

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA**  
**UNAN-MANAGUA**  
**RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO (RURD)**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA.**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA.**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA.**



**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO.**

**TÍTULO:**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES DE HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA, PRESIÓN ATMOSFÉRICA ABSOLUTA, RADIACIÓN SOLAR; POR RADIO FRECUENCIA DE USO COMO FUENTE DE REFERENCIA A NIVEL NACIONAL EN LA UNAN-MANAGUA.**

**AUTORES:**

- ❖ **BR. ERICK ALEJANDRO OBANDO LÓPEZ**
- ❖ **BR. GABRIEL ORTIZ MORENO**

**TUTOR:**

- ❖ **M Sc. SERGIO SACASA**



## **Dedicatoria**

Habiendo concluido este trabajo de graduación, lo he dedicado:

A Dios por darme la sabiduría y la vida quien me ha permitido llegar a este momento y poder culminar mis estudios universitarios el cual me brindó fortaleza en momentos en que las dificultades no tenían solución y me protegió de sucesos imprevisto que me habría detenido en momentos de aprendizaje.

A mi esposa, mis padres, familiares, amigos, y personas a llegadas por los grandes sacrificios que han hecho al brindarme los recursos económicos con los cuales contribuyeron a mi formación académica también por el apoyo e interés que demostraron en momentos difíciles los cual me motivó a esforzarme lo más que se pudiera al fin de obtener los conocimientos que me permitirían convertirme en una persona útil en la sociedad.

A mis compañeros de estudios, ya que comprenden todo el esfuerzo que hemos dedicado durante el transcurso de nuestro estudio universitario, también por el apoyo que he recibido de ellos, y debido a eso pudimos afrontar nuestras dificultades como un equipo.

A mis maestros y maestras, quienes se esforzaron por darnos sus conocimientos de la manera más sencilla a pesar de nuestra ignorancia para que pudiéramos entender y aplicarnos en el desarrollo de nuestras capacidades en el futuro y obtener un mejor nivel de vida.

¡Gracias!

Gabriel Ortiz Moreno.





## **Dedicatoria**

Habiendo concluido este trabajo de graduación, lo he Dedicado especialmente a:

A Dios, que por bondad inmerecida me ha permitido llegar hasta este momento y poder culminar mis estudios universitarios.

A mis padres, hermano, familiares y personas allegadas a mí, por los pequeños y grandes sacrificios que me han manifestado como recursos económicos y apoyo moral con los cuales han contribuido a mi formación académica, lo cual me motivó a esforzarme lo más que se pudiera a fin de obtener los conocimientos que me permitirían convertirme en una persona útil a esta sociedad.

A mis maestros, por compartir sus conocimientos y experiencias, para aplicarlos en el desarrollo de nuestras capacidades en el futuro y obtener un mejor nivel de vida.

“Gracias”

Erick Obando.





## **Agradecimiento**

Para poder realizar este trabajo de la mejor manera posible fue necesario del apoyo de muchas personas a las cuales se les agradece en este documento de monográfico:

1. Agradecemos primeramente a DIOS por permitirnos llegar a este punto de nuestra carrera. Por darnos la salud y la sabiduría cada día; por mantenerlos fuertes contra cualquier adversidad a lo largo del curso de nuestra carrera.
2. A nuestros padres, quienes nos motivaron y apoyaron incondicionalmente en los momentos de flaqueza y desesperación a lo largo de nuestra carrera universitaria.
3. Agradecemos a cada uno de los profesores de la carrera de Ing. Electrónica de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua por habernos enseñado y compartido con nosotros sus conocimientos no solo en el ámbito estudiantil, sino que también por habernos inculcado cada día a ser mejores personas.
4. Al M Sc. Sergio Sacasa por haber mantenido la paciencia necesaria para con nosotros brindándonos su apoyo en todo momento en el área de revisión y documentación de este trabajo Monográfico.
6. Agradecemos a las empresas que nos abrieron las puertas para que realizáramos los estudios pertinentes para poder completar nuestro trabajo monográfico.





## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ANTECEDENTES .....	2
3.	JUSTIFICACIÓN.....	4
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
5.	OBJETIVOS. ....	6
6.	MARCO TEÓRICO .....	7
6.1.	VARIABLES AMBIENTALES.....	7
6.1.1.	<b>Temperatura</b> .....	7
	Sensores de temperatura .....	9
	Termistores.....	11
	NTC (Negative Thermal Coefficient) .....	12
	PTC (Positive Temperature Coefficient).....	12
6.1.2.	<b>Humedad Relativa</b> .....	13
	Sensores de humedad.....	14
6.1.3.	<b>Presión atmosférica</b> .....	19
6.1.4.	<b>Radiación solar</b> .....	21
6.2.	MICROCONTROLADOR .....	23
6.3.	PLATAFORMA ARDUINO .....	25
6.3.1.	<b>Versiones de placas Arduino</b> .....	26
	Arduino UNO R3.....	26
	Características de Arduino Nano y Uno .....	29
6.4.	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	31
6.4.1.	<b>Interfaz Periférica Serial (SPI)</b> .....	31
6.4.2.	<b>Inter Circuito Integrado (I2C)</b> .....	33
6.5.	MEDIO DE TRANSMISIÓN .....	37
	Características del NRF24L01+.....	38
	Funcionamiento modulo transceptor NRF24L01+ .....	40
6.6.	SENSORES DIGITALES .....	42
6.6.1.	<b>Sensor DHT22</b> .....	42
	Características del sensor DHT22.....	44
	Comunicación del DHT22 con el microcontrolador atmega328.....	44
6.6.2.	<b>Sensor BMP280</b> .....	46
	Funcionamiento del sensor BMP280 .....	47
	Características del sensor BMP280.....	49
6.6.3.	<b>Sensor ML8511</b> .....	50
	Características del sensor de rayos ultravioletas (ML8511).....	50
	Funcionamiento del sensor ML8511 .....	51
6.6.4.	<b>Tratamiento de la señal para los sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica.</b> .....	52
6.7.	ANTENA .....	54
	Funcionamiento de una antena .....	54
	Frecuencia y tamaño.....	56
	Tipos de antenas .....	56
6.8.	PANTALLA LCD (LIQUID CRYSTAL DISPLAY) .....	59
	Funcionamiento del LCD .....	59
	Características del LCD.....	60
6.9.	MÓDULO RTC (REAL TIME CLOCK).....	61
7.	DESARROLLO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES POR MEDIO DE RADIO FRECUENCIA EN LA UNAN-MANAGUA.....	63



					
<b>7.1.</b>	<b>PRE DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES POR RADIO</b>				
	FRECUENCIA EN LA UNAN-MANAGUA .....				63
7.1.1.	<i>Conexión del sensor DHT22</i> .....				64
7.1.2.	<i>Conexión del sensor BMP280</i> .....				64
7.1.3.	<i>Conexión del sensor ML8511</i> .....				65
7.1.4.	<i>Conexión del transceptor NRF24L01+</i> .....				66
7.1.5.	<i>Conexión de la pantalla LCD 1602</i> .....				68
<b>7.2.</b>	<b>COMUNICACIÓN ENTRE PC Y RECEPTOR DE LA ESTACIÓN INALÁMBRICA</b> .....				69
7.2.1.	<i>Formato de registro de datos</i> .....				70
<b>7.4.</b>	<b>DISEÑO FINAL DEL SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES POR MEDIO DE RADIO FRECUENCIA EN LA UNAN-MANAGUA</b> .....				71
7.4.1.	<i>Diagrama electrónico completo del sistema de monitoreo de parámetros ambientales</i> .....				72
7.4.2.	<i>Elaboración del prototipo de la estación inalámbrica</i> .....				74
	Herramientas y materiales:.....				74
	Procedimiento de elaboración del prototipo de la estación inalámbrica.....				74
7.4.3.	<i>Mejoras en las antenas de transmisión y recepción</i> .....				76
7.4.4.	<i>Diagrama de flujo de la estación inalámbrica</i> .....				77
<b>7.5.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS AMBIENTALES CON LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DISEÑADA Y LA ESTACIÓN DE INETER.</b> .....				78
7.5.1.	<i>Ventajas y desventajas de la estación inalámbrica con respecto a la estación meteorológica de INETER.</i> .....				78
	Ventajas .....				78
	Desventajas .....				78
7.5.2.	<i>Pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo de parámetros ambientales por radio frecuencia</i> .....				79
	Lectura de la presión atmosférica .....				80
	Conversión de la presión atmosférica.....				80
	Lectura de la humedad relativa.....				80
	Lectura de la temperatura.....				80
7.5.3.	<i>Registro de datos</i> .....				81
	Datos en la estación meteorológica del Aeropuerto Augusto C. Sandino.....				81
	Datos registrados por la estación meteorológica inalámbrica en el Recinto Universitario “Rubén Darío” de la UNAN – Managua.....				84
7.5.4.	<i>Datos comparativos</i> .....				84
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....				87
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....				88
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....				89
<b>11.</b>	<b>ANEXOS</b> .....				90





## 1. Introducción

En la actualidad los laboratorios de investigación necesitan herramientas que sean capaces de cumplir con las exigencias que se presentan a la hora de realizar un estudio o investigación científica, por tanto se pretende implementar un sistema para monitorear los parámetros físicos ambientales, que luego serán transmitidos inalámbricamente de manera que lo puedan utilizar en los laboratorios de investigación de distintas áreas en la UNAN-Managua u otra instituciones, los parámetros tales como temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y radiación solar, con el propósito de obtener la lectura de variación de estos parámetros y utilizar los datos adquiridos en diferentes áreas de estudio tanto académico como científico.

El principal interés para desarrollar este sistema es poder determinar el comportamiento de las variables ambientales implementando la instalación de dispositivos que capten los cambios en el medio ambiente, los cuales estarán midiéndose, registrándose y enviándose con regularidad, para transmitirlos por medio de radio frecuencia a cortas y largas distancias.

Se diseñó el circuito para realizar lectura de las variables físicas ambientales utilizando sensores, se implementó microcontroladores para convertir las mediciones eléctricas que proporcionan los sensores, que captan los cambios de los parámetros físicos ambientales, también se utilizó módulos de transmisión de radio frecuencia para enviar de manera inalámbrica los datos adquiridos, y asistidos mediante software para el control de los sensores y el envío de datos, utilizando un lenguaje de programación de alto nivel soportado por el microcontrolador, de manera que permitirá monitorear los datos a distancia, se tomará registros de los datos y se importará a una pantalla LCD (display) o una hoja de cálculo electrónica (Excel) para su respectiva manipulación por distintas especialidades.

La obtención de parámetros puede ser utilizados con fines didácticos educativos o experimentales en los laboratorios de los distintos departamentos como: Física, Tecnología, Biología, o centros de Investigación como: Centro de Investigaciones Geo científicas (CIGEO), Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA), Biotecnología, u otro departamento del recinto





---

universitario Rubén Darío UNAN-Managua, que requiera la obtención del estado dichos parámetros.

## **2. Antecedentes**

A partir de 1980 la UNAN-Managua disponía de una estación meteorológica que fue autorizada y administrada por el personal del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), ubicada en la parte sureste de la universidad comprendido actualmente entre los edificios del POLISAL y el Auditorio Roberto Gonzales en cuya época no existían, donde se realizaban las mediciones de parámetros ambientales utilizando distintos instrumentos para captar la información de los cambios en el ambiente los cuales eran: Pluviómetro, Anemómetro totalizador, Tanque de evaporación, Termómetro de máxima y mínima, Heliopirógrafo, Barómetro, entre otras. Los registros de datos de la estación meteorológica de la UNAN-Managua se realizaban cada dos días, los cuales eran enviados a la base de datos del INETER por el mismo personal de la institución.

A inicio de los años 90 INETER capacita a cuatro docentes de la universidad del departamento de geografía los cuales eran los administradores y encargados de enviar los registros de datos a INETER para ser corroborado con los datos de su propia estación meteorológica y simultáneamente comparados con la información enviada desde el aeropuerto Internacional Augusto Cesar Sandino.

INETER utilizo la estación meteorológica de la UNAN como fuente de referencia para la información a nivel nacional con una aproximado de 10 parámetros medibles, que para este trabajo se pretende alcanzar un 40% de estos parámetros.

Además, en este trabajo se pretende contar con la experiencia de los docentes que fueron capacitados por INETER y que se encuentran laborando actualmente en la UNAN – Managua para así ayudar al análisis a partir de los datos obtenidos.



---

El monitoreo de la estación meteorológica en la universidad empieza a decaer entre los años 2005 y 2006 por motivos de ineficiencia en datos no creíbles realizados por la estación meteorológica ya que donde se encuentra no presta las condiciones necesarias para su funcionamiento debido a una mayor presencia de obstáculos para el monitoreo como son los edificios del POLISAL y el Roberto Gonzales, así como una mayor cantidad de árboles y por ende deja de funcionar hasta el día de hoy.



### 3. Justificación

El control de los datos sobre las variaciones climáticas es de gran utilidad para el ser humano ya que permite contar con la información suficiente sobre el comportamiento de los elementos del clima, esto permite además predecir ciertos fenómenos climáticos que puedan afectar el desarrollo de algunas actividades propias en la universidad.

