorio LACECI. Como su estética no es agradable, se propone hacer una carcasa de protección de acrílico, que no es más que un polímero termoplástico transparente o pigmentado una gran variedad de colores, por lo que es un material de gran consumo en diversas áreas como la óptica, arquitectura, ingeniería, etc. El acrílico puede exponerse a la intemperie por largos períodos de tiempo, la transmisión de luz visible es de un 92 %, con una resistencia de impacto 0.2 a 0.5 libra-pie/pulgadas; sus propiedades térmicas varían de 72 °C a 100 °C y en operación alcanza una temperatura de 80°C y con peso de 1.19gr/ cm cúbico. Además se le adecuará el voltímetro-amperímetro para la visualización del voltaje y amperaje en funcionamiento.

Dicho lo anterior, se propone una carcasa en forma de cubo de 20 x 20 cm como se muestra en la figura 2.18 por cada lado. Posteriormente se adaptarán los componentes correspondientes para su funcionamiento; el diseño propuesto de la carcasa.

El punto a tratar es diseñar una placa PCB para simplificar el espacio y hacer las mejoras en eliminar los cables, la carcasa del módulo, el anemómetro para que quede visualmente estético y no tenga problemas al momento de estar en la intemperie.

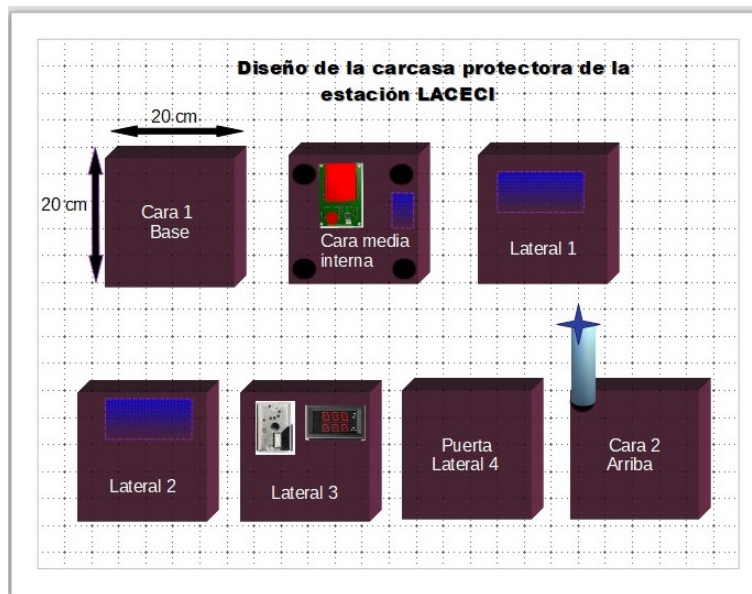


Figura 2.18: Diseño de la carcasa de la estación ambiental LACECI

Capítulo 3

Desarrollo del proyecto

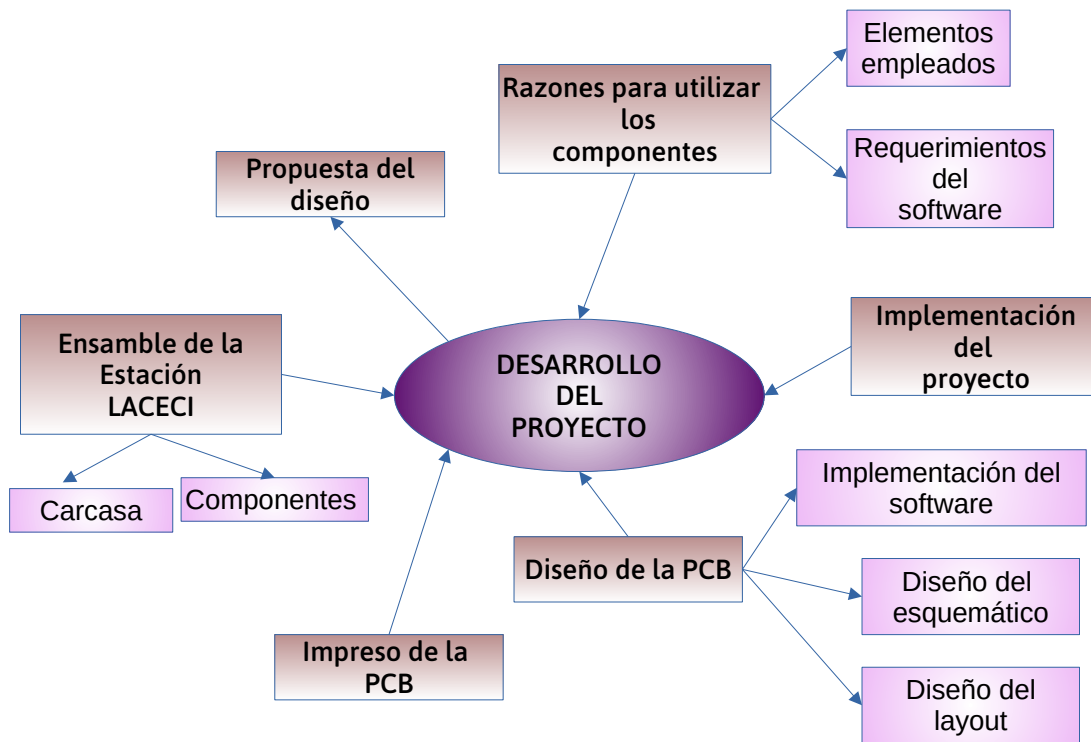


Figura 3.1: Diagrama de trabajo

Como ya se vio en el capítulo anterior, se pretende hacer mejoras al prototipo realizado. La figura 3.1 muestra el diagrama conceptual para el desarrollo e imple-

mentación de la estación meteorológica, el cual seguiremos como método y procedimientos del desarrollo propuesto con la finalidad de obtener el prototipo final de la estación ambiental, donde metodología a aplicar será:

1. Búsqueda de información para llevar a cabo el proyecto.
2. Uso de software libre para diseñar en formato digital, raster y vectorial.
3. Ensamble manual del prototipo.
4. Pruebas de calibración.
5. Prototipo terminado y probado para su posterior réplica.

3.1. Propuesta del diseño

Se propone diseñar, ensamblar y operar una placa PCB en forma de shield del anteprototipo de la estación ambiental que lleva por nombre LACECI, con el propósito de integrar, distribuir e interconectar cada uno de los componentes (sensores), la tarjeta de desarrollo comercial y los elementos periféricos. Considerando la incorporación adecuada de cada sensor de muestreo a la estación transmisora (Arduino) con su respectiva configuración, programación con el objetivo de obtener los datos deseados en tiempo real y que los datos se almacenen en una tarjeta micro.SD para su posterior visualización en un ordenador.

El proyecto consta de sensores de temperatura y humedad, presión barométrica, densidad de polvo y velocidad del aire; también contiene un módulo de reloj en tiempo real para la recepción de datos, un módulo de almacenamiento de información y una batería para su suministro de energía. Por lo tanto, las mejoras a realizar son las siguientes:

- Diseñar una placa PCB en forma de shield para hacer más compacto el módulo, el cual consiste en quitar la mayoría de las conexiones (cables) y el protoboard.
- Estudiar cada uno de los sensores a utilizar para ver si pueden ser implementados dentro de la placa PCB sin utilizar el módulo tal cual.
- Re-diseñar la base del anemómetro de tal manera que quede estéticamente visible.
- Diseñar la carcasa de protección de la estación para obtener una mejor presentación.

De cada uno de los elementos seleccionados, se conocen sus características técnicas, esquema de conexión a la arquitectura principal (placa comercial), por lo que se puede crear un esquema de conexión general de todo el sistema tomando en cuenta las conexiones de cada pin a la tarjeta. En la figura 3.2 se muestra el esquema general de las conexión de los dispositivos que se realizó mediante el software de fritzing que permite representar de manera gráfica las conexiones deseadas para la implementación del prototipo.

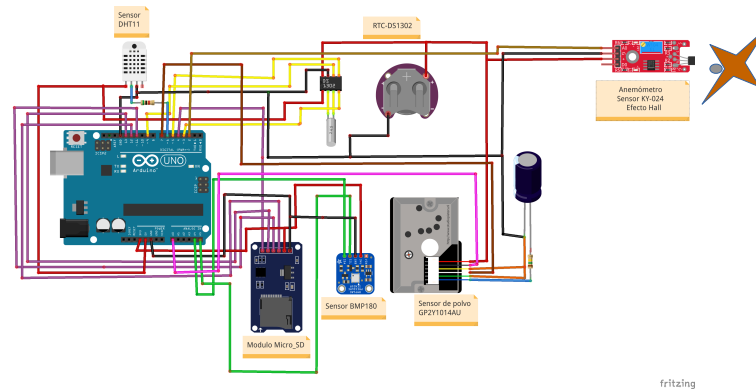


Figura 3.2: Esquema de conexión estación ambiental LACECI

3.2. Razones para utilizar los componentes

Para este proyecto se decidió utilizar la tarjeta Arduino UNO R3 por las ventajas ya referidas en el capítulo anterior, y principalmente por su tipología de procesamiento de datos y fácil acoplamiento a diversos sensores, ya que cuenta con un amplia gama de shields o módulos que nos permite adicionar funcionalidades. Por su fácil adquisición, manejo y economía, cuenta con diversas versiones debido a que maneja microprocesadores ATmel de distintas capacidades.

Por lo que, para programar emplea un software propio de la compañía basado en la programación Processing/Wiring. Por otra parte, para la selección de los sensores de cada variable ambiental se optó por aquellos que son fáciles de adquirir en el mercado. Con la finalidad de obtener el funcionamiento adecuado para la estación, se realizó el estudio para ver cuáles de los sensores a utilizar podrían ser incorporados directamente al diseño de la placa PCB sin la necesidad de utilizarlo como un módulo. Asimismo se pretende hacer uso de la tecnología THT (por sus siglas en inglés

Through-Hole-Tecnology) que se aplica principalmente en la fabricación de circuitos impresos para el montaje de dispositivos electrónicos.

Los sensores empleados pertenecen al IOT (Internet de las cosas) debido a la adquisición de datos que proporcionan y a la interacción que tienen con los eventos y cambios que se susciten de manera autónoma. Son sensores estáticos ya que estarán en un punto fijo de donde se requiera obtener datos.

3.2.1. Requerimientos del software

A continuación se describen los programas necesarios para el diseño, desarrollo e implementación del sistema, teniendo en cuenta que se hará uso de software libre con la finalidad de poder ejecutar y trabajar el programa.

- **Arduino:** Es un software de código abierto que se carga por el puerto serial mediante un cable USB y su entorno de desarrollo IDE. Es el encargado de implementar el lenguaje de programación.
- **Kicad:** Software libre para la automatización del diseño electrónico. Facilita el diseño de esquemáticos para circuitos electrónicos y su conversión a placa de circuito impreso, además de la visualización en 3D.
- **Fritzing:** Es un software que ofrece automatización de diseño esquemático de manera gráfica, así como esquema eléctrico para su conversión a la placa de circuito impreso.

3.3. Implementación del proyecto

Con base al prototipo que se obtiene el diseño de bloques 3.3 que muestra la implementación del sistema así como el proceso de muestreo y transmisión de datos.