El sistema de monitoreo a desarrollar brindará datos del ambiente en el lugar y sus alrededores donde será implementado. A través de un software de procesamiento de datos, el sistema de monitoreo proporcionará información relevante para realizar una gran cantidad de estudios.

La importancia de este proyecto es establecer un sistema electrónico de monitoreo y así resolver el problema de obtención de información de los parámetros físicos ambientales que beneficie a las diferentes áreas de estudio e investigación en la UNAN – Managua u otra institución según sus necesidades, de estos datos los cuales estarán regidos por la información suministrada por el fabricante. El rango de exactitud ofrecida por el fabricante de los sensores está dentro del 1 – 3% de error.

El sistema estará constituido por dos partes principales un transmisor en conjunto con sensores especiales para cada parámetro a medir y la segunda parte la conforma el receptor y la pantalla LCD para la visualización de los datos.

Por otro lado, es de singular importancia el desarrollo de este tema ya que permite introducirnos en aspectos importantes de la ciencia que por su desarrollo contribuyen a evitar problemáticas sociales, ya que con el dominio de las variaciones climáticas se podrá desarrollar charlas, talleres y conferencias sobre problemas tan sensibles como el cambio climático y el efecto invernadero, los cuales representan los problemas más serios del siglo XXI.





#### 4. Planteamiento del problema

La falta de monitoreo para la medición de los parámetros físicos ambientales es la mayor problemática que se genera para el desarrollo de las actividades académicas, científicas y de investigación en la UNAN-Managua.

¿Existe un sistema de monitoreo de parámetros físicos ambientales en la UNAN-Managua?

Ante la necesidad de contar con una propuesta del diseño de una estación meteorológica que pueda implementarse en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN –Managua) que mida los elementos de temperatura, humedad presión atmosférica y radiación solar, surge la iniciativa del desarrollo del presente tema de investigación del trabajo monográfico.

Existen departamentos de la UNAN – Managua, tales como: Geografía, Física, Tecnología, Biología o centros de Investigación como: Centro de Investigaciones Geo científicas (CIGEO), Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA), Biotecnología, u otra institución que requiera de la medición de parámetros físicos ambientales, para ser utilizados en actividades académicas, como en investigaciones científicas, por ello se hace necesario desarrollar un sistema de obtención de la información de forma continua de los distintos cambios que puedan presentar estos datos que modifican el ambiente, o sea establecer un sistema de monitoreo para la supervisión de todas estas variables, y que sean accesibles en las diferentes dependencias de la universidad que lo necesite y además que sean de fácil manipulación para realizar los estudios e investigaciones científicas.

Por tal motivo es necesario crear un prototipo que ayude al estudio de estos fenómenos que brinde información confiable acerca del estado del clima, en este sentido se propone dar respuesta desde el punto de vista de la electrónica a un problema científico y social.



## 5. Objetivos.

### Objetivo General

Desarrollar los módulos de transmisión y recepción para el monitoreo de información de parámetros ambientales en la UNAN-Managua.

### Objetivos Específicos

- Diseñar un circuito para la transmisión y recepción utilizando microcontroladores Arduino.
- Elaborar programas para el control de envío y recepción de datos en una plataforma de programación y exportarlo a hoja electrónica.
- Monitorear la información de los parámetros físicos ambientales del área utilizando el circuito diseñado mediante pruebas en la Unan-Managua.
- Verificar los resultados haciendo uso del equipo diseñado con los resultados de la estación meteorológica de INETER.



## 6. Marco Teórico

El sistema de monitoreo está constituido por un Transmisor y un Receptor, el transmisor, además está conformado por los sensores específicos para la medición de cada parámetro y que luego serán enviados al receptor y presentados en una pantalla líquida LCD. Ambos dispositivos tienen su microcontrolador con un programa específico elaborado para realizar cada función.

El programa se desarrolló basado en el estudio de variables ambientales utilizando un sistema electrónico programado, en el cual se usan las variables que se describen a continuación.

### 6.1. Variables ambientales

Las variables ambientales más importantes en una estación meteorológica 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, ver figura 1.



*Figura 1: Pequeña estación meteorológica la cual está conformada por Anemómetro, Veleta, Pluviómetro, sensor de humedad.*

#### 6.1.1. Temperatura

La temperatura es el indicador de la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire, la temperatura una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera, varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra.

---

En la escala microscópica la temperatura es el término medio de la energía de los movimientos de una partícula individual que constituyen la materia por grado de libertad. Por ello, las moléculas de un cuerpo caliente vibrarán con mayor rapidez que las de un cuerpo frío. También afecta al estado de la materia, ya que muchos cuerpos pasan de líquido a sólido a una determinada temperatura, como lo es el agua, pero también afecta a la conductividad eléctrica, entre otros fenómenos.

## **Tipos de temperatura**

### **Temperatura Ambiente**

El término de temperatura ambiente es por definición la temperatura en la que las personas se sienten mejor cuando se encuentran en lugares cerrados. Esta temperatura representa el rango en el cual el aire no está ni muy caliente ni muy frío en el momento en el que se usa ropa dentro de casa. Este rango se representa entre 15 °C y 30 °C. Este es el rango que regula la temperatura ofrecida en los dispositivos de control climático. Un ejemplo de ello, es cuando estamos pasando de un lugar muy frío a uno con temperatura ambiente, vemos como en algunos segundos nuestro cuerpo asimila este cambio y hasta mentalmente las personas se sienten mejor.



*Figura 2: Termómetro de Mercurio.*

### **La temperatura atmosférica**

Esta temperatura es la que constituye uno de los elementos del clima referidos al grado de calor específico del aire que se encuentra en un momento y lugar determinados, elemento en las diferentes zonas climáticas. Este es el elemento meteorológico más primordial, relevante e importante en la delimitación de la gran parte de los tipos climáticos.

Actualmente se utilizan tres escalas para medir la temperatura, la escala Celsius es la más usada, el Fahrenheit se usa en los países anglosajones y la escala Kelvin de uso científico como se muestra en la siguiente tabla N°. 1.

*Tabla 1: Escala de medición de la temperatura.*

Temperatura	Ecuación	Unidad de medida
Escala Celsius	$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} ^{\circ}\text{F} - 32$	$^{\circ}\text{C}$
Escala Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$	$^{\circ}\text{F}$
Escala kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$	$^{\circ}\text{K}$

## **Sensores de temperatura**

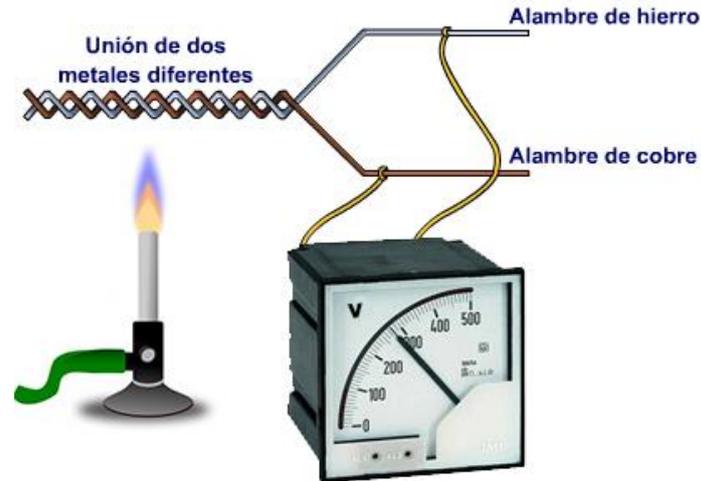
Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por un equipo eléctrico o electrónico.

Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares.

El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico.

## **Termopares**

Un termopar (llamado también Termocupla por una mala traducción del término inglés Thermocouple) es un dispositivo para la medición de temperatura, basado en efectos termoeléctricos. Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura. Ver figura N° 3.



*Figura 3: Diagrama de función de un termopar.*

La fuerza electromotriz generada por el termopar está en función de la diferencia de temperatura entre la unión fría y caliente, pero más específicamente, ésta es generada como un resultado de los gradientes de temperatura los cuales existen a lo largo de la longitud de los conductores.

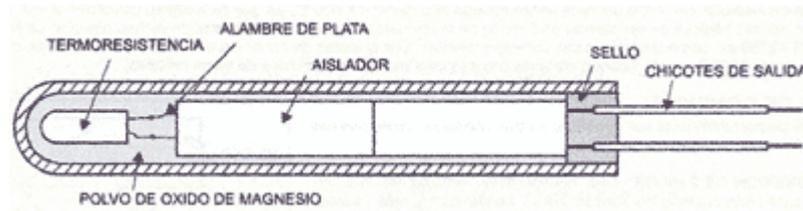
### **Termorresistencias (RTD)**

La Termorresistencia trabaja según el principio de que en la medida que varía la temperatura, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Tienen elementos sensitivos basados en conductores metálicos, que cambian su resistencia eléctrica en función de la temperatura.

Se puede medir con un circuito eléctrico, que consiste de un elemento sensitivo, una fuente de tensión auxiliar y un instrumento de medida.

Los dispositivos RTD más comunes están contruidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD, es el material más estable y exacto. La relación resistencia temperatura correspondiente al alambre de platino es tan reproducible que la Termorresistencia de platino se utiliza como estándar internacional de temperatura desde - 260 °C hasta 630 °C. Típicamente tienen una resistencia entre 20Ω y 20kΩ. La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre – 200°C y 850°C.

Las Termorresistencias de uso más común se fabrican de alambres finos soportados por un material aislante y luego encapsulados. El elemento encapsulado se inserta luego dentro de una vaina o tubo metálico cerrado en un extremo que se llena con un polvo aislante y se sella con cemento para impedir que absorba humedad. Ver figura N° 4.



*Figura 4: Encapsulado de una Termorresistencia.*

El aspecto exterior de las Termorresistencias industriales es prácticamente idéntico al de los termopares. Se aplican las mismas consideraciones ambientales y de instalación.

## Termistores

Mucho más económicos que las RTD son los termistores, aunque no son lineales son muchos más sensibles, compuestos de una mezcla sintetizada de óxidos metálicos, el termistor es esencialmente un semiconductor que se comporta como un "resistor térmico". Se pueden encontrar en el mercado con la denominación NTC habiendo casos especiales de coeficiente positivo cuando su resistencia aumenta con la temperatura y se los denomina PTC.

En algunos casos, la resistencia de un termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta 6% por cada 1°C de aumento de temperatura. Esta elevada sensibilidad a variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150°C a 450°C.

## NTC (Negative Thermal Coefficient)

Fabricados de una mezcla de óxidos de Manganeso (Mn), Níquel (Ni), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y están moldeados en un cuerpo cerámico de varios tamaños, típicamente tienen una resistencia entre  $50\Omega$  y  $1M\Omega$  a  $25^{\circ}\text{C}$  y una sensibilidad del  $4\%/^{\circ}\text{C}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ . El efecto de Coeficiente Negativo con la Temperatura puede resultar de un cambio externo de la temperatura ambiente o un calentamiento interno debido al efecto Joule de una corriente que fluye a través del termistor. La curva del termistor se puede linealizar con una resistencia montada en paralelo con la NTC como se muestra en la figura N° 5.

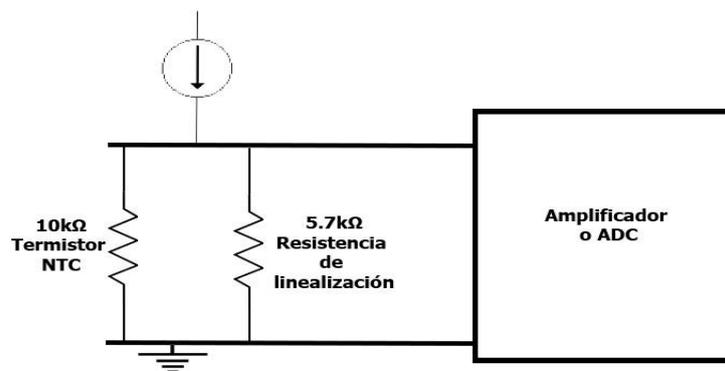


Figura 5: Aplicando resistencia de linealización.

## PTC (Positive Temperature Coefficient)

Son resistencias que principalmente están compuestas de bario y estroncio con titanio. La adición de dopantes hace que la componente semiconductor dé una característica de resistencia con respecto a la temperatura, aunque son muy poco utilizados.

Según la utilización pueden encontrarse en el mercado termistores con valores entre  $100\Omega$  y  $30\text{K}\Omega$ , pero los de uso más frecuente se encuentran entre  $1$  y  $5\text{K}\Omega$ . Dentro de estos valores como se mencionó anteriormente, no influyen los pequeños valores de resistencia correspondiente a los conductores de extensión o los propios del termistor. El rango de temperatura de uso más difundido es entre los  $-50$  y  $200^{\circ}\text{C}$ ., a pesar de haber termistores que alcanzan los  $450^{\circ}\text{C}$ .

---

Su aplicación más frecuente es como sensor de temperatura para mediciones rápidas en sondas manuales que acompañan a los termómetros portátiles electrónicos, hoy más difundidos. La ventaja más importante es su pequeña masa, lo que permite velocidad de respuesta muy alta.