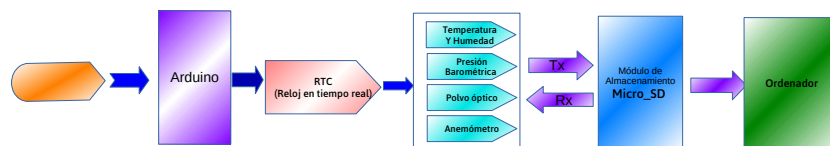


Figura 3.3: Diagrama de bloques del sistema implementado

Desarrollando el diagrama de bloques, cabe mencionar que en el lado del transmisor, se puede observar que está conformado por la placa de desarrollo, el reloj en

tiempo real y los sensores de temperatura y humedad, presión barométrica, óptico de polvo y efecto hall (anémometro); también está constituido por una batería recargable que es la encargada de suministrar la energía. Por el lado del receptor se tiene un módulo de micro.SD donde se almacenan las muestras que se obtiene de los sensores y así poder visualizarlos en un ordenador. Una vez analizado el diagrama de bloques se procede a diseñar la placa PCB para el sistema.

3.4. Diseño de la PCB

Para el desarrollo del circuito impreso o plaqueta de circuito impreso (Printed Circuit Board, PCB por sus siglas en inglés) se requiere de una serie de herramientas con consideraciones técnicas y teóricas, así como normas que permitan desarrollar, crear y estudiar a detalle los modelos y esquemas electrónicos a implementar en el diseño preliminar del circuito y el arte de la placa que implica; la seguridad en el montaje, técnicas de soldadura y la selección del método a utilizar que dependerá de su función y complejidad de la misma.

Actualmente, la actualidad la elaboración de circuitos impresos es de gran importancia en las universidades, empresas así como en grupos de investigación que se dedican a la fabricación o hacer modificaciones específicas de instrumentación y control, ya que es un medio que sostiene mecánicamente y eléctricamente los dispositivos electrónicos.

Desarrollo

El circuito impreso es la superficie constituida por caminos, pistas o buses de un material conductor laminado sobre una base no conductora, donde las pistas normalmente son de cobre, mientras que la base puede ser de fibra de vidrio reforzada, Pertinax, cerámica, plástico, teflón o polímeros con el propósito de conectar eléctricamente por medio de la base un conjunto de componentes eléctricos [14]. Tanto la producción de las PCB como el montaje de los componentes pueden ser de manera automatizada, permitiendo que el ambiente de producción en masa sea más económico y fiable en cuanto a otras alternativas de montaje.

Para el diseño y ensamblado se toman en cuenta teorías básicas de electromagnetismo debido a las interferencias que puedan existir. Al mismo tiempo, para el control de calidad de los circuitos impresos se toman en cuenta las normas que pertenecen a la familia IPC-2220 del Instituto para Circuitos Impresos (por sus siglas en inglés, Institute for Printed Circuits, IPC) siendo estas la más utilizadas [15].

A continuación se exponen los pasos que se necesitan para la elaboración de nuestra PCB utilizando la herramienta computacional como base para el desarrollo

en general por la exigencia y precisión, ya que el diseño se realizará de modo shield, donde una extensión de la tarjeta de desarrollo permite ampliar el hardware y las capacidades de la placa comercial, permitiendo la comunicación mediante los pines digitales y analógicos con la placa comercial e incluso por algún bus de comunicación como el SPI o I² C que se alimentan a través de los de pines de voltaje y tierra del mismo. Se debe considerar que el shield debe tener la misma forma standard del Arduino y el mismo espacio entre pines para poder obtener el funcionamiento adecuado del proyecto.

Asimismo, se debe hacer uso de las técnicas y consideraciones para el diseño del arte, así como las técnicas de impresión a la placa cobre y las observaciones sobre el montaje y soldadura.

3.4.1. Implementación del software

Software	Requerimientos del software	Ventajas	Desventajas
KICAD	Es compatible con el procesador Intel de 32 y 64 bits Sistema operativo PowerPC32 y 64bits Funciona con una resolución de pantalla de 1280x1024. Sus versiones funcionan perfectamente en Windows 7 y 8. En Linux la versión 5 y sus variantes funcionará sin problemas en las versiones 16.04,18.10 y 19.04	Funciona en tres sistemas operativos Open Source Visualización 3D Cuenta con captura de esquema	Interfaz básica No realiza router base en automático

Cuadro 3.1: Kicad tiene la ventaja de ser libre y gratuito.

Para el diseño de la PCB se toman en cuenta dos tipos de EDA (por sus siglas en inglés, Electronic Design Automation). El primero es un software libre de nombre Kicad, el cual fue desarrollado por Jean-Pierre Charras, y consta de un entorno de captura esquemática y de diseño de PCB, además de contar con las herramientas para generar una lista de materiales, ilustraciones, archivos Gerber y vistas en 3D tanto para los componentes como para la PCB. El segundo es un software de la compañía Labcenter Electronics de nombre Proteus, que es un diseño electrónico que se basa en la simulación analógica, digital o mixta permitiendo la interacción con varios elementos que integran los circuitos y cuenta con la opción de diseño de circuitos impresos.

Software	Requerimientos del software	Ventajas	Desventajas
PROTEUS	Sistema operativo Windows Se requiere de un procesador de 2.2GHz Memoria RAM 4GB Tarjeta gráfica 512MB Disco duro 100MB HD space	Cuenta con captura de esquema Simulación Forma de router base en automático Visualización 3D Notas de proyecto Forma demo Amplia gama de componentes	Es una plataforma de pago Disponible para el sistema operativo Windows

Cuadro 3.2: Proteus tiene la ventaja de un simulador de circuitos.

Para esto se llevó a cabo una comparación entre los dos programas como se muestra en las tablas de kicad y proteus, para saber cuál es el adecuado para el diseño de nuestra placa. Como se pueden observar en los cuadros 3.2 y 3.1.

Hay que tener en cuenta que para diseñar un PCB se requiere de creatividad, por lo que es necesario contar con las herramientas adecuadas para llevarlo a cabo. Como se observa en la tabla los dos programas son de gran utilidad y con pocas diferencias; no obstante, se utilizará un software libre. Es un programa que incluye el esquemático, la capa PCB, así como una gran variedad de componentes, facilitando el diseño para la PCB. Por esta razón, el software libre es una herramienta que ofrece un amplio aprendizaje tanto en el ámbito industrial como el sector educativo logrando satisfacer con éxito las necesidades requeridas.

3.4.2. Diseño del Esquemático

El esquemático o diagrama esquemático representa visualmente las interconexiones de los elementos que conforman el circuito a realizar, así como las pistas de cobre sobre la placa. Para ello se requieren los siguientes pasos en su elaboración:

- Conocer la especificación acerca de la funcionalidad del circuito y elegir los componentes a utilizar, así como analizar las conexiones.
- Otro rasgo de suma importancia es la verificación de los componentes en el software, ya que cabe la posibilidad de que no se encuentren en la librerías de éste y se tendrá que crear tanto para el esquemático como para la PCB layout.
- A través del editor de esquemático del software se realiza el diagrama.

El propósito de realizar el esquemático antes de la PCB, es reflejar de forma precisa el diseño, es decir, la visualización de los componentes, alimentaciones, los pines de entrada/salida así como la conexión entre ellos mismos. Tanto la información como el tipo de componente, tolerancia, valor y huella de los componentes debe ser clara con base en ésta se podrá reproducir, visualizar e identificar bien los componentes en el diseño y al mismo tiempo generar una lista de materiales.

Consideraciones para realizar el esquemático

Para elaborar y obtener un esquemático correcto se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones, dado que es el punto de partida para diseñar el layout de la PCB.

- En la elaboración de un esquemático se deben considerar que los componentes estén bien organizados, alineados e identificados de tal manera que sean legibles en el diseño. Otro aspecto muy importante, es que las señales de entrada deben fluir hacia la izquierda mientras que las de salida hacia la derecha.
- Mientras tanto, hay que considerar que los componentes se acomoden en el esquemático de tal forma que queden como nos gustaría en el diseño final de la PCB. Para ello, hay que verificar que todos los componentes cuenten con un identificador designado, ya que se asocia a cada uno de los componentes que conforman el diseño.
- Al momento de trazar las conexiones, es de suma importancia evitar el cruce de las señales, por lo que hay que tener bien identificado los puntos de conexión. Por lo que es recomendable utilizar puntos de unión cuando 3 o más señales estén conectadas eléctricamente, pues esto permitirá identificar claramente las señales que se cruzan y que estarán unidas en el diseño.

- Si se manejan varias componentes que pertenecen al mismo bloque lógico, es conveniente agruparlos, además de utilizar buses para que el diseño sea más estético. También es importante nombrar las pistas mediante etiquetas para que al momento de trazar las pistas sea más fácil.
- Por último, los conectores globales que se utilizan son GND y VCC. Es conveniente distribuir estos en diferentes puntos del esquemático con el propósito de evitar trazar señales muy largas, o en su defecto, se recomienda utilizar flechas que representen a VCC apuntando hacia arriba y GND que apuntan hacia abajo.

Esquemático de la estación ambiental LACECI

En el diseño del esquemático de la estación se toma en cuenta la conexión de los sensores a la placa Arduino, así como cuáles de ellos se pueden desintegrar sin la necesidad de poner el módulo como tal. Es conveniente contemplar la facilidad para adquirir el material, debido a que la mayoría de los dispositivos manejan la tecnología de montaje superficial (SMD, por sus siglas en inglés).

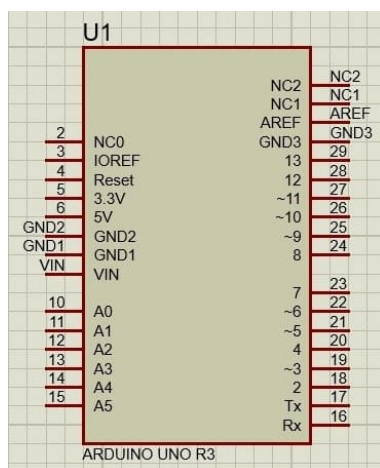


Figura 3.4: Esquemático Arduino UNO R3

Una vez analizado cada sensor, los que se pueden descomponer son: el reloj en tiempo real (consta de un microcontrolador DS1302, una batería 3V mod. CR2032 y un cristal de cuarzo de 32.768KHz) y el sensor de temperatura y humedad (consta del sensor- DHT11 y una resistencia de 5K) para los demás sensores se adaptan

conectores de tal manera que sólo sean de montaje con sus respectivos componentes extras que se acoplan a estos mismos para su conexión correcta. Con respecto a la verificación de existencia de los componentes en el software, el único que no se encontró es el Arduino, por lo que se comenzará creando tanto su esquemático como la huella (footprint) para tenerlo agregado en las librerías porque es la arquitectura principal para la conexión de los dispositivos.

Para agregar este componente a la librería, se comenzó por dibujar el esquemático del Arduino UNO R3. Para ello se tomó un rectángulo y se le asignaron los mismos números de pines que tiene la tarjeta como tal con sus respectivos nombres como se muestra en la figura 3.4:

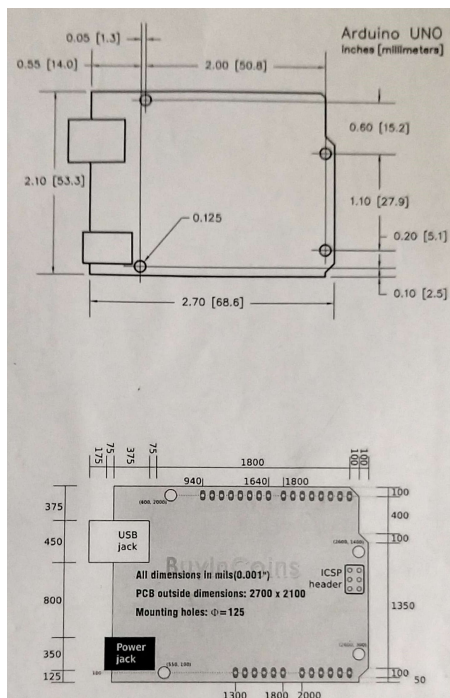


Figura 3.5: Dimensiones de la placa comercial

Ya realizado y agregado el componente a la librerías, se continúa con el diseño del footprint (huella). Para llevarlo a cabo, se tomaron como base las dimensiones de la placa comercial que se muestra en la figura 3.5 Las medidas que se utilizaron fueron en milímetros, aunque también se manejan las medidas en pulgadas. Esto con el objetivo de obtener las medidas exactas de los pines y el espacio que debe de haber entre ellos y la forma exacta de la tarjeta debido a que el diseño es una shield, por

eso es gran importancia al momento de hacer el diseño de la PCB.

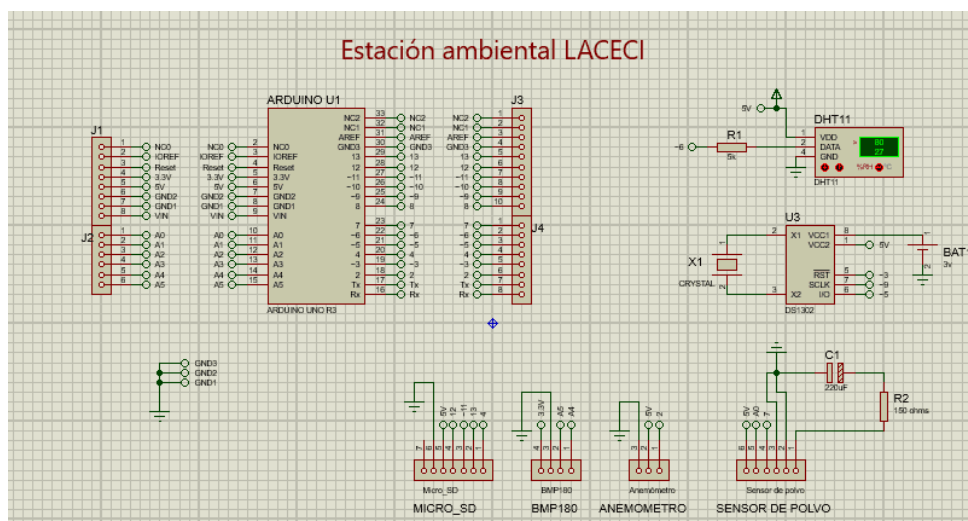


Figura 3.6: Esquemático general de la estación ambiental LACECI

Se inicia realizando el esquemático completo de la estación ambiental con sus respectivos componentes, símbolos, conexiones de los sensores al Arduino así como algunas anotaciones de ser necesario. El esquemático de la estación completo se observa en la figura 3.6.

Como se puede observar en el esquemático, tanto del lado izquierdo como derecho del Arduino UNO R3 se agregaron conectores extras con el propósito de que la tarjeta de desarrollo pueda ir abajo o arriba dependiendo de su propósito e incluso para conectar más componentes si fuese el caso.

Diseño del layout PCB

El Layout PCB o también conocido como Boardfile, es el archivo donde se realiza el diseño tarjeta. Para llevar a cabo este diseño que se pretende realizar, ya que se va a relizar ya que puede ser de montaje superficial donde los componentes se soldan a los pads (zona de contacto en la PCB por medio de un pin o terminal de un componente), en las capas exteriores o Through hole (a través del orificio) donde los pines de los componentes se insertan en los orificios y se fijan a la tajeta soldada.

Los aspectos a considerar en el diseño del layout, son:

1. Para el diseño se toma en cuenta la cuadrícula (grid) que se va a emplear en la colocación de los componentes y el trazado de las pistas. La medida por

default es de 50 y 25 milímetros. En este caso, el programa maneja las siguientes medidas: 0.1 mm, 0.5 mm, 1.0 mm y 2.5 mm.

2. Si se desea limitar el tamaño de la PCB se debe ajustar el área del diseño. A continuación se importa la lista de los componentes y conexiones que se realizó en el esquemático.
3. Es conveniente agrupar los componentes por grupos y así minimizar los trazos de conexión haciendo las pistas más cortas y evitar los posibles efectos parásitos resistivos y capacitivos. Estos efectos pueden ser relevantes para frecuencias altas o en su defecto, cuando la corriente cambia bruscamente.

4. Ancho de pista

Para el trazado de pistas es necesario seleccionar el ancho de las pistas que se vaya a emplear. Es decir, el ancho de la pista debe permitir el paso de la corriente máxima que vaya a circular por dicha pista. Por ejemplo, en un recubrimiento de cobre 35 micras, se maneja los siguientes valores:

- Para una intensidad de 2 amperios, se maneja un ancho de pista de 0.8 milímetros.
- Para una intensidad de 5 amperios, se maneja un ancho de pista de 2 milímetros.
- Para una intensidad de 10 amperios, se maneja un ancho de pista de 4.5 milímetros.

La siguiente clasificación se basa en el ancho de pista para definir la corriente máxima que pasará en ella.

- Si se tiene un ancho de pista de 0.2 milímetros, acepta una corriente máxima de 0.5 amperios.
- Si se tiene un ancho de pista de 0.5 milímetros, acepta una corriente máxima de 0.5 a 2 amperios.
- Si se tiene un ancho de pista de 1 milímetros, acepta una corriente de 3 amperios.
- Si se tiene un ancho de pista de 1.5 milímetros, acepta una corriente de 2 a 4 amperios.
- Si se tiene un ancho de pista de 4 milímetros, acepta una corriente de 8 a 10 amperios.

Por lo tanto, para corrientes menores de 300 miliamperios se puede utilizar un ancho de pista de 0.5 milímetros, y para corrientes mayores por norma se utiliza los 0.5 milímetros de ancho de pista por cada amperio siendo éste el valor mínimo, tomando en cuenta que para señales digitales rara vez se superan las corrientes máximas.

Separación de las pistas

Otro aspecto que hay que tomar en cuenta al momento de trazar las pista, es la separación mínima entre ellas mismas, la cual dependerá de la tensión de trabajo que soporten, como se muestra en el cuadro 3.3.

Tensión (V)	Separación mínima (mm)
0 a 30	0.317
31 a 50	0.444
51 a 150	0.571
151 a 300	0.825
301 a 500	1.587
>500	0.033 mm/V

Cuadro 3.3: Tabla de voltajes y separación entre pistas

Por lo tanto, si la tensión de trabajo se encuentran entre los 5V - 10V, la separación mínima entre pistas es de 0.3mm.

5. Trazado de pistas

Para trazar las pistas se recomienda evitar ángulos de 90 grados. Por ende se recomienda que los ángulos de las curvas de las pistas no deben superar los 45 grados para no ocasionar un auto inducción (Fenómeno electromagnético que se presenta en circuitos eléctricos ocasionando la influencia entre sí mismo a través de campos electromagnéticos variables) sobre la misma que provoque una deformación en la señal.

La distancia mínima entre las pistas y los bordes de la placa tiene que ser de dos décimas de pulgada, es decir, 5mm aproximadamente. Por consiguiente, cuando dos o más pistas se encuentren paralelamente deberán respetar la distancia de separación.

No deben pasar pistas entre dos terminales de componentes activos (diodo, microprocesador, transistor, etc). En cambio, con los componentes pasivos (resistencias, condensadores, etc.) sí se pueden pasar pistas.

Otro aspecto es la sujeción de la placa a una caja, por lo que se recomienda que en cada esquina de la placa se coloquen perforaciones con un taladro de 3,5 mm.

Para el diseño de las pistas en la PCB hay que tomar en cuenta la longitud, grosor y la corriente máxima que deberán conducir, por lo que es recomendable determinar las dimensiones de las pistas a usar, puesto que si se diseñan mal podría incrementar el valor de una resistencia no deseada e incluso causar problemas por caídas de tensión o que funcione como un fusible al limitar el paso de corriente.

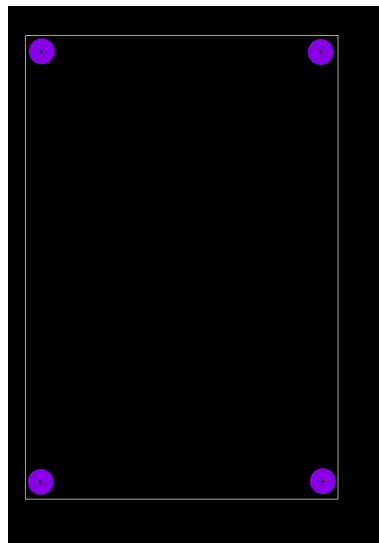


Figura 3.7: Área de trabajo de la placa en desarrollo

6. Por último al momento de diseñar la placa se manejan diferentes layer (capas) donde cada una tiene su función principal, tales como:
 - Capa de taladro: Se selecciona la opción Drill que es donde se introduce la máquina para realizar los taladros con sus respectivas brocas de la placa.
 - Capa cara superior: Normalmente en esta capa se crean las pistas que van por debajo y recibe el nombre de Top copper.
 - Capa cara inferior: En esta capa se selecciona la capa Bottom copper, siendo esta la capa donde se diseñan las pistas que van por arriba.

de color amarillo denominadas vectores de fuerza, con el propósito de indicar la dirección hacia donde debe desplazarse el componente para obtener los trazos unión de menor tamaño y que las pistas sean de menor longitud.

Ahora que ya se dispone de la PCB con todos los componentes, se configura el ARES (herramienta con la cuenta el software, para la elaboración de las placas de circuito impreso) para definir las propiedades del diseño, así como las limitaciones que se desean aplicar y las consideraciones a tener desde la separación mínima entre las pistas hasta la distancia que deben colocarse los componentes respecto al borde de la placa.

En la opción de administración de reglas de diseño (o por sus siglas en inglés, "Design Rule Manager") se define la distancia entre las huellas (pad), pistas (trace), gráficos (Graphics) y los bordes de la placa (Edge/Slot) por lo que se le asigna el valor de 20th (donde 1th equivale a una milésima parte de una pulgada) equivalente a 0.508mm de distancia.

Por lo que se refiere al trazado de las pistas, el software dispone de una opción de trazado automático donde la potencia, rapidez y flexibilidad permite generar casi todas las rutas de la placa del circuito impreso con pistas de cualquier grosor con ángulos de 90 y 45 grados. Hay que tomar que el auto ruteado respeta las pistas que se han trazado manualmente, ya que no trata de borrarlas ni modificarlas.

Para saber el ancho que tendrá la pista se requirió sacar la corriente máxima de cada dispositivo como se muestra en el cuadro 3.4.

Dispositivo	Corriente máxima	Corriente máxima [Amperios]
DHT11	2,5mA	0.0025A
BMP180	650 μ A	0,00065 A
RTC DS1302	300 nA	0.0000003
Sensor de polvo GP2Y1010AU0F	16 mA	0.016 A
Sensor KY-024	20 mA	0.02 A
Módulo mi-cro_SD	10 μ A	0.00001A

Cuadro 3.4: Corriente máxima de los dispositivos

Algunos valores que proporciona el software y que se utilizaron para el ancho de pista son: T25, T40 y T50, donde las unidades están dadas por milésimas de pulgadas (por sus siglas en inglés, Thousandth of an inch (Th)). En consecuencia, para saber

su valor en milímetros se debe realizar una conversión. Para llevar el proceso de conversión es necesario saber lo siguiente:

$$1\text{pulgada} = 25.4\text{mm}$$

Por lo tanto;

$$1Th = \frac{1}{1000}\text{pulgada} \quad (3.1)$$

Se deduce que $1000Th = 25.4\text{mm}$, obteniendo:

$$1Th = \frac{25.4}{1000}\text{mm} = 0.0254\text{mm} \quad (3.2)$$

Entonces, para obtener la equivalencia de 1 mm a milésimas de pulgada, se realiza la siguiente operación:

$$1\text{mm} \times \frac{1Th}{.0254\text{mm}} = 39.37Th \quad (3.3)$$

Por ende la ecuación que se utilizó para llevar a cabo la conversión de milésimas de pulgada a milímetros es la siguiente:

$$\text{Ancho de pista (mm)} = 1\text{mm} \frac{T}{39.37Th} \quad (3.4)$$

1. **T25**

$$\text{Ancho de pista (mm)} = 1\text{mm} \frac{25}{39.37Th} \quad (3.5)$$

Ancho de pista (mm) = 0.635 mm para una pista T25

2. **T40**

$$\text{Ancho de pista (mm)} = 1\text{mm} \frac{40}{39.37Th} \quad (3.6)$$

Ancho de pista (mm) = 1.016 mm para una pista T40

3. **T50**

$$\text{Ancho de pista (mm)} = 1\text{mm} \frac{50}{39.37Th} \quad (3.7)$$

Ancho de pista (mm) = 1.270 mm para una pista T50

Por lo tanto, estos son los tres tipos de ancho de pista que maneja el diseño de la PCB tomando en cuenta el paso de la corriente máxima de cada dispositivo. Dicho esto, el rango de ancho de pista que se manejó va de los 0.5 mm a 1.5 mm con base en las consideraciones mencionadas anteriormente y tomando como referencia la tabla de corrientes máximas. Se concluye que con el ancho de pista utilizado va a circular un rango de corriente que va de los 0.5 A hasta los 4A por lo que no debería existir ningún problema en su funcionamiento.