### 6.1.2. Humedad Relativa

El agua es uno de los principales componentes de la atmósfera, en la que puede existir como gas, como líquido, y como sólido. La presencia del agua en los tres estados de agregación se debe a que las condiciones físicas (temperatura y presión) necesarias para que se produzcan dichos cambios de estado se dan normalmente en la atmósfera.

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Esa cantidad no es constante, sino que dependerá de diversos factores, como si ha llovido recientemente, si estamos cerca del mar, si hay plantas, etc.

*Humedad Relativa:* se entiende por el cociente entre la cantidad de vapor de agua contenido en la atmósfera y la máxima que podría contener.

Esta medida debe referirse a una temperatura, ya que todo descenso de esta, aunque no se añada vapor de agua, se traducirá en un aumento de la humedad relativa, por disminuir la capacidad de la atmósfera para contener vapor de agua. A su vez todo aumento de temperatura se traducirá en una disminución de humedad por aumentar la capacidad de la atmósfera para contenerla.

La humedad relativa se expresa en tanto por ciento (%) y se calcula según la siguiente expresión:

$$h = \frac{e}{E} 100 \quad EC1$$

En ella,  $e$  representa el contenido de vapor de la masa de aire y  $E$  su máxima capacidad de almacenamiento de éste, llamada 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 (esto es lo que se

---

conoce como saturación). De alguna forma, la humedad relativa nos da una idea de lo cerca que está una masa de aire de alcanzar la saturación. Una humedad relativa del 100% es indicativo de que esa masa de aire ya no puede almacenar más vapor de agua en su seno, y a partir de ese momento, cualquier cantidad extra de vapor se convertirá en agua líquida o en cristales de hielo, según las condiciones ambientales.

## **Sensores de humedad**

Las mediciones de humedad relativa pueden ser hechas por sensores basados en: psicometría, deformación, resistivos, capacitivos y algunos otros tipos para aplicaciones más específicas. Estos sensores de humedad están disponibles en formas tanto analógicas como digitales.

A continuación, se mencionará algunos sensores de humedad analógicos:

### **Psicrómetro**

El Psicrómetro está formado por dos termómetros; determina la humedad relativa midiendo la temperatura ambiente y la temperatura de una fuente de agua en evaporación. El bulbo de uno de ellos está envuelto en un tejido que se mantiene siempre humedecido.

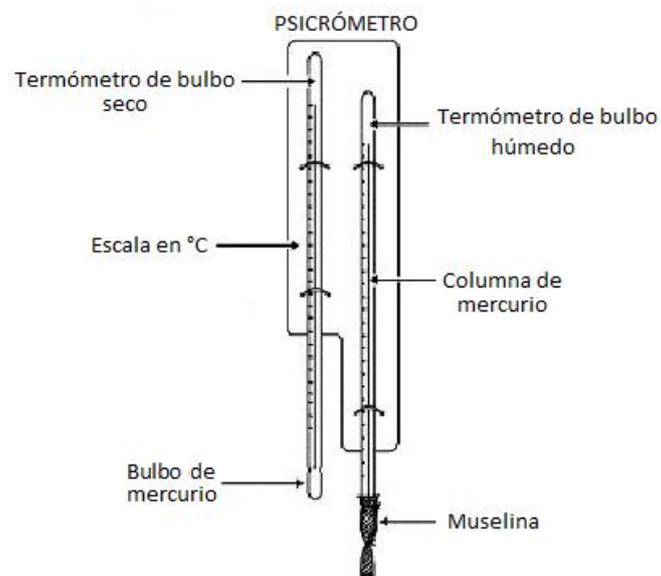
### **Principio de funcionamiento**

La evaporación desde la superficie del bulbo húmedo dentro de la corriente de aire enfría el bulbo húmedo hasta una temperatura estacionaria tal que haya un equilibrio entre el calor perdido por la evaporación y el ganado por la convección y radiación.

Existen dos tipos de psicrómetros: Ventilación natural y ventilación forzada.

## Ventilación natural

Los psicrómetros de ventilación natural están formados por dos termómetros, normalmente por RTD's o termómetros de mercurio. Los elementos no están sujetos al movimiento de aire forzado, son menos exactos, sin embargo, se utilizan en algunas aplicaciones, ver figura 6.



*Figura 6: Psicrómetro de bulbo húmedo y seco.*

## Ventilación forzada

En un psicrómetro con ventilación forzada los dos sensores de temperatura se exponen a una corriente de aire. Estos son usualmente termistores, RTD's, termopares o termómetros de mercurio.

---

### **Psicrómetro de aspiración (tipo Assman)**

Es el más utilizado, un ventilador pequeño accionado por un motor eléctrico o con mecanismo de relojería lleva el aire axialmente sobre el termómetro de bulbo húmedo, (cubierto por una mecha de algodón que está en contacto con un depósito de agua) se utiliza para medir la diferencia de temperatura debido a la evaporación de agua alrededor del bulbo húmedo.

El termómetro de bulbo seco se usa para medir la temperatura ambiente. Conociendo las temperaturas de ambos termómetros, la humedad relativa puede fácilmente determinarse mediante cartas psicrométricas, tablas o calculada mediante las expresiones correspondiente. Ver figura en la sección de anexos 1.

El agua debe ser agregada manualmente al elemento húmedo entre cinco a quince minutos antes de la medición bajo condiciones ambientales normales, (ver figura A5 – 1 en anexos 5).

El psicrómetro provee una alta exactitud en las proximidades del punto de saturación (100 %HR) y es fácil de operar y reparar, por otra parte, a baja humedad relativa (menos del 20 %HR) el desempeño es pobre y el mantenimiento debe intensificarse. No puede utilizarse a temperaturas menores de 0 °C y, siendo el propio psicrómetro una fuente de humedad, no puede utilizarse en ambientes pequeños o cerrados.

### **Sensores mecánicos (por absorción o deformación)**

La idea de este tipo de sensores, es aprovechar los cambios en las dimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad. Los más afectados son algunas fibras orgánicas como por ejemplo el cabello humano, pelo de animal, madera y papel; así como fibras sintéticas como el nylon. Al aumentar la humedad relativa, las fibras aumentan de

tamaño, es decir, se alargan. Luego esta deformación debe ser amplificada de alguna manera (por palancas mecánicas, o circuitos electrónicos), y debe ser graduada de acuerdo a la proporcionalidad con la humedad relativa, ver figura N°7.



*Figura 7: Higrómetro de fibra de cabello.*

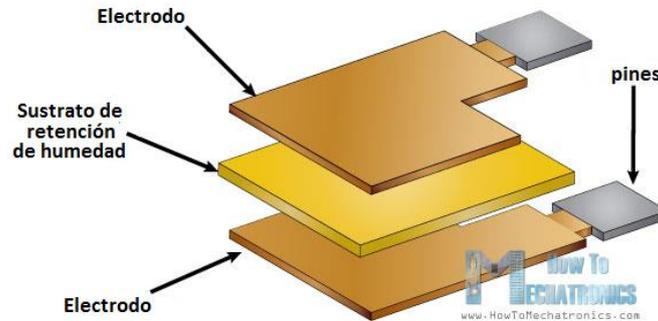
### **Sensores capacitivos**

Este tipo de sensor de humedad mide la humedad del aire relativo usando un sistema basado en un condensador. El sensor está hecho de una película generalmente de vidrio o de cerámica. El material aislante que absorbe el agua está hecho de un polímero que toma y libera el agua basándose en la humedad relativa de la zona dada.

El cambio resultante en la constante dieléctrica causa una variación en el valor de la capacitancia eléctrica del dispositivo por lo que resulta una impedancia que varía con la humedad. Un cambio en la constante dieléctrica de aproximadamente el 30 % corresponde a una variación de 0-100 %HR en la humedad relativa.

El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad. Esto permite al vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para la sencilla calibración del sensor. Este tipo de sensor es especialmente apropiado para ambiente de alta temperatura porque el

coeficiente de temperatura es bajo y el polímero dieléctrico puede soportar altas temperaturas. En la figura N° 8 se muestra como está compuesto un sensor de este tipo.



*Figura 8: Sensor Capacitivo.*

Los sensores capacitivos son también apropiados para aplicaciones que requieran un alto grado de sensibilidad a niveles bajos de humedad, donde proveen una respuesta relativamente rápida. A valores de humedad superiores al 85 %HR sin embargo el sensor tiene una tendencia a saturar y se transforma en no lineal.

### **Sensores resistivos**

Están compuestos de un sustrato cerámico aislante sobre el cual se deposita una rejilla de electrodos. Estos electrodos se cubren con una sal sensible a la humedad embebida en una resina (polímero). La resina se recubre entonces con una capa protectora permeable al vapor de agua. A medida que la humedad pasa por la capa de protección, el polímero resulta ionizado y estos iones se movilizan dentro de la resina. Cuando los electrodos son excitados por una corriente, altera la impedancia del sensor se mide y es usada para calcular el porcentaje de humedad relativa. En la figura N° 9 se muestra este tipo de sensor.



*Figura 9: Sensor de humedad resistivo.*

Por su misma estructura este tipo de sensores son relativamente inmunes a la contaminación superficial ya que no afecta su exactitud, aunque si el tiempo de respuesta.

Debido a los valores extremadamente altos de resistencia del sensor a niveles de humedad menores que 20 %HR es apropiado para los intervalos altos de humedad.

### **6.1.3. Presión atmosférica**

La presión atmosférica es el peso que ejerce el aire en la Tierra y por lo cual también realiza una fuerza sobre todos los cuerpos debidos a la acción de la gravedad. La presión atmosférica depende de muchas variables, sobre todo de la altitud. Cuanto más arriba de la superficie terrestre nos encontremos, la cantidad de aire por encima de nosotros será menor.

La presión atmosférica en un punto coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera. Como la densidad del aire disminuye conforme aumenta la altura, no se puede calcular ese peso a menos que seamos capaces de expresar la variación de la densidad del aire  $\rho$  en función de la altitud  $z$  o de la presión  $p$ . Por ello, no resulta fácil hacer un cálculo exacto de la presión atmosférica sobre un lugar de la superficie terrestre. Además, tanto la temperatura como la presión del aire están variando continuamente, en una escala temporal como espacial, dificultando el cálculo.

Se Puede obtener una medida de la presión atmosférica en un lugar determinado, pero con ella no se pueden obtener muchas conclusiones: es la variación de dicha presión a lo largo del tiempo lo que nos permite obtener una información útil, que unida a otros datos meteorológicos (temperatura atmosférica, humedad y vientos) nos da una imagen bastante acertada del tiempo atmosférico en dicho lugar e incluso un pronóstico a corto plazo del mismo.

Al valor de la presión a nivel del mar y a 15°C se le llama presión atmosférica normal. Esta presión es la ejercida por una columna de mercurio de base un  $\text{cm}^2$  y de altura 760mm, con un valor aproximado de  $1\text{Kg}/\text{cm}^2$ . La presión atmosférica normal es de 760mm de Hg o de 1013,2 mb ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ).

Esta presión no es constante en un mismo lugar, sino que varía en función de la temperatura y de la humedad. El aire al calentarse aumenta de volumen y se hace menos denso y pesado; por otra parte, como el vapor de agua pesa menos que el aire, una atmósfera que tenga mucho vapor de agua pesa menos que una atmósfera seca.

### **Instrumentos de medición**

Barómetro de mercurio: mide la presión atmosférica mediante la medida de la altura de una columna de mercurio, ver figura A5 – 2 en anexos 5.

Barógrafo: registra las presiones atmosféricas.

### **Unidades de medidas**

#### **Sistema internacional (MKS)**

- 1Pascal (Pa) =  $\text{Newton}/\text{m}^2$ .
- Sistema Cegesimal (CGS)
- 1 baria =  $1\text{ dina}/\text{cm}^2$ .
- 1 Pa = 10 bar.

#### **Otras unidades utilizadas en climatología:**

- 1 atm = 106 bar = 105 Pa.
- 1mb = 103 bar =  $103\text{ dinas}/\text{cm}^2 = 100\text{Pa}$ .
- 1mm Hg = 133,3 Pa.

---

#### 6.1.4. Radiación solar

Todo cuerpo en función de su temperatura emite energía radiante en forma de radiación electromagnética. Esta energía se transporta en forma de ondas electromagnéticas de una amplia gama de longitudes de onda, las cuales se desplazan en el vacío a una velocidad de 300000Km/s, tardando solo 8 minutos en recorrer 150 millones de Km que son lo que separan al sol de la tierra. Cada segundo irradia una energía de  $4 \times 10^{26}$  J.

Al conjunto ordenado de todas las longitudes de onda que componen una radiación electromagnética se le denomina espectro de radiación.

La intensidad total de una radiación es la suma de las intensidades de las distintas longitudes de onda que componen el espectro. La longitud de onda que aporta mayor intensidad al total de la radiación se llama onda máxima. La intensidad de una radiación se define como la cantidad de energía que atraviesa una superficie de  $1\text{m}^2$  perpendicular a su trayectoria en la unidad de tiempo.