En cuanto a los planos de alimentación se realizan después de haber trazado las pistas, para poner este plano se eligió la capa de bottom cooper y se dibujó la capa de cobre sobre el área tomando en cuenta los siguientes parámetros:

1. **Net:** El plano de masa que se eligió es GND=POWER
2. **Layout/Colour:** Es la capa donde se va a generar la superficie de disipación.
3. **Boundary:** Es el estilo de los límites de la superficie e indica el estilo de la pista que el generador va a utilizar para el dibujo de los bordes exteriores e interiores sobre la superficie de disipación.
4. **Relief:** Se especifica el estilo de la pista que se utilizó el generador para unir la superficie de disipación con un determinado pin.
5. **Type:** Es la forma que utiliza la herramienta de Proteus para representar gráficamente la superficie de disipación. En este caso se utiliza la forma solida (solid)
6. **Clerance:** Se le asigna el parámetro de 40th para determinar la distancia que se asigna entre la superficie de disipación y cualquier otro objeto de la placa.
7. **Allow Nesting:** La activación de esta opción es para crear zonas interiores en dado caso que el flujo de la zona de disipación tenga un impedimento por algún objeto.

Por lo tanto con estas características se genera la superficie de disipación de la PCB.

Por último se agregarán los textos como el nombre del autor, de la institución y del diseño.

Finalmente, la placa PCB queda de la siguiente manera:

Nota: Como se puede observar en la imagen, hay tres vías de color rojo: Normalmente estas pistas van en el diseño de una placa doble cara, pero en este caso solo

nos sirven de guía al momento de imprimir la placa por los pads thru que genera al unir una pista a otra.

De igual manera, se puede visualizar en 3D de la placa que es de gran utilidad para conocer la altura real de como se verán los componentes la altura que alcanzan e incluso los fines estéticos del diseño.

Impreso de la placa PCB

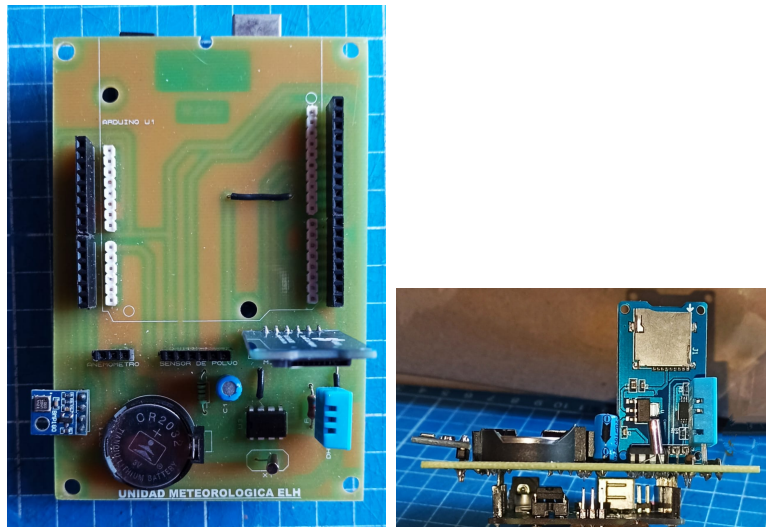


Figura 3.9: En esta imagen se observa la tarjeta de circuito impreso con los respectivos componentes.

La impresión de la placa PCB se realizó por el método de serigrafía. Es una técnica que permite imprimir imágenes sobre cualquier material. Es decir, se transfiere de una tinta a través de una malla de seda, mientras tanto para bloquear las áreas donde no habrá imagen se realiza mediante la emulsión (líquido de aspecto lácteo que contiene en suspensión pequeñas partículas) o barniz donde queda libre la zona de la tinta [16].

El procedimiento de serigrafía que se utilizó fue el de tres mallas, donde la función de cada malla es la siguiente:

1. Malla 1: Se graba el cobre y posteriormente se pone en acción el químico que va a disolver las áreas de cobre no requeridas en las conexiones eléctricas.

2. Malla 2: En esta malla se graba la mascarilla anti soldadura de protección a corrosión para dejar únicamente las zonas de soldadura.
3. Malla 3: En esta última malla se graba la descripción y posición de los componentes.

Por lo tanto la placa de circuito impreso físicamente queda de la siguiente manera:

3.4.3. Ensamble de la estación

Una vez impresa la PCB se procede a integrar cada uno de los componentes, se sueldan todos los componentes correspondientes mediante la técnica de soldadura blanda quede de tal manera como se muestra en la figura 3.9 (izquierda), aportará un punto de fusión por debajo de los 450°C.

Así mismo, la placa del circuito impreso de la estación LACECI quede de tal manera como se muestra en la figura 3.9 (derecha).

Para concluir el ensamble es necesario construir la carcasa de acrílico la cual se realizó en forma de un cubo con las medidas de 20 x 20 cm cada lado para la protección de la estación previamente diseñada con la finalidad de obtener una mejor presentación y resguardar los componentes, dividiéndola en dos donde en la parte de abajo se instaló la batería y en la parte de arriba se instaló la placa de desarrollo principal con la placa PCB (shield) como se muestra en la figura 3.10. Al hacer el ensamble en una de las caras de la carcasa, se adaptó un voltímetro-amperímetro digital como se muestra en la figura con finalidad de medir la diferencia de potencial que consume el sistema, es decir, en conjunto con el amperímetro convierten el voltaje a un voltaje proporcional haciendo que la corriente máxima sea tolerable y así coincidan los valores.

Una vez concluida la estación LACECI, la prueba se llevó a cabo el 24 de noviembre de 2020 por 24 horas. Durante el día, la estación se colocó en el cultivo casero de nopales y acelgas, mientras que por la noche se instaló en la azotea de la casa. Ver figura 3.11.

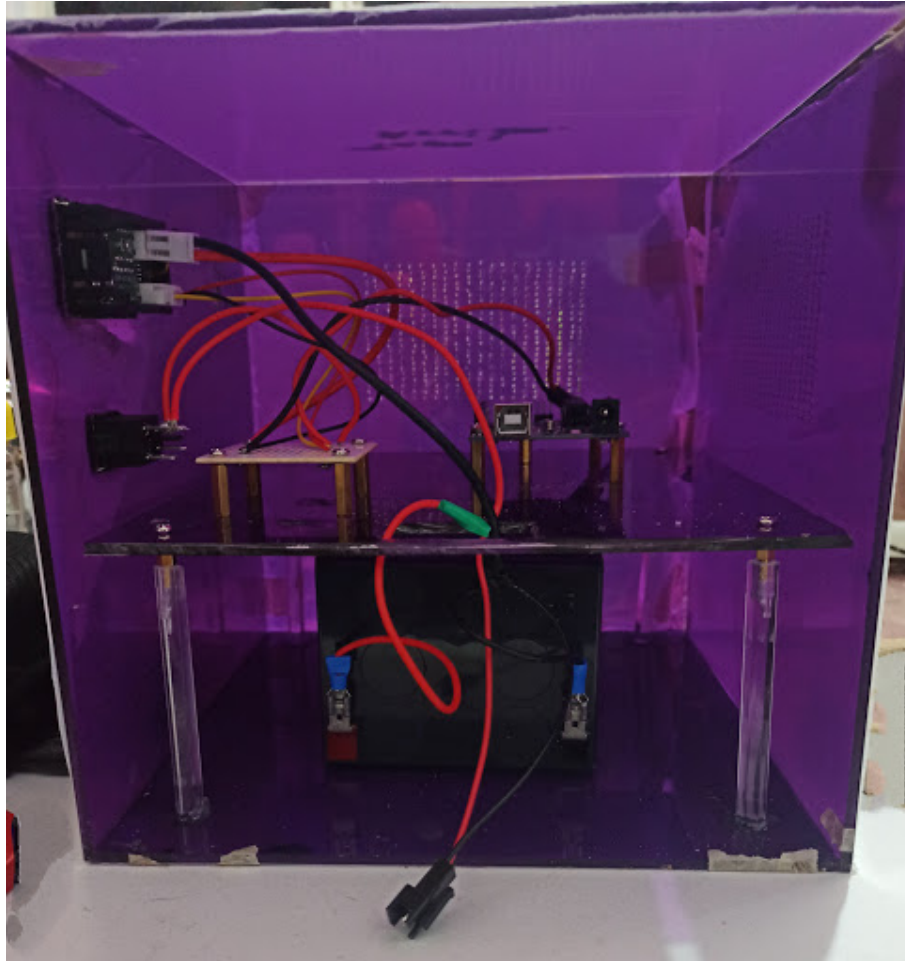


Figura 3.10: En esta figura se muestra la instalación del amperímetro, la placa principal con la PCB montada y la batería de la estación ambiental



Figura 3.11: Prueba de estación

Capítulo 4

Resultados y Análisis

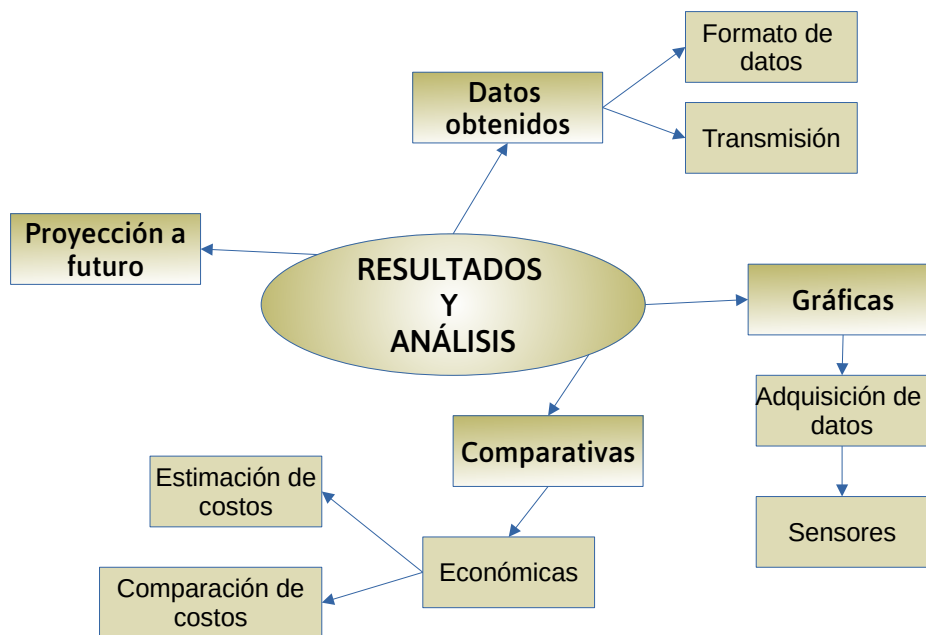


Figura 4.1: Diagrama de trabajo

La figura 4.1 muestra el diagrama conceptual que describe el proceso del análisis y resultados que se abordarán en este capítulo.

4.1. Datos obtenidos

4.1.1. Formato de datos

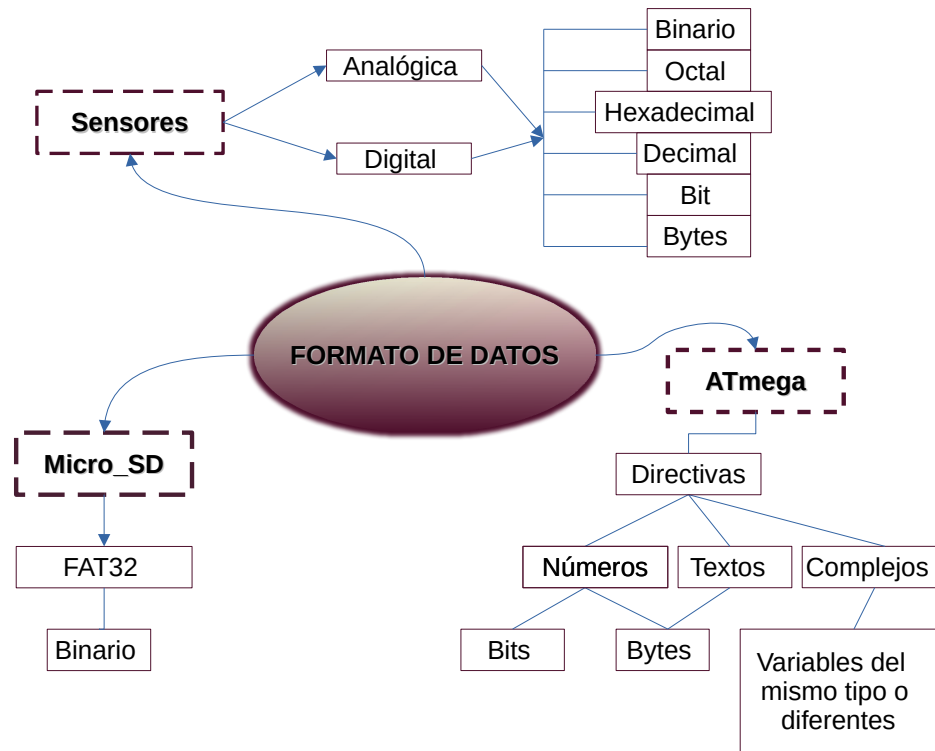


Figura 4.2: Esquema de formato de Tx y Rx.

La forma de transmisión de datos de los sensores (ver figura 4.1.1) puede ser analógica o digital e incluso algunos hacen la conversión analógica-digital mediante el sistema de modulación PCM (Modulación por Impulsos Codificados). También se utiliza el sistema de modulación PWM (Modulación por Ancho de Pulso) para modificar su ciclo de trabajo y de esta manera transmitir la información por medio de un canal de comunicación mediante bit (0 y 1), bytes (conjunto de 8 bits). Por lo tanto, el ATmega recibe esta información mediante sus puertos digitales y analógicos en forma de una señal digital y la salida puede ser mediante un contacto libre de tensión o un bus digital que para llevar a cabo este proceso, es necesario asignar las directivas correspondientes para que el código de cada sensor se ejecute

adecuadamente y los datos que son captados por los sensores se lean como números (entero o decimal) y caracteres, cuya lectura es en bit o bytes que posteriormente serán ordenados en arreglos.

Una vez realizado este proceso, el ATmega mediante una directiva permite establecer la comunicación entre el microcontrolador y la memoria. Por otra parte, la tarjeta micro_SD debe de estar formateada bajo el formato FAT32 para que sea reconocida como una memoria de almacenamiento. El proceso de almacenamiento de información de datos lo realiza de manera lógica, ya que internamente consta de dos memorias: una de control que es la encargada de organizar la información, y una flash o matriz, compuesta de celdas de memoria donde se almacenan pequeños paquetes de energía en forma binaria en 0 y 1 lo que equivale a un bit de información.

En el cuadro 4.1 se muestra la tabla de registro en este proceso de formato de datos, los cuales se obtuvieron en un periodo de 24 horas.

Hum	Temp	Temp	Presión	Polvo	Viento
66.00	15.00	13.60	73982.00	0.02	0.00
66.00	15.00	13.60	73984.00	0.02	0.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25.00	11.00	12.90	73956.00	0.09	0.00

Cuadro 4.1: Algunos registros obtenidos durante 24 horas.

Como resultado se obtienen seis columnas, donde cada una de ellas representa lo siguiente:

- Los datos obtenidos de la columna 1 (Humedad) y 2 (Temperatura) son obtenidos mediante el sensor DHT11.
- Los datos obtenidos de la columna 2 (Temperatura) y 3 (Presión barométrica) son obtenidos mediante el sensor BMP180.
- Los datos de la columna 5 representa los datos de densidad de partículas del aire como el polvo que son obtenidos por el sensor óptico GP2Y1010AU0F.
- Por último, la columna 6 representa los datos de la velocidad del viento obtenidos por el sensor efecto hall KY-024.

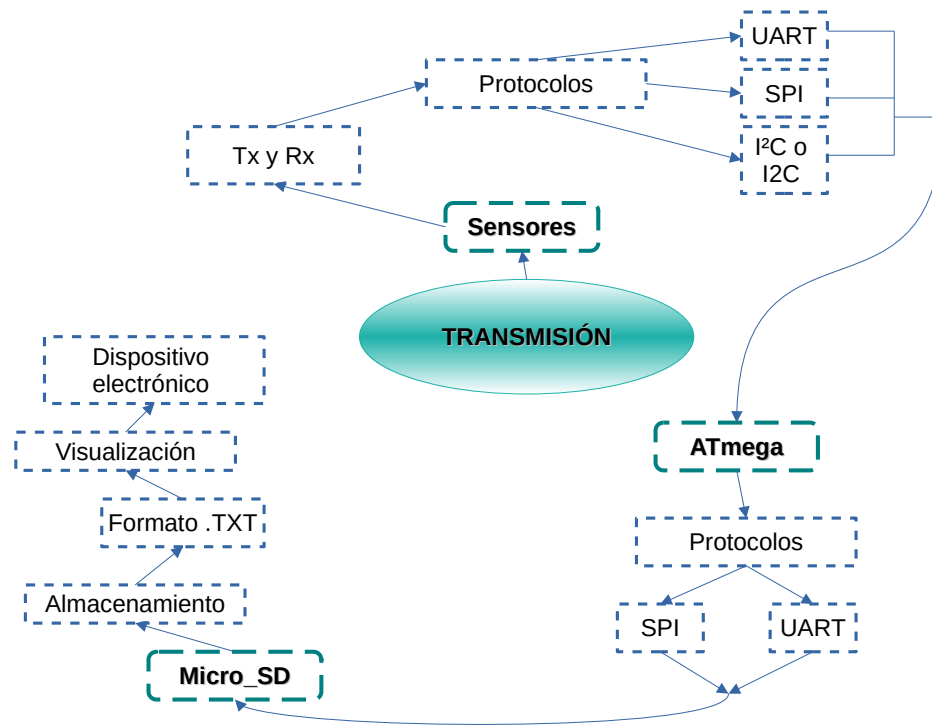


Figura 4.3: Esquema de Transmisión.

4.1.2. Transmisión

En la figura 4.3 se puede apreciar que los sensores empleados son variables de instrumentación, por lo que manejan una salida analógica y digital. La transmisión de información es en tiempo real, con un intervalo de tiempo de 2 a 3 segundos entre dato y dato. Por lo tanto, la salida analógica dependerá de la señal que se emite por un rango determinado de valores instantáneos que varían respecto al tiempo y que además son proporcionales a los efectos que se están midiendo; en cambio la salida digital sólo tomará el valor de 0 y 1.

El tipo de transmisión que realizan los sensores es en serie y de manera asíncrona y síncrona. La primera realiza la configuración de los parámetros de los datos para que coincidan de manera correcta en la transmisión y recepción de la información; también se maneja el bit de paridad (0 ó 1) cuya función es controlar errores. Si detecta que los datos no coinciden, el receptor (ATmega) los desecha y pide que los transmita nuevamente. Mientras que la segunda se encarga de realizar la sin-

cronización del receptor con el reloj permitiendo leer los datos y con una velocidad específica, permitiendo a los receptores (ATmega y la micro_SD) tengan claro cuándo inicia y termina la recepción de datos.

Para que los sensores lleven acabo la transmisión de datos con el ATmega, se utilizan los siguientes protocolos de comunicacion para la transmisión y recepción de datos:

1. El UART se encuentra estandarizado en todos los dispositivos, y en el ATmega éste se encarga de leer los datos que envían los sensores, así como generar y gestionar las interrupciones y por último, envía los datos en un tiempo de bit de 9600 baudios, es decir, transmite 9600 bits en un segundo, lo que significa que la transmisión de datos dura alrededor de $104.2 \mu s$.
2. El bus de comunicación SPI, consta de 4 hilos(líneas) y es síncrono, es decir, que controla los sensores digitales que están regulados mediante la línea de reloj, también permite la entrada y salida de datos, y mediante el pin de chip select, se encarga de conectar o desconectar la operación de los sensores con los que se desea realizar la comunicacion.
3. El bus I2C facilita la comunicación de los dispositivos, mediante sus dos líneas SCL, se encarga de sincronizar el sistema mediante los pulsos de reloj, y SDA que es la línea donde se realiza la transferencia de la información de datos, mediante la interconexión en común entre los dispositivos, siendo ésta la GND, con una velocidad de transmisión de 10 Kbits por segundo e incluso en algunos casos, la velocidad será de 3.4MHz.

Los tres sistemas de comunicación que posee el sistema están implementados por un hardware, de manera que no interfieren entre sí.

Simultáneamente la comunicación con el ATmega y la tarjeta de memoria micro_SD se considera la librería de programación correspondiente, donde se asigna el nombre de la carpeta de trabajo, con una longitud de 8 caracteres, así como la extensión .TXT (archivo de texto simple). Una vez realizado este proceso, se lleva a cabo la comunicación mediante el protocolo SPI y los pines digitales del ATmega con una velocidad de transmision de 2 MBytes/s. Posteriormente, para la visualización de los datos en el ordenador, la extensión que se le dio es un formato universal que permite intercambiar información, ya que está conformado por componentes ordinarios lo que permite utilizar dicha información.

4.2. Gráficas

Para realizar las gráficas se debe considerar que en el intervalo de prueba de 24 horas se obtuvo un total de 29564 muestras, por lo que se concluye que por cada minuto se obtienen 20 muestras con un intervalo de tiempo de 3 segundos entre dato y dato.