La región UV abarca el intervalo de longitudes de onda de 100 a 400 nm y se divide en las tres bandas siguientes:

- UVA (315–400 nm)
- UVB (280–315 nm)
- UVC (100–280 nm)

Cuando la luz solar atraviesa la atmósfera, el ozono, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono absorben toda la radiación UVC y aproximadamente el 90% de la radiación UVB. La atmósfera absorbe la radiación UVA en menor medida. En consecuencia, la radiación UV que alcanza la superficie terrestre se compone en su mayor parte de rayos UVA, con una pequeña parte de rayos UVB.

## Índice de Rayos Ultra Violetas

El índice UV solar mundial (IUV) es una medida de la intensidad de la radiación UV solar en la superficie terrestre. El índice se expresa como un valor superior a cero, y cuanto más alto, mayor es la probabilidad de lesiones cutáneas y oculares y menos tardan en producirse esas lesiones, ver figura N° 10.

La intensidad de la radiación UV y, en consecuencia, el valor del índice varía a lo largo del día. Al comunicar el IUV, se pone el máximo énfasis en la intensidad máxima de la radiación UV en un día determinado, que se produce durante el periodo de cuatro horas en torno al mediodía solar. Dependiendo de la ubicación geográfica y de si se aplica o no el horario de verano, el mediodía solar puede tener lugar entre las 10 de la mañana y las 2 de la tarde.

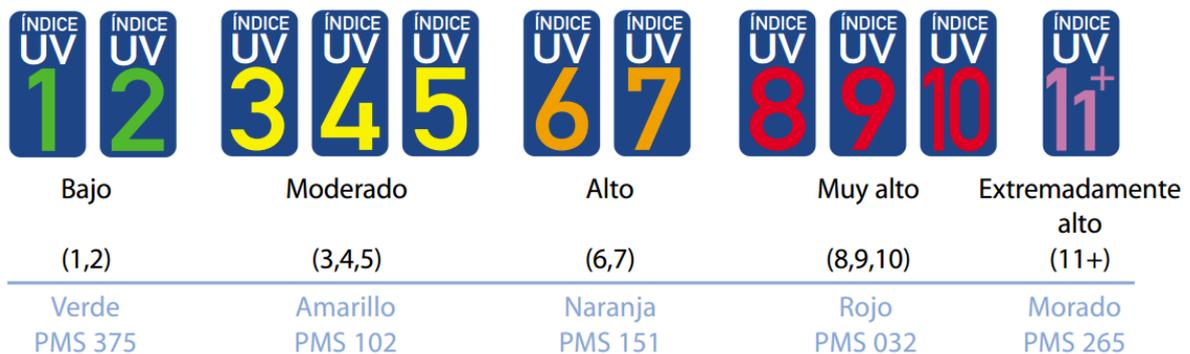


Figura 10: Índice UV.

Otro modo de tener una estimación de la radiación solar recibida es mediante la medición del número de horas de sol. Para ello se utiliza un instrumento llamado heliógrafo. Éste está formado por una esfera de vidrio orientada hacia el sur geográfico, que actúa como una gran lupa, concentrando toda la radiación recibida en un punto incandescente que va quemando una cinta de un papel especial graduada con las horas del día.

---

## Instrumentos de medida para rayos ultravioletas.

**Piranómetro o radiómetro:** mide la radiación solar global que incide sobre una superficie terrestre. Mide la directa y la difusa. Ver figura A3-1 en anexos 3

**Pirheliómetro:** mide la radiación directa del sol. Ver figura A3-2 en anexos 3

**Heliógrafo de Campbell-Stokes:** mide el número de horas de sol de cada día. Ver figura A3-3 en anexos 3.

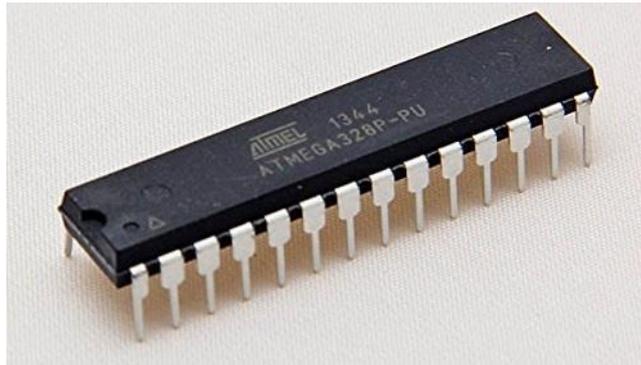
### 6.2. Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado que posee memoria en la cual se puede grabar programas para después ejecutarlos. El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, es por esto que la programación es una actividad básica e indispensable cuando se diseñan circuitos y sistemas que los incluyan. El carácter programable de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito, se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador.

El Atmega328 AVR 8-bit es un Circuito integrado fabricado por la empresa Atmel Corp. es de alto rendimiento que está basado en un microcontrolador RISC, combinando 32 KB ISP flash una memoria con la capacidad de leer-mientras-escribe, 1 KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores flexibles/contadores con modo de comparación, interrupciones internas y externas, programador de modo USART, una interface serial orientada a byte de 2 cables, SPI puerto serial, 6-canales 10-bit Conversor A/D (8-canales en TQFP y QFN/MLF packages), “watchdog timer” programable con oscilador interno, y cinco modos de ahorro de energía seleccionables por software. El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 voltios. Por medio de la ejecución de

poderosas instrucciones en un solo ciclo de reloj, el dispositivo alcanza una respuesta de 1 MIPS (Millones de instrucciones por segundo), balanceando consumo de energía y velocidad de proceso.

Los chips se encuentran protegidos por una carcasa o encapsulado, que varían de composición química y que sirve para protegerlos de cualquier tipo de partículas



*Figura 11: Atmega328, 28 pines, DIP.*

En la figura N° 11 se presenta el encapsulado DIP, o Dual in-line package por sus siglas en inglés, es una forma de encapsulamiento común en la construcción de circuitos integrados. La forma consiste en un bloque con dos hileras paralelas de pines, la cantidad de éstos depende de cada circuito.



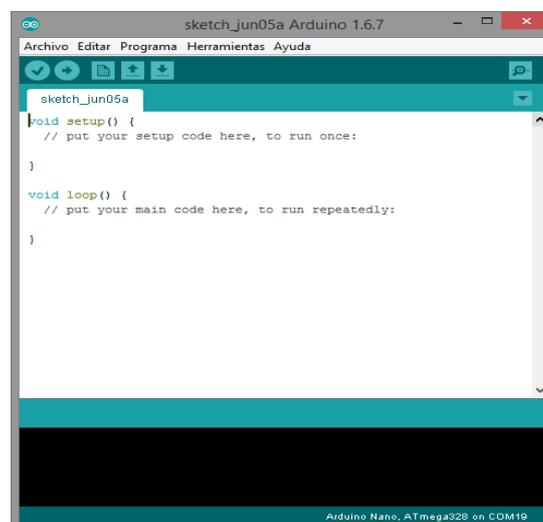
*Figura 12: Atmega328, 32 pines, TQFP.*

En la figura N° 12 se presenta el encapsulado del atmega328, el cual es del tipo TQFP o Thin Quad Flat Package por sus siglas en inglés, es un encapsulado para montaje superficial con los conectores de componentes extendiéndose por los cuatro lados. Los pines se numeran en sentido contrario a las agujas del reloj a partir del punto guía.

### 6.3. Plataforma Arduino

El hardware está constituido por un microcontrolador principal el cual es un Atmel AVR de 8 bits, presente en la mayoría de los modelos de Arduino, encargado de realizar los procesos lógicos y matemáticos dentro de la placa, además de controlar y gestionar los recursos de cada uno de los componentes externos conectados a la misma. Además, Arduino cuenta con la ventaja de tener entre sus elementos principales puertos seriales de entrada /salida (input/output), lo que le permite conectarse por medio de un cable USB a una computadora para trabajar con ella desde nivel software.

El software consiste en un entorno de desarrollo IDE (Integrated Development Environment – Entorno de desarrollo Integrado) basado en el entorno de Processing y lenguaje de programación basado en Wiring, así como en el cargador de arranque (bootloader) que es ejecutado en la placa. (Figura N° 13).



*Figura 13: Entorno de desarrollo IDE*

Toda la plataforma, tanto para sus componentes de hardware como de software, son liberados bajo licencia de código abierto que permite libertad de acceso a los mismos.

### 6.3.1. Versiones de placas Arduino

Hay múltiples versiones de la placa Arduino. Para este proyecto se usarán dos versiones muy similares las cuales incorporan el microcontrolador Atmega328P que a continuación se mencionan:

#### Arduino UNO R3

El Arduino UNO es una placa microcontroladora basada en el Atmega328. Dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V. También dispone de entradas y salidas analógicas, mediante las cuales se puede obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de voltaje. Las salidas analógicas suelen utilizarse para enviar señales de control en forma de señales PWM.

En esta versión de placa, existen dos variantes, la UNO convencional la cual integra un microcontrolador Atmega328 en formato DIP y la UNO SMD la cual dispone del microcontrolador en formato TQFP. La única diferencia entre ambas es el tipo de microcontrolador que montan. En la figura N° 14 se muestra la placa UNO R3 que se utilizara en este proyecto.



*Figura 14: Arduino UNO R3, formato DIP.*

## Diagrama de Pines Arduino Uno R3

El diagrama que se presenta en la figura N° 15 se muestran las funciones asociadas a cada uno de los pines de esta placa.

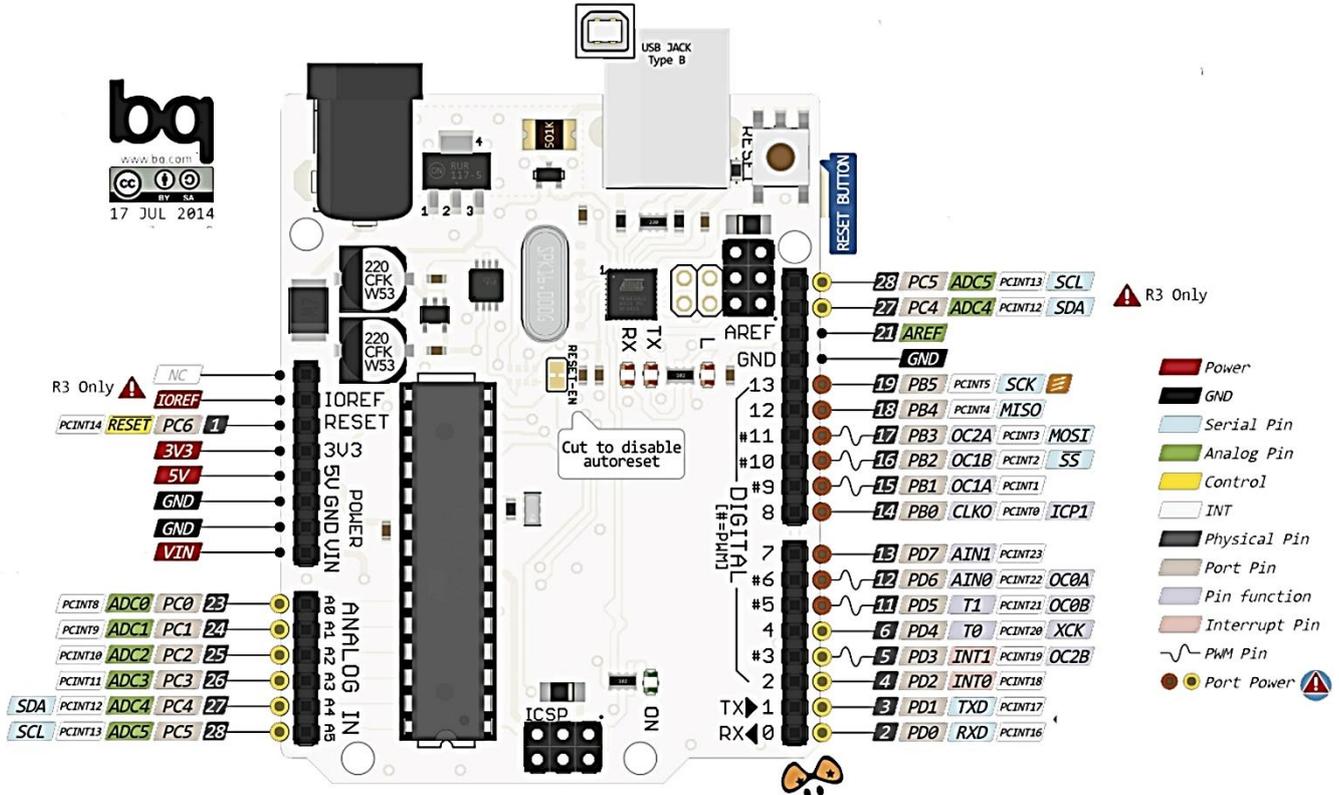


Figura 15: Funciones de pines en Arduino UNO r3.

## Arduino NANO v3

El Arduino Nano es una pequeña y completa placa que está basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) o ATmega168 (Arduino Nano 2.x) ambos microcontroladores tienen un encapsulado TQFP.

Las funcionalidades son similares al Arduino UNO, pero en una presentación diferente. Carece de una entrada de corriente DC, y funciona con un cable USB Mini-B en lugar de uno estándar.