4.2.1. Humedad

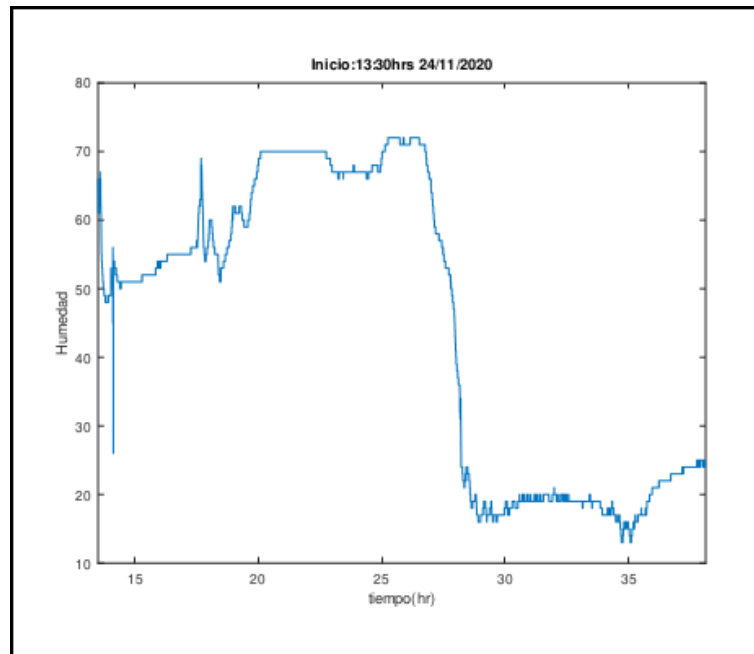


Figura 4.4: Gráfica de Humedad vs. Tiempo

El sensor DHT11 es un sensor calibrado que mediante su sensor capacitivo se obtiene la humedad relativa (HR) con una trama de datos de 16 bit, donde los primeros 8 bit son la parte entera y los otros 8 son la parte decimal. El resultado está dado en porcentaje en la escala de 0 al 100, el rango de medición es de 20% hasta el 90% con una precisión en los datos del 5% con un tiempo de respuesta de 1 segundos entre dato y dato a una frecuencia de 1Hz.

Los datos que se obtuvieron respecto a la humedad se representa en la figura 4.4, donde se puede observar que al inicio se obtiene una HR arriba del 60%; no obstan-

te, después de transcurrir aproximadamente 8 horas, el sensor detectó un error en la medición debido al ruido que se genera, es decir, una señal de interferencia que se añade o se suma a nuestra señal útil, produciendo estos efectos perjudiciales al momento de obtener las mediciones. Por lo tanto, tenemos que, mientras la temperatura del aire este en aumento se produce una disminución en la HR. Hay que tomar en cuenta que la humedad es la variable ambiental más difícil de controlar, por lo esta varía paralelamente con la temperatura. Se puede deducir que, si la humedad es demasiado baja o alta, el crecimiento de los cultivos se verán afectados. Así que la humedad relativa promedio recomendada oscila entre 45% y 60% tomando en cuenta el tiempo de cultivo.

4.2.2. Temperatura

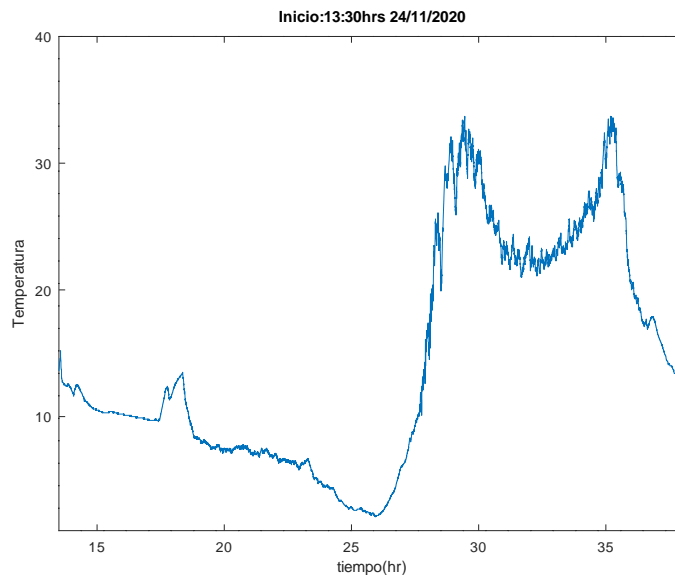


Figura 4.5: Gráfica de Temperatura vs. Tiempo

Los registros de temperatura se obtuvieron vía los sensores DHT11 y BMP180. Con el primer sensor el rango de medición es de 0 a 50°C, con una precisión de 2°C a una resolución de 1°C y con una frecuencia de 1Hz. Por otro lado, el sensor BMP180 cuenta con un rango de temperatura que va desde -40°C a 85°C, lo que permite obtener una exactitud en la temperatura de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ en condiciones estándar, pero

aumenta $\pm 1^\circ\text{C}$ al momento de obtener una medida completa y con una frecuencia de 120Hz en la obtención de muestras.

Al respecto, los registros obtenidos por estos sensores se representan en la figura 4.5 en la cual se puede observar que las mediciones no varían mucho y no se detecta ningún error al momento de que los sensores toman las muestras. Es de suma relevancia tener en cuenta que mediante estas gráficas se puede obtener la temperatura promedio en un intervalo de tiempo, considerando que para un cultivo su producción, la temperatura oscila entre los 18-25°C.

4.2.3. Presión atmosférica

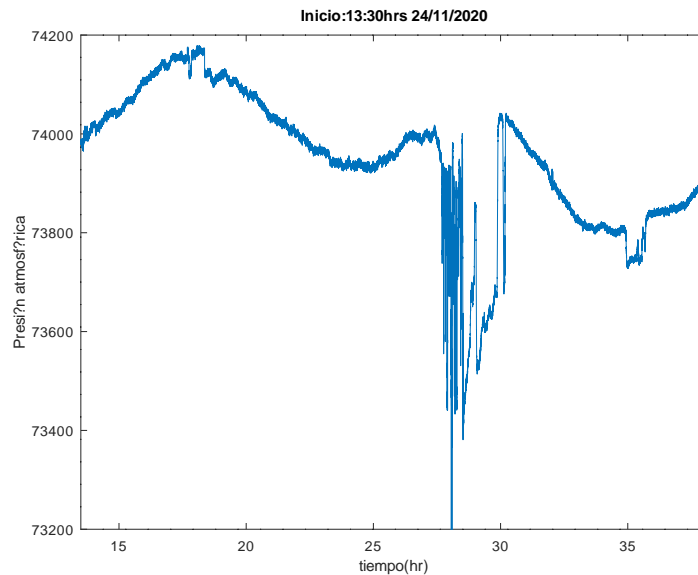


Figura 4.6: Gráfica de la altitud con base en la presión atmosférica

El sensor BMP180 mide la presión barométrica en un rango de 300 a 100 hPa (hectopascas), con una resolución de 1Pa y una presión absoluta de 1hPa. La altura va desde los 0 metros hasta 9100 metros a una frecuencia máxima de 120 Hz. Para obtener los registros el sensor, éste debe estar calibrado con la memoria E2PROM que posee dicho sensor y, tomando como referencia que se colocó a una altura de

2649 metros a nivel del mar, ver figura 4.6, se observa que hay diferentes medidas de presión simultáneamente en diferentes puntos conforme decae la temperatura. Por consiguiente, cuando la presión es alta, el tiempo es agradable. Por el contrario, cuando la presión es baja, asocia con un tiempo inestable y en ocasiones con lluvia. Como es un sensor que proporciona una salida digital, se produce un poco de ruido debido a que al momento en que el sensor genera, transmite o recibe hay una perturbación o interferencia. Este sonido es relativo, por lo que carece de información relevante.

Se debe tener en cuenta que en la agricultura la presión barométrica es de gran importancia, por lo que se debe tener un valor óptimo de 101 kPa (1010 mbar) que corresponde a la presión atmosférica existente a nivel del mar.

4.2.4. Polvo

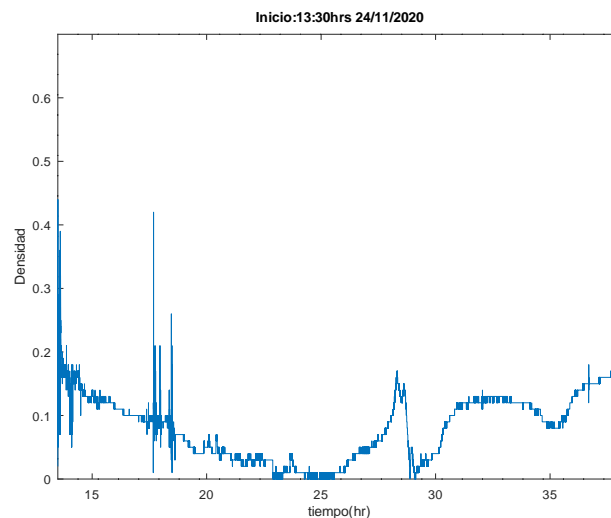


Figura 4.7: Gráfica densidad de partículas

El sensor óptico de polvo GP2Y1010AU0F detecta las partículas muy finas que existen en el aire con una dimensión de 0.5 micras, con una sensibilidad de $0.5 \text{ V}/(0,1 \text{ mg} / \text{m}^3)$. Es decir, la sensibilidad está especificada por la cantidad de cambios de voltaje de salida. Los registros obtenidos por el sensor se muestran en la figura 4.7,

considerando que su intervalo de medición es de 0.32ms para obtener una muestra. Una vez obtenida, éste se desactiva y se mantiene en este estado de reposo durante 10ms para obtener otra muestra. Asimismo, se observa que el sensor tuvo perturbaciones electromagnéticas, provocando errores de medición los cuales se representan por una línea continua.

Se puede deducir que para obtener una buena calidad de aire, debe existir una concentración de 0 a 75.000 ppm ya que para la agricultura es de gran importancia en los cultivos, ya que la mayoría de estos son muy sensibles a los contaminantes que se encuentran suspendidos en el aire.

4.2.5. Viento

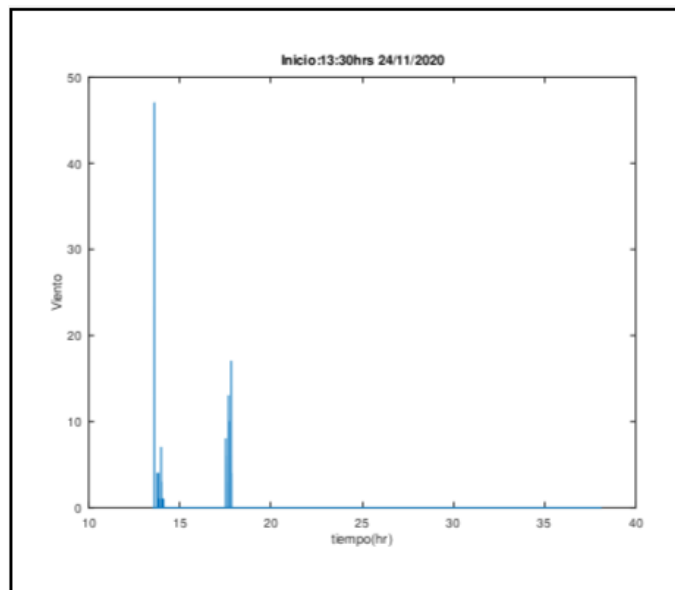


Figura 4.8: Gráfica de la velocidad del viento

Con respecto al viento, los muestras se obtuvieron con el sensor de efecto Hall, el cual se activa con la presencia de un campo magnético (imán) que se localiza en las aspas, por lo que en cuanto se presente una ráfaga de aire, éste se activa con una intensidad de paso de 1024. Simultáneamente, los registros obtenidos de la velocidad del aire son relevantes, por lo que se deben considerar las revoluciones por minuto, como se muestra en la figura 4.8.

Las coordenadas donde se colocó el anemómetro son 19.20 75197,-99.1523982, y se observa que las ráfagas de viento son intensas en intervalos cortos de tiempo.

NOTA: En las gráficas se observar que hay picos altos, esto se debe que existen un exceso de señal en proporción a la altura; es decir, la altura alcanza la desviación estándar de la señal, siendo esta la medida de dispersión más común que nos va indicar que tan dispersos estan los datos con respecto a la media.