El Nano fue diseñado y está siendo producido por la empresa Gravitech. En la figura N° 16 se muestra esta versión de Arduino.



---

## Características de Arduino Nano y Uno

Cada uno de los 14 pines digitales de ambas placas operan a 5 V y pueden ser usados como entradas o salidas. Cada pin puede proveer o recibir un máximo de 40mA y poseen una resistencia de pull-up de 20 a 50 k $\Omega$ .

Algunos pines poseen funciones especializadas:

- Serial: 0 (RX) y 1 (TX). (RX) usado para recibir y (TX) usado para transmitir datos TTL vía serie.
- PWM: pines 3, 5, 6, 9, 10, y 11. Proveen de una salida PWM de 8-bits.
- SPI: pines 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines soportan la comunicación SPI.

Las entradas analógicas, proveen cada una de ellas 10 bits de resolución (1024 valores diferentes). También, algunos de estos pines poseen funciones especiales:

- I2C: Pines A4 (SDA) y A5 (SCL). Soporta comunicación I2C (TWI).
- AREF. Tensión de referencia por las entradas analógicas.
- Reset. Cuando línea a nivel bajo se resetea el microcontrolador. Normalmente se usa para añadir un botón de reset que mantiene a nivel alto el pin reset mientras no es pulsado.

Las características entre ambas placas arduino son similares ya que integran el mismo microcontrolador en la tabla N° 2 se muestran estas características.

*Tabla 2: Características de Arduino UNO y NANO.*

<b>Descripción</b>	<b>Arduino UNO R3</b>	<b>Arduino NANO v3</b>
<b>Microcontrolador</b>	Atmega328	Atmega328
<b>Tensión de operación (nivel lógico).</b>	5V	5V
<b>Tensión de entrada (Recomendado)</b>	7 – 12 V	7 – 12 V
<b>Tensión de entrada (limite)</b>	6 – 20 V	6 – 20 V
<b>Pines de entrada/salida digitales</b>	14 (de los cuales 6 proveen de salidas PWM)	14 (de los cuales 6 proveen de salidas PWM)
<b>Pines de entrada analógicas</b>	6 pines	8 pines
<b>Corriente máxima por cada pin de E/S</b>	40 mA	40 mA
<b>Memoria flash</b>	32 KB de los cuales 0.5KB son usados por el bootloader	32 KB de los cuales 2KB son usados por el bootloader
<b>SRAM</b>	2 KB	2 KB
<b>EEPROM</b>	1 KB	1 KB
<b>Frecuencia de reloj</b>	16 MHz	16 MHz
<b>Dimensiones</b>	68.6mm x 53.3mm	43.2mm x 18.5mm

---

## 6.4. Protocolos de comunicación

### 6.4.1. Interfaz Periférica Serial (SPI)

Interfaz Periférica Serial o SPI por sus siglas en inglés es un bus de tres líneas, sobre el cual se transmiten paquetes de información de 8 bits. Cada una de estas tres líneas porta la información entre los diferentes dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo, por lo que este tipo de comunicación serial es full duplex. Dos de estas líneas transfieren los datos (una en cada dirección) y la tercera línea es la del reloj. Algunos dispositivos solo pueden ser transmisores y otros solo receptores, generalmente un dispositivo que tramite datos también puede recibir.

Los dispositivos conectados al bus son definidos como maestros y esclavos. Un maestro es aquel que inicia la transferencia de información sobre el bus y genera las señales de reloj y control. Un esclavo es un dispositivo controlado por el maestro. Cada esclavo es controlado sobre el bus a través de una línea selectora llamada Chip Select o Select Slave, por lo tanto, el esclavo es activado solo cuando esta línea es seleccionada. Generalmente una línea de selección es dedicada para cada esclavo. En un tiempo determinado  $T_1$ , solo podrá existir un maestro sobre el bus. Cualquier dispositivo esclavo que no esté seleccionado, debe deshabilitarse (ponerlo en alta impedancia) a través de la línea selectora (chip select).

El bus SPI emplea un simple registro de desplazamiento para transmitir la información.

#### Especificaciones del Bus

Todas las líneas del bus transmiten la información sobre una sola dirección.

- La señal sobre la línea de reloj (SCLK) es generada por el maestro y sincroniza la transferencia de datos.
- La línea MOSI (Master Out Slave In) transporta los datos del maestro hacia el esclavo.

- La línea MISO (Master In Slave Out) transporta los datos del esclavo hacia el maestro.

En este protocolo se define únicamente un maestro y varios esclavos. La manera en la cual estos dispositivos se conectan pueden ser de dos tipos: encadenado o paralelo. El de tipo encadenado la entrada del MOSI de cada esclavo va conectada con el MOSI del master para el primer caso o de su esclavo anterior para el resto. Además, se utiliza un único de selección de esclavo proveniente del maestro en forma paralela hacia cada esclavo. (Figura N° 18).

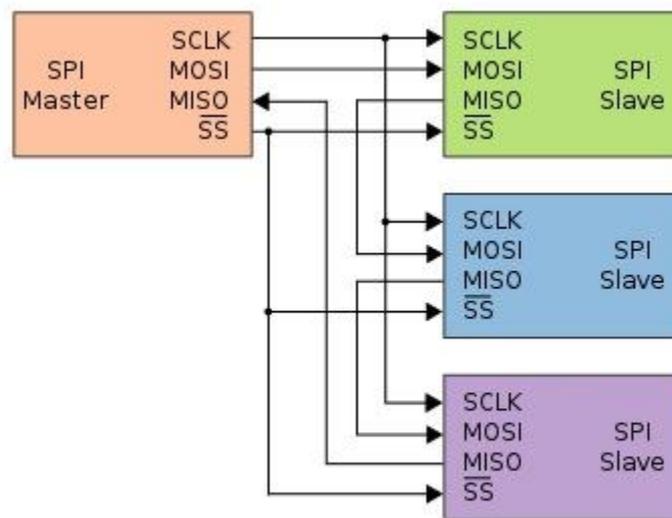


Figura 18: Bus SPI Tipo Encadenado.

Por otro lado, en el tipo paralelo se utiliza un único MOSI proveniente del maestro en forma paralela hacia cada esclavo. Además, se adiciona una línea de selección de esclavo proveniente del maestro por cada esclavo que exista en el sistema, (Figura N° 19).

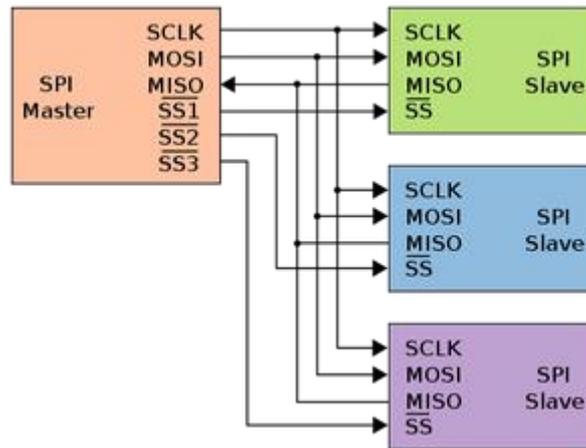


Figura 19: BUS SPI Tipo Paralelo.

Cada esclavo es seleccionado por un nivel lógico bajo ('0') a través de la línea (CS = Chip Select o SS Slave Select). Los datos sobre este bus pueden ser transmitidos a una razón de casi cero bits /segundo hasta 1 Mbits/ segundo. Los datos son transferidos en bloques de 8 bits, en donde el bit más significativo (MSB) se transmite primero.

#### 6.4.2. Inter Circuito Integrado (I2C)

El acrónimo I2C o  $I^2C$  significa Inter Integrated Circuit; es decir, que es un bus cuyo ámbito de aplicación es la comunicación entre circuitos integrados.

Se trata de un protocolo serie desarrollado por Philips Semiconductors usado por muchos integrados para comunicarse entre ellos, para su funcionamiento requiere sólo dos líneas, una de reloj (SCL) y otra de datos (SDA) junto a dos resistencias de pull-up con cada una de estas líneas. Es un protocolo maestro-esclavo en el que el maestro inicia/termina la comunicación y debe generar una señal de reloj (SCL), la línea de datos (SDA) es bidireccional (el maestro puede mandar o recibir), por lo general sólo suele haber un maestro (el microcontrolador) aunque el protocolo soporta más de uno. Todos los circuitos integrados conectados a este bus tienen una dirección física distinta de la de los demás. Transmisiones de 8 bits en serie pueden ser realizadas a 100 kbit/s

en el modo Estándar, 400 kbit/s en el modo rápido y 3.4 Mbits/s en el modo HighSpeed.

Existen todo tipo de circuitos integrados con un bus I2C, termómetros, memorias, relojes de tiempo real, drivers de Displays, etc. y en nuestro caso el sensor de presión atmosférica (BMP280) y la pantalla LCD1602 que se utilizara entrega y reciben información a través de este bus.

En los AVR el protocolo I2C lo encontramos con el nombre de TWI (Two Wire Interface), nos permite conectar hasta 128 integrados al bus (límite capacitancia del bus 400 pF) usando sólo dos líneas y añadiendo unas resistencias de pull-up, (Figura N° 20).

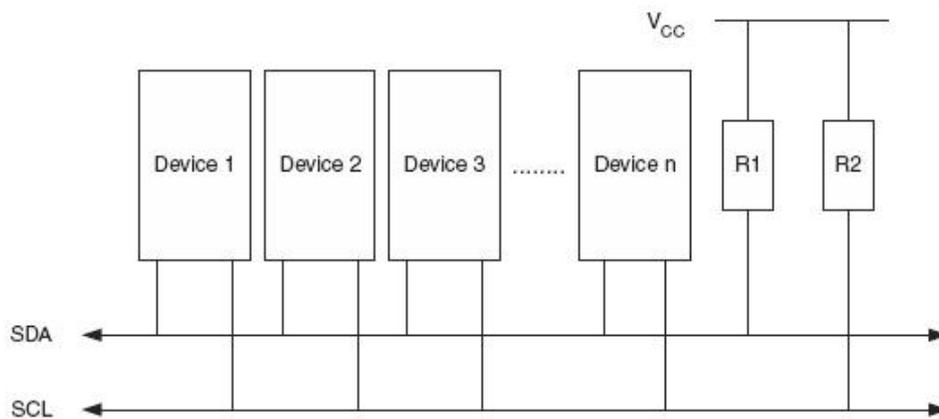


Figura 20 : conexión de n dispositivos.

Cada bit que se manda por la línea SDA va acompañado de un pulso de reloj en la línea SCL, el valor del bit se toma en la parte alta del reloj, ver figura N° 21.

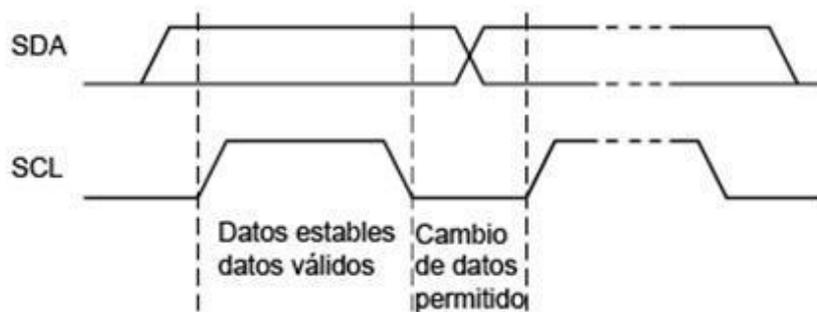


Figura 21: Bit de transferencia en el bus I2C.

## Condición de Inicio (Start) y Detener (Stop)

El Maestro inicia y termina una transmisión de datos. La transmisión se inicia cuando el maestro emite una condición START en el bus, es decir la línea SDA es puesta a '0' mientras que la línea SCL a '1', y se termina cuando el maestro emite una condición STOP. Entre las condiciones START y STOP, el bus se considera ocupado, y ningún otro maestro debería tratar de tomar el control del bus.

Un caso especial ocurre cuando se emite una nueva condición START entre una condición START y STOP. Esto se denomina condición REPEATED START y se utiliza cuando el Maestro desea iniciar una nueva transferencia sin abandonar el control del bus. Después de un REPEATED START, el bus se considera ocupado hasta el próximo STOP.

Como se muestra a continuación en la figura N° 22, las condiciones START y STOP se señalan cambiando el nivel de la línea SDA cuando la línea SCL es alta.

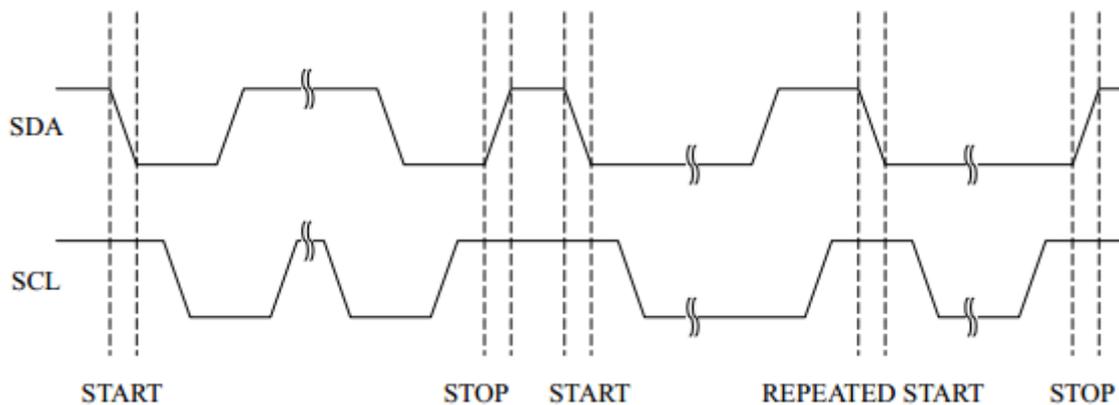


Figura 22: Condiciones de START y STOP.

## I2C en microcontrolador Atmega328

SCL y SDA son los pines donde se tienen las líneas del bus, los cuales se encuentran en los pines A4 y A5 de ambos microcontroladores Arduino, se pueden activar las resistencias de pull-up internas del puerto evitando en algunas ocasiones tener que colocar las dos resistencias de pull-up externas.

A un mismo bus I2C pueden haber conectados múltiples dispositivos. Estos se identificarán por una dirección única, y actuarán en el bus como maestros o como esclavos.

La secuencia de transmisión en un bus I2C, es la siguiente:

1. El maestro comienza a transmitir mandando un bit de START (condición de Inicio), seguido de la dirección de 7 bits del esclavo con el que desea comunicarse y seguido finalmente de un único bit R/W que representa si desea escribir (0) o leer (1) del esclavo.
2. El maestro comienza entonces a transmitir información al esclavo o a recibir información de él dependiendo del modo R/W indicado en el paso anterior. El esclavo funcionará en el modo complementario (es decir, modo recepción o modo transmisión, respectivamente). En el caso de que el maestro sea transmisor, éste enviará byte a byte mientras que el esclavo responderá con un bit ACK. En el caso de que el maestro sea receptor, el esclavo enviará byte a byte mientras que el maestro responderá con un bit ACK.
3. El maestro terminará la conexión con un bit de STOP (condición de Detenerse) o volverá enviar otro bit de START para realizar otra transferencia.

En la figura N° 23 se muestra la secuencia de bits/bytes enviados a través del bus I2C cuando el maestro está en modo de transmisión y el esclavo en modo de recepción.

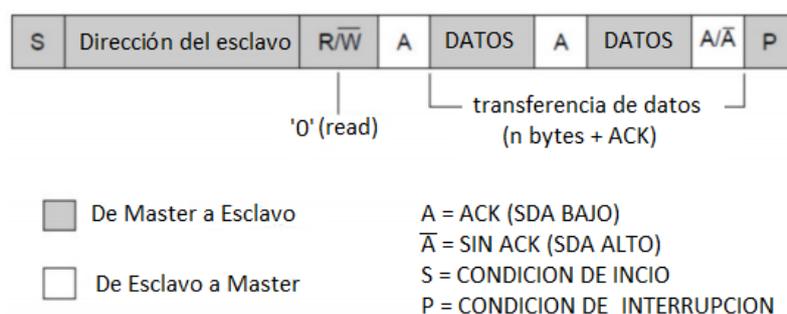


Figura 23: Master modo TX, Slave modo RX.

La figura N°24 muestra la secuencia de bits/bytes enviados a través del bus I2C cuando el maestro está en modo de recepción y el esclavo en modo de transmisión.

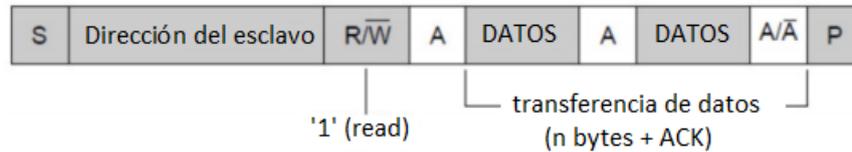


Figura 24: Master modo RX, Slave modo TX.

## 6.5. Medio de Transmisión

El transmisor electrónico de Radio Frecuencia es un dispositivo que transmite información en forma de ondas electromagnéticas a grandes distancias a través de la atmosfera, es decir sólo se transmiten ondas cuyas frecuencias entran en este rango, (3KHz – 300GHz).

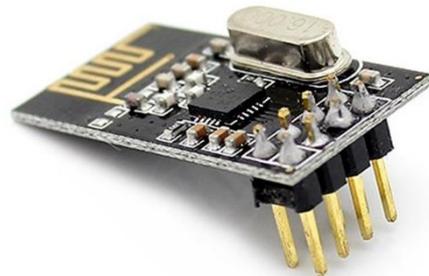


Figura 25: Módulo Transceptor NRF24L01+.

El NRF24L01 es un chip radio transceptor que está diseñado para trabajar en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) a 2.4 – 2.4835 GHz (banda de frecuencias reservada para finalidades no comerciales). El módulo consiste en un sintetizador de frecuencia, un amplificador de potencia, un oscilador de cristal, un modulador, un demodulador y un sistema de Enhanced ShockBurst. (Figura N° 25).

La potencia de RF, el canal de frecuencia y el protocolo de configuración son fácilmente programables mediante la interfaz SPI. Por otro lado, el consumo del módulo es bajo, oscilando entre los 9mA (a una potencia de salida de -6dBm) y los 12.6mA (en el modo de trabajo RX que en valor medio es el de mayor consumo). Además, es factible un gran ahorro en el consumo gracias al trabajo en los modos de Power Down (Modo Apagado) y Standby-I (Modo de espera).

---

El frontal de radio utiliza la modulación GFSK. Tiene parámetros configurables por el usuario como canal de frecuencia, potencia de salida y velocidad de datos de aire. NRF24L01+ soporta una velocidad de datos de aire de 250 kbps, 1 Mbps y 2Mbps. La alta velocidad de datos de aire combinada con dos modos de ahorro de energía hace que el NRF24L01+ sea muy adecuado para diseños de energía ultra baja.

### **Características del NRF24I01+**

A continuación, se presentan algunas características que posee el transceptor NRF24I01+.

#### **Radio**

- Funcionamiento mundial de la banda ISM de 2.4GHz.
- Interfaz RX y TX comunes.
- Modulación GFSK.
- velocidad de datos de aire de 250kbps, 1 y 2Mbps.
- 1MHz sin superposición de canales a 1Mbps.
- 2MHz sin superposición de canales a 2Mbps.

#### **Transmisor**

- Potencia de salida programable: 0, -6, -12 o -18dBm.
- 11.3mA a 0dBm de potencia de salida.

#### **Receptor**

- Filtros de canal integrados.
- 13.5mA a 2Mbps.
- -82dBm de sensibilidad a 2Mbps.
- -85dBm de sensibilidad a 1Mbps.
- -94dBm de sensibilidad a 250kbps.

## Administración de energía

- Regulador de tensión integrado.
- Rango de suministro de 1,9 a 3,6 V.
- Modos inactivos con tiempos de arranque rápidos para la gestión avanzada de la alimentación.
- 26µA en Modo Standby, 900nA modo de apagado.
- Máximo 1,5ms de arranque desde el modo de apagado.
- Máximo 130µs de arranque desde el modo Standby.

## Interfaz de host

- hardware de 4 pines para SPI.
- 3 FIFO separados de 32 bytes TX y RX.
- Entradas tolerantes a 5V.

## Pines del NRF24I01+

La comunicación entre NRF24L01 y Atmega328 se lleva a cabo mediante seis conexiones, las propias de la comunicación SPI, La figura N° 26 muestra la descripción de los pines de este módulo transceptor.

Pin	Función	Descripción
1	GND	Tierra
2	VCC	Alimentación 1.9 – 3.6 vDC
3	CE	Chip Enable; Activa modo RX o TX
4	CSN	SPI Chip Select
5	SCK	Reloj SPI
6	MOSI	SPI Slave Data Input
7	MISO	SPI Slave Data Output
8	IRQ	Maskable interrupt pin. Active low



Figura 26: Descripción de pines del transceptor nRF24L01+

## Funcionamiento modulo transceptor NRF24L01+

El modulo transceptor NRF24L01+ permite la transferencia de datos por medio de la modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana (GFSK), la cual es una versión mejorada de la modulación FSK. En GFSK la información pasa a través de un filtro gaussiano antes de modular la señal. Esto se traduce en un espectro de energía más estrecho de la señal modulada, lo cual permite mayores velocidades de transferencia sobre un mismo canal.

En este tipo de modulación un 1 lógico es representado mediante una desviación positiva (incremento) de la frecuencia de la onda portadora, y un 0 lógico mediante una desviación negativa (decremento) de la misma proporcionando velocidades de 1 a 2 Mbps (Figura N° 27).

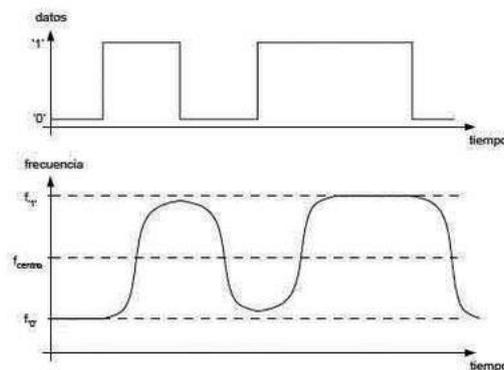


Figura 27: Principio de GFSK.

Este transceptor dispone de una tecnología llamada Enhanced ShockBurst™ la cual es una capa de enlace de datos basada en paquetes que incluye ensamblaje automático de paquetes y sincronización, reconocimiento automático y retransmisiones de paquetes. Esta tecnología permite la implementación de comunicaciones de bajo consumo y alto rendimiento con microcontroladores de bajo coste. Las características mejoradas de ShockBurst™ permiten mejoras significativas en la eficiencia energética para sistemas bidireccionales y unidireccionales, sin añadir complejidad en el lado del host controlador.

---

Esta tecnología realiza el manejo y sincronización automática de paquetes. Durante la transmisión, ShockBurst™ reúne el paquete y registra los bits en el paquete de datos para su transmisión. Durante la recepción, busca constantemente una dirección válida en la señal demodulada.

Cuando encuentra una dirección válida, procesa el resto del paquete y lo valida mediante CRC (Verificación de Redundancia Cíclica). Si el paquete es válido, la carga útil se traslada a una ranura vacía en las FIFO RX. Todo el manejo y sincronización de bits de alta velocidad es controlado por ShockBurst™.

Otra de las características que dispone este transceptor es el sistema automático de acuse de recibo o auto Acknowledgement, sin intervención del microcontrolador gracias al sistema Enhanced Shockurst™. A continuación, se explica su funcionamiento muy brevemente:

Cuando el dispositivo TX inicia el envío de un paquete de datos vía RF, una vez termina la primera transmisión (170us), pasa momentáneamente (otros 170us) a un estado de recepción RX en el que espera un acuse de recibo conforme un dispositivo RX ha recibido esa información. Si el dispositivo TX recibe ese comprobante emite la interrupción IRQ y pasa a modo Standby. Si no es así, vuelve a repetir el proceso.

En el caso del dispositivo RX, éste monitoriza el aire constantemente hasta encontrar un paquete válido. En este momento se activa la interrupción IRQ y se pasa momentáneamente (161us) a un estado de transmisión TX en el que envía el acuse de recibo (un identificador del paquete de datos).

La última prestación que dispone el módulo NRF24L01+ es el sistema de recepción de datos vía múltiples canales o pipes.

Cada NRF24L01 dispone de un canal transmisión TX y de 6 canales de recepción RX, que le permiten recibir datos de 6 dispositivos diferentes identificando en todo momento su origen gracias a la dirección del paquete. De esta manera, a pesar de que sólo es posible la comunicación por una única

dirección a la vez, establecer una red entre dispositivos es sencillo, ya que solamente es necesario reconfigurar el dispositivo transmisor. La figura N°28 muestra esta posible configuración entre un dispositivo receptor y seis transmisores, todos trabajando a la misma frecuencia:

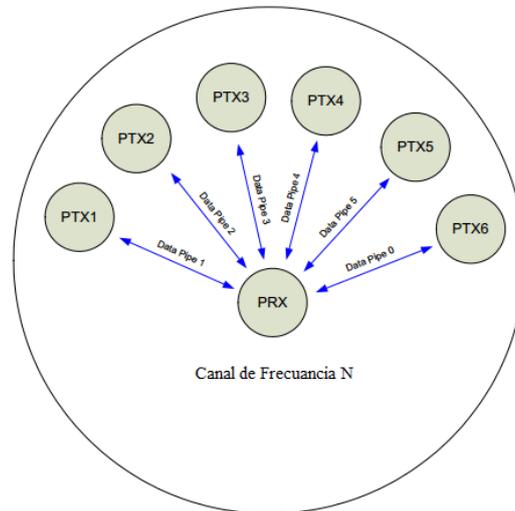


Figura 28: Recepción de datos por múltiples canales

## 6.6. Sensores digitales

### 6.6.1. Sensor DHT22

Un sensor digital de humedad y temperatura funciona a través de dos micro-sensores. Estos se convierten luego en el formato digital a través de un proceso de conversión de analógico – digital que se realiza mediante un ADC situado en el mismo circuito del sensor.