4.3. Comparativas

La estación ambiental LACECI es una equipo multifuncional diseñado para utilizarse en la agricultura e incluso para uso particular. Es capaz de medir las condiciones ambientales en los campos agrícolas, ya que obtiene datos sobre la humedad y temperatura, presión barométrica, velocidad y dirección del viento y partículas de polvo en tiempo real, siendo éstas la variables que ofrece el sistema.

Las características técnicas de la estación LACECI son: cuenta con una tarjeta de almacenamiento micro_SD con una capacidad de 2GB hasta 32GB; el suministro de alimentación es por medio de una batería ácido-plomo con un voltaje de 12 volts y una capacidad de 9Ah (Ampere-Hora), que permite el funcionamiento del sistema y con un voltaje mínimo de 5 volts para su funcionamiento. Consta también de un Voltímetro-Amperímetro digital que mide hasta 200 voltios en corriente alterna, alcanzando una corriente máxima de 10 amperios que permite obtener la medición del voltaje y la carga que consume cuando la estación esta en operación. Además alcanza una potencia máxima de 480 mW y una mínima de 200 mW.

4.3.1. Comparativas económicas

En la actualidad la importancia de diseñar, desarrollar e implementar un proyecto basado en las tecnologías de la información implica almacenamiento, recuperación, transmisión y manipulación de datos con el fin de obtener la viabilidad del mismo. Portal motivo se toman en cuenta las tecnologías disponibles, el análisis de costos, disponibilidad de materiales y precisión de los componentes (medidas) con la finalidad de que se pueda presentar un prototipo competitivo e innovador.

Por lo tanto, es necesario buscar información e identificar las principales características de adquisición de una estación meteorológica con la finalidad de resolver el problema en cuestión y satisfacer las necesidades que se requieran. Al adquirir una estación ambiental un factor importante es el costo, debido a que este involucra la cantidad de variables físicas que se desea medir, la reparación de las mismas, así como la precisión y sensibilidad de los sensores al momento de medir.

Descripción	Num	Precio unitario	Importe
Tarjeta Arduino Uno R3 con cable incluido AB	1	\$100.00	\$100.00
Sensor DHT11 de Temperatura y Humedad	1	\$39.00	\$39.00
Sensor KY-024 de efecto Hall	1	\$45.00	\$45.00
Sensor BMP180 de Presión atmosférica	1	\$75.00	\$75.00
Módulo de micro_SD	1	\$30.00	\$30.00
Memoria micro_SD de 32 GB marca Samsung	1	\$168.00	\$168.00
Encapsulado DS1302	1	\$24.00	\$24.00
Pila CR2032	1	\$35.00	\$35.00
Zócalo pila CR2032	1	\$10.00	\$10.00
Cristal de cuarzo 32.768KHz	1	\$13.00	\$13.00
Conector hembra-macho	6	\$9.00	\$54.00
Resistencia varias	3	\$1.00	\$3.00
Capacitor	1	\$8.00	\$8.00
Impresión placa PCB	1	\$120.00	\$120.00
Soldadura	1	\$25.00	\$25.00
Voltímetro-Amperímetro digital	1	\$145.00	\$145.00
Interruptor	1	\$15.00	\$15.00
Batería 12 volts	1	\$500.00	\$500.00
Carcasa acrílico adaptado	1	\$770.00	\$570.00
Software libre	1	\$00.00	\$00.00
		TOTAL	\$2,174.00

Cuadro 4.2: Tabla Estimación de costos de la estación ambiental LACECI

Estimación de costos

En el cuadro 4.2 se presenta una tabla resumida con el costo estimado del proyecto.

La estimación de costo que se realizó es por fabricación individual de la estación, tomando en cuenta que los precios presentados son por adquisición al menudeo de cada dispositivo y los precios están sujetos al tipo de cambio del dólar, por lo que la cotización puede variar cuando la producción sea mayor.

Comparación de costos

Para poder llevar a cabo la comparación de costos, es importante informarse acerca de las tecnologías competitivas existentes en el mercado. Por consiguiente, el prototipo planteado se desarrolló de manera similar a las características que poseen las estaciones ambientales comerciales. Por esta razón, el objetivo principal es reducir el costo considerablemente para su adquisición al público que cuente con un predio de siembra y no tenga los recursos económicos necesarios para adquirir una estación meteorológica comercial.

En el cuadro 4.3 es una comparativa en costos respecto a las estaciones comerciales y el prototipo.

Con base en la información de la tabla, se concluye que el prototipo puede aumentar o disminuir su costo al igual que una estación, con la investigación y pruebas necesarias en su fabricación en serie, y de esta manera poder competir comercialmente. Aunque las otras estaciones pueden medir más variables, no todas cuentan con una tarjeta de memoria portátil que permita visualizar los datos en cualquier ordenador y tampoco cuentan con una batería, ya que estas se alimentan por medio de celdas solares, ocasionando que en días nublados disminuya su eficiencia.

4.4. Proyección a futuro

Como se ha mencionado en todo este trabajo, la estación ambiental que lleva por nombre LACECI es un prototipo que está diseñado para que se le puedan hacer mejoras e incluso optimizarlo más a futuro; por ejemplo, en el prototipo los sensores que se utilizaron fueron bajo la tecnología THT (Through-Hole) pero en un estudio más detallado y si se cuenta con las herramientas necesarias, se puede diseñar bajo la tecnologías SMD (Montaje Superficial) donde los componentes son más pequeños y las conexiones se realizan en contactos planos, tomando como base el diseño de la PCB. En cuanto a los sensores, se pueden agregar otros con el propósito de obtener

Estación meteorológica	VARIABLES FÍSICAS MEDIBLES	Costo en MXN
WatchDog WD-2700	Temperatura y Humedad Dirección del viento Presión atmosférica Pluviometría Radiación solar	\$41,399.62
WD-2900	Temperatura y Humedad Dirección y velocidad del viento Presión atmosférica Pluviometría Radiación solar	\$50,093.54
Vantage Pro2 Plus Inalámbrico	Temperatura y Humedad Dirección y velocidad del viento Presión atmosférica Pluviometría	\$36,591.00
Devis Vantage Pro2 Aktiv Plus	Temperatura y Humedad Dirección y velocidad del viento Presión atmosférica Pluviometría Radiación solar	\$35,025.00
Prototipo LACECI	Temperatura y Humedad Dirección y velocidad del viento Presión atmosférica Partículas de polvo	\$2,155.00

Cuadro 4.3: Tabla comparativa de costos

más mediciones como gases, radiación solar, etc. Asimismo, en la arquitectura principal del sistema se pueden cambiar las tarjetas Arduino por las Raspberry e incluso se puede usar un microcontrolador.

Mientras en la transmisión de información se puede implementar una módulo de wi-fi, bluetooth para que la información se almacene en una base de datos e incluso en una a un sitio web en tiempo real, sin la necesidad de estar expulsando la tarjeta mickro_SD. Por otra parte, para la visualización de los datos se puede implementar una pantalla LCD o una tableta.

El diseño de la carcasa de protección puede ser de policarbonato u otro que sea resistente a la intemperie, incluso de diferente forma y color. Otro aspecto de suma importancia es el anemómetro, el cual es una de las partes que tendrá mejor cambio a futuro, tanto en su base como en las aspas.

Por último, en el suministro de energía al sistema, la batería es muy satisfactoria, aunque también se le podrían añadir celdas solares para que sirva de suministro tanto para cargar la bateria como para el funcionamiento del sistema; esto es, en días en que no haya luz solar, entraría en acción la batería. Y cuando la luz solar esté en perfectas condiciones, mediante la celdas solares podría suministrar energía al sistema y cargar la batería a su vez. Esto con el propósito de ser un prototipo más innovador y sustentable.

Conclusiones

- ❑ En este proyecto se implementó una configuración de dos placas; la primera es una placa de desarrollo comercial que debido a su microcontrolador nos permitió la configuración y la conexión de los sensores. La segunda es una tarjeta de circuito impreso de una sola cara diseñada de modo de extensión, para ampliar las capacidades del hardware de la placa comercial y simplificar las conexiones de los sensores. Siendo esta la parte final de este prototipo.
- ❑ Asimismo, se realizó el diseño de la PCB mediante un software libre y con sus herramientas de desarrollo como el esquemático, el layout PCB nos permitió trazar la topología de pistas, permitiendo que ninguna conexión interfiera a las otras así se logró la reducción de la conexión de los sensores.
- ❑ Una vez ensamblado el prototipo final de la estación ambiental LACECI se realizaron las pruebas correspondientes de esta en un tiempo de 24 horas que estuvo distribuido durante el día y la noche. En este periodo de tiempo se obtuvieron un total de 29564 registros con intervalo de 2 segundos entre los registros con un almacenamiento en la memoria de 1.2 MB y una potencia de 36mW.
- ❑ El tiempo de diseño, ensamble y pruebas tuvo una duración de 1 año por cuestiones de la pandemia que se suscitó fue complicada la adquisición de los materiales. En base a las pruebas se concluye que es un prototipo con una vida útil de 1 a 2 años debido a que los sensores que usa no son industriales, cuando se dañe uno su adquisición y sustitución es de manera simple.
- ❑ Por lo tanto, es una estación económica además que es portable gracias a su diseño en forma de cubo que permite que los sensores y la fuente de alimentación estén protegidas y su peso no excede a más de 2 kg, y que por el material pueda estar expuesta a intemperie.
- ❑ Conforme a los protocolos de comunicación que utilizan los sensores y la placa comercial garantizan un funcionamiento correcto en la tarjeta de expansión PCB.

- Por último, es un prototipo que se puede seguir modificandose hasta convertirlo en una estación comercial competitiva con las ya existentes, además de que puede ser adaptada para ser utilizada en diferentes áreas.

Índice de cuadros

2.1.	Características técnicas Arduino UNO R3	35
2.2.	Características técnicas sensor DHT11	37
2.3.	Características técnicas sensor BMP180	41
2.4.	Dirección de comandos por byte	47
2.5.	Características técnicas del módulo DS1302 RTC	51
2.6.	Características técnicas del sensor KY-024	54
2.7.	Especificaciones técnicas del sensor de polvo óptico GP2Y1010AU0F .	56
2.8.	Especificaciones técnicas del módulo de Micro_SD	57
2.9.	Especificaciones técnicas batería CSB HR1221WF2	59
2.10.	Características técnicas Voltímetro-Amperímetro digital	60
3.1.	Kicad tiene la ventaja de ser libre y gratuito.	72
3.2.	Proteus tiene la ventaja de un simulador de circuitos.	73
3.3.	Tabla de voltajes y separación entre pistas	79
3.4.	Corriente máxima de los dispositivos	82
4.1.	Algunos registros obtenidos durante 24 horas.	91
4.2.	Tabla Estimación de costos de la estación ambiental LACECI	100
4.3.	Tabla comparativa de costos	102

Índice de figuras

1.1. DIAGRAMA DE TRABAJO	1
1.2. Caseta Meteorológica o Caseta de Stevenson	3
1.3. Clasificación de estaciones por su número de instrumentos y su función	5
1.4. Mapa de Isobaras	11
2.1. DIAGRAMA DE TRABAJO	25
2.2. Plan de trabajo	26
2.3. Diagrama del prototipo de la estación ambiental	28
2.4. Se seleccionó la tarjeta de entre otras por la disponibilidad de puertos, costo y accesibilidad.	30
2.5. Placa de desarrollo comercial	31
2.6. Proceso de comunicación en DHT11	38
2.7. Esquema eléctrico Sensor DHT11	40
2.8. Condición de comienzo y paro	42
2.9. Proceso de medición del BMP180	43
2.10. Proceso de comunicación Protocolo I ² C	44
2.11. Diagramas del sensor RTC y el integrado DS1302	45
2.12. Registro de dirección	48
2.13. Gráfica de resumen de datos de transferencia	49
2.14. Esquema eléctrico RTC	52
2.15. Sensor y conexión de polvo óptico GP2Y1010AU0F	57
2.16. Esquema eléctrico del módulo de Micro_SD	58
2.17. Se observa las conexiones de los sensores de manera gráfica que con- forman la estación ambiental LACECI	63
2.18. Diseño de la carcasa de la estación ambiental LACECI	65
3.1. Diagrama de trabajo	67
3.2. Esquema de conexión estación ambiental LACECI	69
3.3. Diagrama de bloques del sistema implementado	70