En este proyecto se utiliza el sensor digital DHT22 también conocido como AM2302 tiene una salida de señal digital calibrada. Utiliza una técnica exclusiva de recolección de señales digitales y una tecnología de detección de humedad, asegurando su fiabilidad y estabilidad.

En la figura N° 29 se muestra que este dispositivo internamente tiene un sensor de humedad del tipo capacitivo y un dispositivo termistor de tipo NTC de alta

precisión, ambos conectado a un microcontrolador de 8 bit de alto rendimiento el cual se encuentra en la parte posterior del dispositivo.

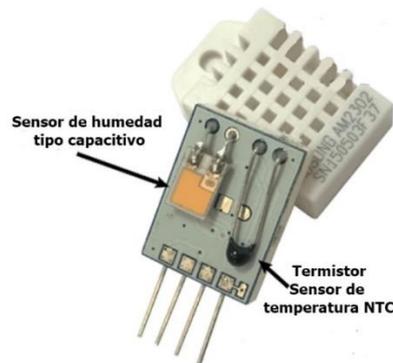


Figura 29: Sensor digital AM2302.

De reducido tamaño, bajo consumo de energía, distancia de transmisión de hasta 20m. Con un encapsulado de una fila de cuatro pines, haciendo la conexión muy conveniente, convierte al DHT22 en la mejor opción de todo tipo de aplicaciones tales como: equipos de prueba e inspección, control automático, registradores de datos, regulador de humedad, estaciones meteorológicas entre otras.

En la siguiente figura N° 30 se describen los pines del sensor DHT22.

Pin	Función	Descripción
1	Vcc	Fuente (3.3v – 5.5v)
2	SDA	Serial Data
3	NC	No conectado
4	GND	Tierra

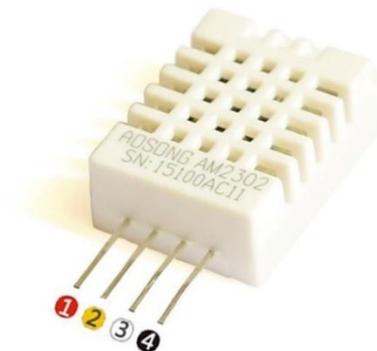


Figura 30: Descripción de pines del sensor DHT22.

## Características del sensor DHT22

En la siguiente tabla N° 3 se muestran las características técnicas que dispone este sensor.

Tabla 3: Características del DHT22

Modelo	DHT22/AM2302
Fuente de alimentación	3.3 – 5.5Vdc
Señal de salida	Señal digital a través de un solo bus
Elemento de detección	Condensador de polímero
Rango de operación	Humedad 0-100%RH; temperatura -40~80Celsius
Exactitud	Humedad +-2%HR(Max+-5%RH); temperatura <+- 0.5Celsius
Resolución o Sensibilidad	Humedad 0.1%HR (16 bits); Temperatura 0.1Celsius (16 bits)
Histéresis de humedad	+0.3%HR
Estabilidad a largo plazo	+0.5%HR/año
Período de detección	Promedio de 2s
Intercambiabilidad	Completamente intercambiable
Dimensiones	Pequeño tamaño 14*18*5.5mm; gran tamaño 2*28*5mm

### Comunicación del DHT22 con el microcontrolador atmega328

El DHT22 no utiliza una interfaz serial estándar como I2C, SPI o 1Wire (es similar a este último). En cambio, requiere su propio protocolo para comunicarse a través de un solo hilo. Este protocolo de comunicación es simple y puede implementarse fácilmente usando los pines de I/O en el microcontrolador Atmega328.

El microcontrolador debe iniciar la comunicación con el DHT22 manteniendo la línea de datos en estado bajo durante al menos 800µs, los valores típicos están bajo 1ms. Luego el DHT22 envía una respuesta con un pulso a nivel bajo (para indicar su presencia) de 80 µS y luego deja “flotar” la línea de datos por otros

80  $\mu$ S. En la figura N° 31, el pulso de inicio enviado por el microcontrolador está coloreado en rojo, mientras que la respuesta desde el sensor esta coloreada en azul, al haberse comunicado el sensor con el microcontrolador este empieza la transferencia de datos.

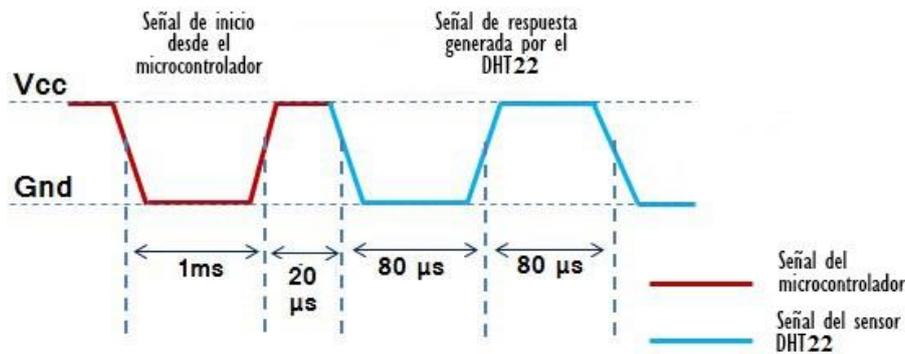


Figura 31: Descomposición de bus único del diagrama de temporización.

### Codificación de bits

La codificación de datos está basada en un esquema de ancho de pulso (se toma en cuenta el ancho del estado alto): Un pulso ancho representa un 1 lógico, un pulso corto representa un 0 lógico. Ver figura N° 32.

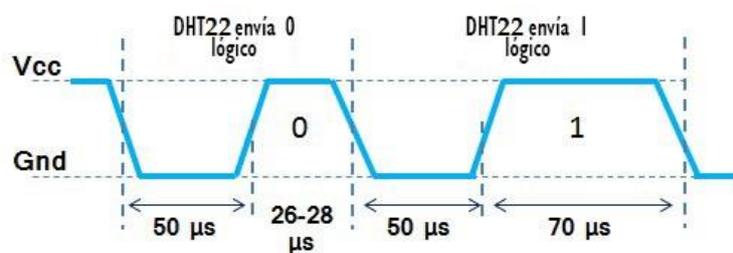


Figura 32: Codificación de Bits del DHT22.

Todos los bits comienzan con un pulso bajo de 50  $\mu$ S. Las librerías de comunicación con el DHT22 aprovechan este pulso para la sincronización. Luego viene un pulso alto que varía según el estado lógico o el valor del bit que el DHT22 desea transmitir:

- Se utilizan pulsos de 26-28 microsegundos para un "0" lógico.
- Se utilizan pulsos de 70 microsegundos para un "1" lógico.

En la figura N° 33 se observa el inicio de una comunicación con el DHT22, resumiendo lo que se presentó anteriormente.

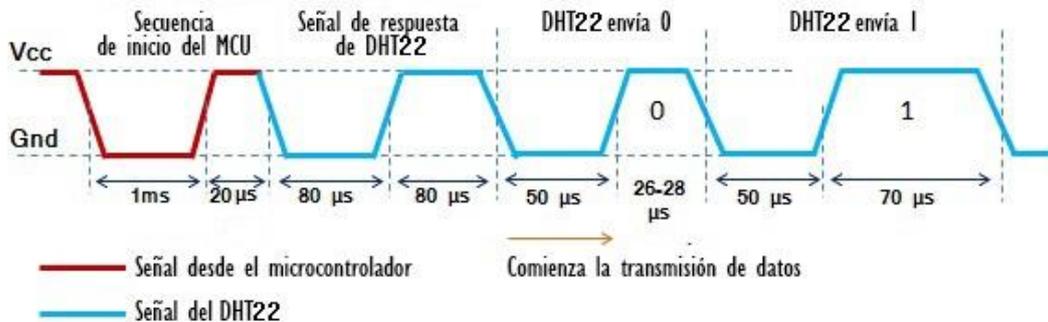


Figura 33: Comunicación y transferencia de datos.

Una transmisión completa comienza como ya se describió y se compone de 40 bits (5 bytes) que incluyen todos los datos que el sensor puede proporcionar. De manera que los datos que se transmiten, se pueden interpretar de la siguiente manera:

- El primer byte que recibimos es la parte entera de la humedad relativa (HR).
- El segundo byte es la parte decimal de la humedad relativa.
- El tercer byte es la parte entera de la temperatura (T).
- El cuarto byte es la parte decimal de la temperatura.
- El último byte es la suma de comprobación (checksum).

### 6.6.2. Sensor BMP280

El BMP280 es un sensor de presión barométrica absoluto especialmente diseñado para aplicaciones móviles. El módulo sensor se aloja en un paquete LGA (Land Grid Array) de 8 pines extremadamente compacto de tapa metálica con un tamaño de sólo 2,0 × 2,5 mm<sup>2</sup> y altura del paquete de 0,95 mm (ver figura N° 34). Sus

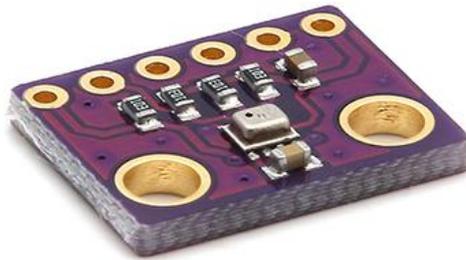


Figura 34: Sensor de Presión Absoluta BMP280

pequeñas dimensiones y su bajo consumo de energía de  $2,7 \mu\text{A} @ 1\text{Hz}$  Permiten la implementación en dispositivos accionados por baterías como teléfonos móviles, módulos GPS o relojes.

Este sensor ofrece un alto rendimiento en todas las aplicaciones que requieren una medición precisa de la presión. Funciona con un menor ruido, soporta nuevos modos de filtro y una interfaz tanto SPI como I2C con un tamaño 63% más pequeña que la BMP180. Este sensor tiene una excelente precisión relativa de  $\pm 0,12 \text{ hPa}$ , lo que equivale a  $\pm 1 \text{ m}$  de diferencia en altitud. El muy bajo coeficiente de compensación de la temperatura (TCO) de  $1,5 \text{ Pa} / \text{K}$  se traduce en una derivación de temperatura de sólo  $12,6 \text{ cm} / \text{K}$ .

La figura N° 35 muestra uno de tantos diseños donde se facilita sus conexiones con cualquier microcontrolador.



*Figura 35: Sensor BMP280.*

### **Funcionamiento del sensor BMP280**

El BMP280 consta de un elemento sensor de presión piezo-resistivo sellada en una cámara en vacío y un ASIC de señal mixta. El ASIC realiza conversiones A / D y proporciona los resultados de conversión y datos de compensación específicos del sensor a través de una interfaz digital. En la figura N° 36 se describen los puertos que tiene este sensor.

Pin	Función	Descripción
1	Vcc	Fuente de alimentación 3.3v-5v
2	GND	Tierra
3	SCL	Serial Clock Input
4	SDA	Serial Data
5	CSB	Chip Select
6	SDO	Serial Data Output



*Figura 36: Descripción de pines del sensor BMP280.*

Este sensor puede operar en tres modos de potencia:

- Modo de reposo
- Modo normal
- Modo forzado

El modo de reposo se establece de forma predeterminada después de reiniciar el encendido. En este modo, no se realizan mediciones y el consumo de energía es mínimo.

El modo normal se activa continuamente entre un periodo de medición (activo) y un período de espera (inactivo), cuyo tiempo se define en modo de espera. La corriente en el período de espera es ligeramente mayor que en el modo de reposo.

En el modo forzado, se realiza una sola medición. Una vez finalizada la medición, el sensor regresa al modo de reposo.

BMP280 está equipado con un filtro IIR (Infinite Impulse Response) incorporado para minimizar las perturbaciones a corto plazo en los datos de salida causados por el golpeo de una puerta o ventana.

Con el fin de simplificar el uso del dispositivo y reducir el elevado número de combinaciones posibles de modos de potencia, tasas de sobre muestreo y ajustes de filtros, Bosch Sensortec ofrece un conjunto probado de recomendaciones para casos de uso comunes en teléfonos inteligentes, estaciones meteorológicas móviles, Navegación en interiores y exteriores, etc.

## Flujo de medición

El período de medición del BMP280 consiste en una medición de temperatura y presión con sobre muestreo. Después del período de medición, los datos se pasan a través de un filtro IIR opcional, el cual elimina las fluctuaciones a corto plazo de la presión. El flujo de medición se representa en anexos 2.

## Características del sensor BMP280

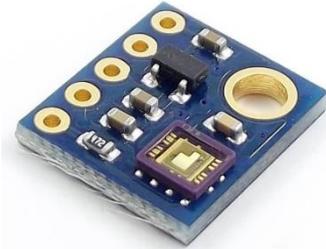
En la siguiente tabla N° 4 se presentan las especificaciones del sensor BMP280 dadas por su fabricante.