3.4. Esquemático Arduino UNO R3	75
3.5. Dimensiones de la placa comercial	76
3.6. Esquemático general de la estación ambiental LACECI	77
3.7. Área de trabajo de la placa en desarrollo	80
3.8. Diseño de conexiones y pistas	81
3.9. En esta imagen se observa la tarjeta de circuito impreso con los respectivos componentes.	85
3.10. En esta figura se muestra la instalación del amperímetro, la placa principal con la PCB montada y la batería de la estación ambiental .	87
3.11. Prueba de estación	88
4.1. Diagrama de trabajo	89
4.2. Esquema de formato de Tx y Rx.	90
4.3. Esquema de Transmisión.	92
4.4. Gráfica de Humedad vs. Tiempo	94
4.5. Gráfica de Temperatura vs. Tiempo	95
4.6. Gráfica de la altitud con base en la presión atmosférica	96
4.7. Gráfica densidad de partículas	97
4.8. Gráfica de la velocidad del viento	98

Referencias

Referencias específicas

- [1] Crowley, T. J., and North, G. R. (1988). Abrupt climate change and extinction events in earth history. *Science*, 240(4855), 996-1002.
- [2] Veizer, J., Ala, D., Azmy, K., Bruckschen, P., Buhl, D., Bruhn, F., ... , and Strauss, H. (1999). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater. *Chemical geology*, 161(1-3), 59-88.
- [3] Myers, R. O. (1962). 5—Sir Thomas Stevenson (1838–1908). *Medicine, Science and the Law*, 2(2), 165-168.
- [4] Brenes, Á., and Saborío, V. F. (1995). *Elementos de climatología: su aplicación didáctica a Costa Rica* (No. 1). EUNED.
- [5] Commons, C. (2009). Attribution-Share Alike 2.5 Generic. Web page. Available from World Wide Web:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>.
- [6] Aranda, D. (2014). *Electrónica: Plataformas Arduino y raspberry pi*. Argentina: Editorial Foxandina. Código Biblioteca UTN, 621, A73.
- [7] Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., and Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- [8] Casas, R. R. (2001). La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas.
- [9] Palomares Calderón de la Barca, M. (2015). Breve historia de la Agencia Estatal de Meteorología AEMET: el servicio meteorológico español.

- [10] Freitas, M. P. P. D. (2018). Caracterização de sensores e abrigos meteorológicos de baixo custo.
- [11] Dallas Semiconductor Corp. division of MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, INC. (2019).DS1302 Trickle Charge Timekeeping Chip. No, Act Yes.
- [12] Serna, A., Ros, F., y Rico, J. C. (2010). Guía práctica de sensores. Creaciones Copyright SL.
- [13] Cabello, P. L., Coello, J. L. T., Ingeniero Iribarren, S. P. A., y Mód, N. K. (1999). Baterías avanzadas. Laboratorio de Química Inorgánica, Universidad de Córdoba.
- [14] Mitzner, K. (2009). Complete PCB design using OrCAD Capture and PCB editor. Newnes.
- [15] Salas, R., Pérez, J., y Ramírez, J. (2007). Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos. Universidad de los Andes. Venezuela.
- [16] Diéguez, M. D. M. R. (2013). Impresión en serigrafía (UF1524). IC Editorial.

Referencias Generales

- [17] Arce, T. S., & Rodríguez, A. E. (1985). Caracterización ambiental de los principales sistemas de cultivos en fincas pequeñas (El Progreso-Panamá). CATIE.
- [18] Hong-ling, Y. D. F. Z. (2006). How To Use The Trickle Charge Timekeeping Chip DS1302 [J]. Information Technology and Informatization, 1.
- [19] Aparicio, M. P. (2010). Diseño y desarrollo de circuitos impresos con KiCad. Rc Libros.
- [20] Ángel,Xavier(2019). DFM: Optimización del diseño para una mejor fabricación [Archivo PDF]. Recuperado de <https://www.lab-circuits.com/uploads/doc/tech/3-DFM-1.pdf>.
- [21] Daniel, S, and Anthony, R.(2015). Diseño e implementación de una estación meteorológica remota de costo empleando el enfoque al internet de las cosas (tesis de pregrado). Universidad Piloto de Colombia.
- [22] Gallardo, P. I. (2015). Fabricación de placas de circuito impreso con proteus (tesis de pregrado). Universidad de Valladolid.

- [23] Ing. Velázquez, R. L, A. (11 de junio del 2011). Técnicas para la elaboración de placas de circuito impreso. Slideshare. Recuperado de <https://es.slideshare.net/mcmax911/tecnicas-de-elaboracion-de-pci-pcb>.
- [24] Arce, T. S., and Rodríguez, A. E. (1985). Caracterización ambiental de los principales sistemas de cultivos en fincas pequeñas (El Progreso-Panamá). CATIE.
- [25] Wunder, S., Wertz-Kanounnikoff, S., and Sánchez, R. M. (2007). Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. *Gaceta ecológica*, (84), 39-52.
- [26] Jarvis, D. I., Padoch, C., y Cooper, H. D. (2015). La biodiversidad, la agricultura y los servicios ambientales. *Manejo de la Biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas*.
- [27] Molina-Aguilar, J. P., Gutiérrez-López, A., and Paz, I. C. (2020). Dam-Operation Policy During Hurricane Season Using Regional Flows with Canonical Correlation Analysis. In *Water Resources of Mexico* (pp. 219-236). Springer, Cham.
- [28] Medina-García, G., Grageda-Grageda, J., Ruiz-Corral, J. A., & Báez-González, A. D. (2008). *Uso de estaciones meteorológicas en la agricultura*. México. INIFAP.
- [29] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2021). *Manual 3: Redes estaciones y equipos de medición de la calidad del aire*. Recuperado de <https://sinaica.inecc.gob.mx> en la sección de manuales de monitoreo.
- [30] Guil, A. S. M. (2008). *Aplicaciones ambientales en la agricultura intensiva de El Ejido (Almería): SAT Hortofrutícola Ejidoverde* (Vol. 250). Universidad Almería.
- [31] Rodríguez, R., Benito, A., y Portela, A. (2004). *Meteorología y climatología*. Fundación española para la ciencia y la tecnología. Villena Artes Gráficas. España, 12-16.
- [32] Cervantes, O, Jaramillo, P, Gavela, O, Cardenas, P, Reyes, M, y Cruz, O.(8 de octubre del 2014). *Variables de instrumentación*. Slideshare. Recuperado de <https://es.slideshare.net/VictoriaWorcs/variables-de-instrumentacion>

- [33] Campetella, C., Cerne, B., y Salio, P. (2011). Entornos invisibles: de la ciencia y tecnología. Estación Meteorológica, guía didáctica. Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, Buenos Aires, Argentina. Pág, 34.
- [34] Ruiz-Ayala, D. C., Vides-Herrera, C. A., y Pardo-García, A. (2018). Monitoreo de variables meteorológicas a través de un sistema inalámbrico de adquisición de datos. *Rev. investig. desarro. innov*, 8(2), 333-341. doi: 10.19053/20278306.v8.n2.2018.7971
- [35] Novillo-Vicuña, J., Rojas, D. H., Olivo, B. M., Ríos, J. M., y Villavicencio, O. C. (2018). *Arduino y el internet de las cosas (Vol. 45)*. 3Ciencias. <https://www.3ciencias.com/libros>.
- [36] Artero, Ó. T. (2013). *ARDUINO. Curso práctico de formación*. RC Libros.
- [37] Susanto, H., Pramana, R., and Mujahidin, M. (2013). Perancangan Sistem Telemetry Wireless untuk Mengukur Suhu dan Kelembaban Berbasis Arduino Uno R3 ATmega328p dan XBee Pro. Universitas Maritim Raja Ali Tanjung Pinang.
- [38] Rodriguez, G. A. I. (2014). *Práctica 2: Arquitectura de computadores y ensambladores*. Disponible <https://es.slideshare.net/lexgrajeda/arduino-41936128>.
- [39] Cruz, D. A. M., Ferrin, J. A. C., Parrales, K. M., Parrales, A. M., Hernandez, M. O., Lino, E. M., y García, F. M. (2019). *Módulo con controladores lógicos programables para la enseñanza-aprendizaje de electrónica (Vol. 50)*. 3Ciencias. <https://www.3ciencias.com/libros>.
- [40] USERS, S. (2014). *Electrónica–Plataformas Arduino y Raspberry Pi*. Editorial USERS.
- [41] Pérez, E. M. (2007). *Microcontroladores PIC: sistema integrado para el autoaprendizaje*. Editorial Marcombo, Ediciones Técnicas, Barcelona, España.
- [42] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje*, 56. <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- [43] Langbridge, J. A. (2015). *Arduino sketches: Tools and techniques for programming wizardry*. John Wiley & Sons. Canada. www.wiley.com.

- [44] Kurniawan, A. (2015). Arduino Uno: A Hands-On Guide for Beginner. PE Press. Depok, Indonesia.
- [45] López, A. P., y Sáiz, V. M. M. (2006). Sistemas electrónicos de potencia en el buque. Ed. Universidad de Cantabria, España.
- [46] Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas. Pearson educación.
- [47] Hofftman, Jon.(2018), Mastering arduino a project. based approach to electronics circuits, and programming. Ed,Packt.
- [48] Naylamp Mechatronics. (2015b). Tutorial sensor de temperatura y humedad DHT11 y DHT22. Disponible <http://www.naylampmechatronics.com>
- [49] Naylamp Mechatronics. (2015c). Tutorial sensor de presión barométrica BMP180. Disponible <http://www.naylampmechatronics.com>
- [50] Sortotec, B. (2015). Digital pressure sensor. May 7th. <https://aebst.resource.bosch.com>.
- [51] Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., y Carreño, J. M. (2014). Sensores y actuadores. Grupo Editorial Patria.
- [52] KY-024 Linear Magnetic Hall Sensor.(2020). Disponible <https://arduinomodules.info>.
- [53] Sobrevila, M. A. (2008). Sensores eléctricos. TECNIBOOK EDICIONES.
- [54] Use Arduino to drive DS1302 clock module.(2016). Disponible <https://osoyoo.com>.
- [55] Zapata, O. E. B. (2011). Microcontroladores PIC con programación PBP. Grupo Editorial RA-MA.
- [56] Maxim Integrated, Trickle-Charge Timekeeping Chip, Disponible <http://www.maximintegrated.com/datasheet>.
- [57] Del Valle, H. E. (2019). Cómo utilizar el sensor DHT11 para medir la temperatura y humedad con Arduino. Disponible <https://programarfacil.com>.
- [58] DHT11 Humidity and Temperature Sensor. Mouser Electronics, Recuperado de: <https://www.mouser.com/datasheet/pdf>. OSSEP Electronics.

- [59] Ing.Acquaticci. F. (sin fecha). Nociones sobre diseño de circuitos impresos. Departamento de electrònica circuitos electronicos II.
- [60] Chatterton, P. A., and Houlden, M. A. (1992). EMC-Electromagnetic theory to practical design. NASA STI/Recon Technical Report A, 93, 17521.
- [61] Mattio, H., y Tilca, F. (2009). Recomendaciones para mediciones de velocidad y dirección de viento con fines de generación eléctrica, y medición de potencia eléctrica generada por aerogeneradores. CREE, INENCO, Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Energía de la Nación.