*Tabla 4: Especificación de parámetros.*

Parámetros	Condición	Min.	Típico	Max	Unidad
Rango de Operación de Temperatura		0		+65	°C
Rango de operación de presión		300		1100	hPa
Tensión de alimentación del sensor		1.71	1.8	3.6	V
Interfaz	I2C y SPI				
Resolución de datos	Presión		0.16		Pa
	Temperatura		0.01		°C
Estabilidad a largo plazo	12 meses		±1.0		hPa
Exactitud absoluta	300 – 1100 hPa (0 – +65°C)		±1.0		hPa
Precisión relativa	950 – 1050 hPa 25°C		±0.12		hPa

### 6.6.3. Sensor ML8511

El ML8511 es un sensor UV, que es adecuado para la adquisición de intensidad UV al aire libre. Este sensor está equipado con un amplificador interno, que convierte la foto-corriente a voltaje dependiendo de la intensidad UV. Esta característica única ofrece una interfaz fácil a los circuitos externos tales como ADC. (Figura N° 37).



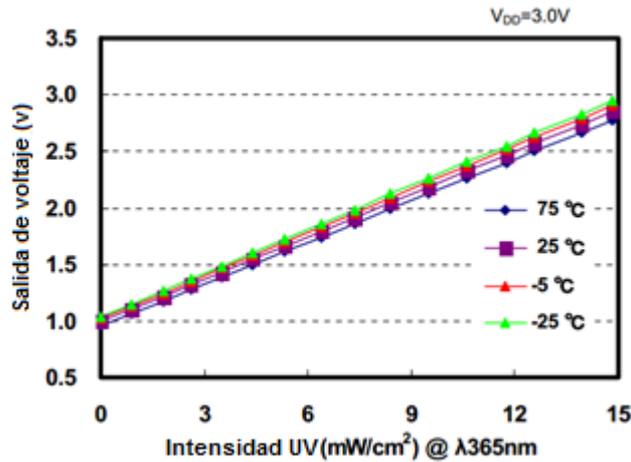
*Figura 37: Sensor de rayos UV ML8511*

Este sensor detecta la luz de 280-390nm de manera eficaz. Esto se clasifica como parte del espectro UVB y la mayor parte del espectro UVA. Produce una tensión analógica que está linealmente relacionada con la intensidad UV medida en  $mW / cm^2$ .

#### Características del sensor de rayos ultravioletas (ML8511)

- Fotodiodo sensible a UV-A y UV-B.
- Amplificador operacional incorporado.
- Salida de tensión analógica.
- Corriente baja de suministro ( $300\mu A$  tip.) Y baja corriente de espera ( $0.1\mu A$  tip.).
- Paquete pequeño y delgado de montaje en superficie ( $4.0mm \times 3.7mm \times 0.73mm$ , 12-pin ceramic QFN)+.

En la gráfica 1 se observan las características trazadas entre la tensión de salida del sensor con respecto a la intensidad de UV ( $mW / cm^2$ ) a una alimentación VDD constante. Las curvas en diferentes colores representan el funcionamiento del sensor en diferentes rangos de temperatura.



Gráfica 1: Funcionamiento del sensor en diferentes rangos de temperatura.

### Funcionamiento del sensor ML8511

Este dispositivo acopla en su interior un fotodiodo que su funcionamiento radica en la separación de los pares electrón-hueco generados por la radiación que atraviesa la zona desierta de la juntura PN, ver figura N° 38 El campo eléctrico presente en la juntura es el que inhibe una rápida recombinación de los pares generados que son arrastrados hasta las regiones cuasi-neutrales generando así una corriente eléctrica neta.

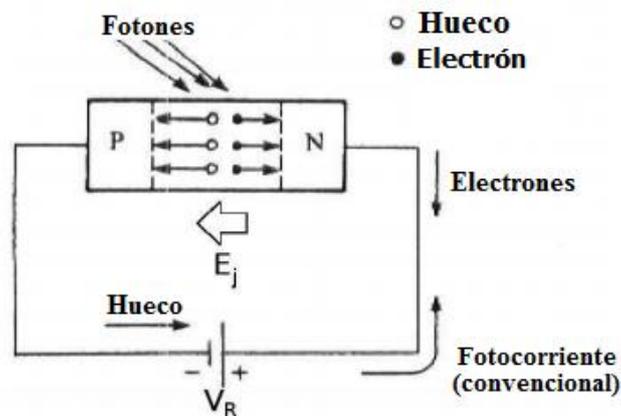


Figura 38: Esquema de funcionamiento del fotodiodo.

Al polarizar inversamente el fotodiodo la corriente generada ópticamente puede ser fácilmente detectada, ya que su magnitud es superior a la corriente de fuga inversa del diodo.



Lo que define las propiedades de sensibilidad al espectro de un fotodiodo es el material semiconductor que se emplea en la construcción. En la tabla N° 5 se muestra algunos materiales empleados en la fabricación del fotodiodo el cual define sus propiedades de absorción de luz:

Tabla 5: Materiales de construcción del fotodiodo.

Material	longitud de onda (nm)
Silicio	100 – 1100
Germanio	800–1700
Indio galio arsénico (InGaAs)	800–2600

### Configuraciones de pines ML8511

En la figura N° 39 se muestra la descripción de los pines del sensor ML8511:

PIN	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Vin	Fuente de alimentación 3.3 – 5v
2	3.3 v	Fuente de alimentación 3.3v
3	GND	Tierra
4	OUT	Salida (Bajo consumo o modo de espera)
5	EN	Activar sensor (Alto: modo activo, bajo: modo de espera)



Figura 39: Descripción de pines del sensor ML8511.

#### 6.6.4. Tratamiento de la señal para los sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica.

El tratamiento de señal es uno de los componentes más importantes de un sistema de adquisición de datos; ya que, sin la optimización de las señales del mundo real para el digitalizador que se esté utilizando, no se puede confiar en la exactitud de la medida.

#### Sensor de Temperatura y humedad DHT22

La Figura N° 40 muestra un diagrama para medir un termistor de tipo NTC y un sensor capacitivo para la humedad con un alto grado de precisión los cuales forman el sensor DHT22. Internamente el circuito de este sensor incluye un ADC de alta precisión que leerá los valores de ambos sensores y mandará la

lectura al bloque lógico que se encarga de calibrar las lecturas que posteriormente se controlará utilizando una interfaz de un hilo o SDA desde un microcontrolador externo.

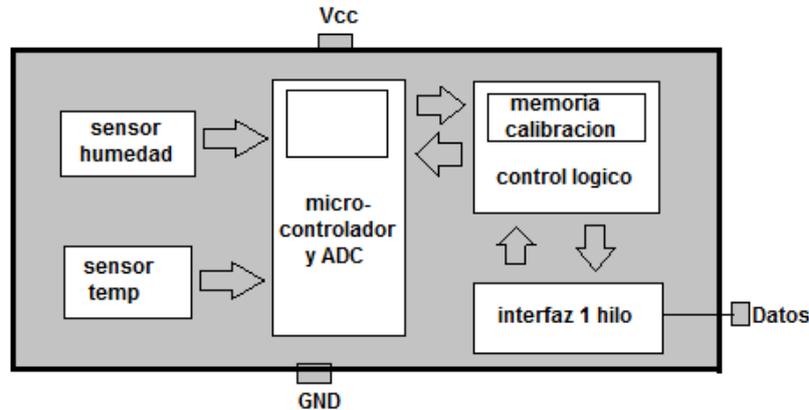


Figura 40: Diagrama interno del DHT22

### Sensor de presión BMP280

Este es un sensor totalmente cerrado, es un dispositivo empaquetado con tapa metálica que contiene un sensor de presión barométrica absoluta y un sensor de temperatura. Ambos sensores están conectados a un multiplexor el cual envía las señales en una línea de transmisión hasta llegar al ADC que realiza el desmultiplexado y convierte las señales que son enviadas al microcontrolador interno para realizar el filtrado y calibración de las mismas, finalmente son transmitidas por la interfaz i2c o SPI aun microcontrolador externo. Figura N° 41.

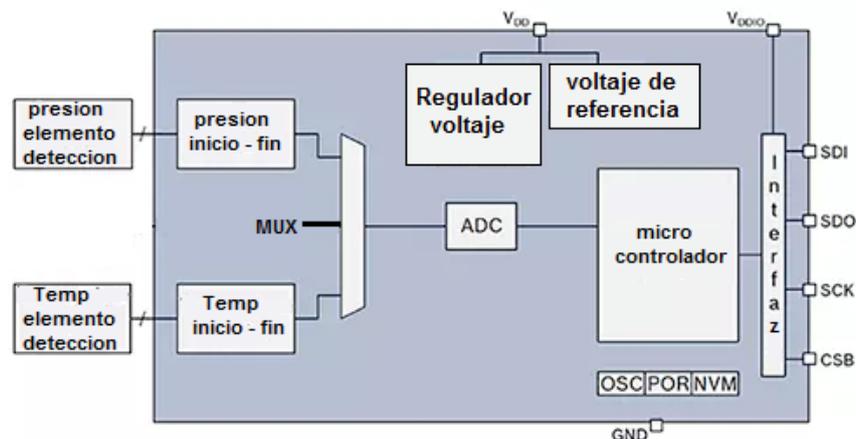


Figura 41: Diagrama interno del sensor BMP280

---

## 6.7. Antena

Una antena es un dispositivo metálico capaz de irradiar y recibir ondas electromagnéticas del espacio. En los circuitos transmisores y receptores de radio, se producen corrientes y tensiones eléctricas de altas frecuencias y asociadas a ellas se encuentran las ondas electromagnéticas. Para viajar por el espacio esas señales eléctricas se deben transducir en onda electromagnética.

### **Funcionamiento de una antena**

La transferencia de energía debe realizarse con la mayor eficiencia posible, de modo que se busque el acoplamiento óptimo, entre las impedancias de los diversos elementos del sistema. Una parte importante de la energía recibida o transmitida serán reflejadas en la línea de transmisión, dando lugar a ondas estacionarias que no contribuyen a la energía útil y que, además, son causa de distorsiones en la señal transportada por la onda electromagnética.

Para que una antena sea eficiente, es decir, para que irradie la mayor parte de la energía que se le suministre, o que transmita al receptor la mayor parte de la energía que capture, sus dimensiones deben ser del orden de la longitud de onda,  $\lambda$ . En la práctica las dimensiones de la antena se sitúan entre alrededor de  $1/8\lambda$  y alrededor de una  $\lambda$ . Si sus dimensiones son mucho menores su eficiencia se reduce considerablemente.

Una onda electromagnética en el espacio libre o vacío lo hace a una velocidad de propagación constante de aproximadamente 300.000 Km/segundo, es decir  $3 \times 10^8$  m/s. Su longitud de onda y su frecuencia están relacionadas por la siguiente expresión:

$$c = \lambda f \quad \text{Ec. 2}$$

dónde:

c: velocidad de la luz (300.000 Km/s)

f: frecuencia de trabajo

La longitud de la onda es un dato muy importante en el comportamiento de la línea de transmisión y las dimensiones de la antena.

Una línea que termina en circuito abierto, representa una impedancia de carga equivalente a un circuito resonante paralelo LC (impedancia máxima) en sus extremos. En estas condiciones, se forma una onda estacionaria de tensión con un máximo de tensión y otra onda estacionaria con un mínimo de corriente. La formación de la onda estacionaria es consecuencia del avance de la onda incidente hacia la carga y del retroceso de la onda desde la carga hacia la fuente (onda reflejada). Esto se muestra en la figura N° 42 donde se observan las ondas estacionarias de tensión y de corriente, la distribución de las cargas eléctricas por efecto del campo eléctrico juntamente con las corrientes estacionarias producidas por el campo magnético alrededor del conductor.

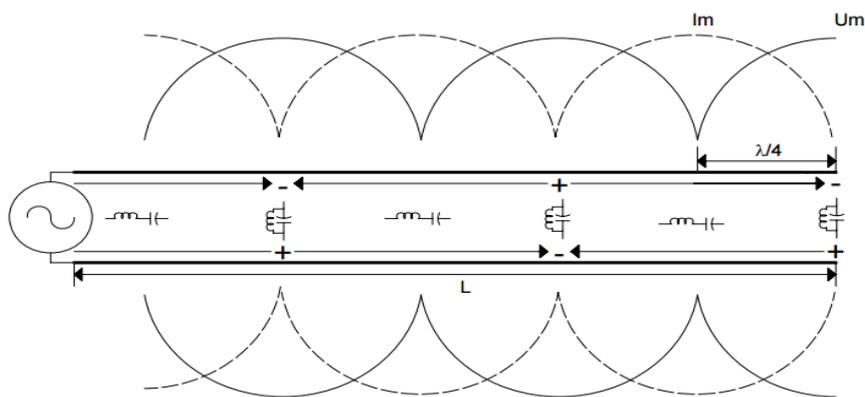


Figura 42: Línea de transmisión abierta y la formación de ondas estacionarias.

Si se realiza el doblado de cada uno de los extremos de los alambres que forman la antena a una distancia de  $\lambda / 4$ , formando un ángulo de  $90^\circ$  respecto al eje de cada uno de ellos, la onda de tensión en los extremos de cada conductor será la misma respecto a su plano inicial de referencia, mientras que los campos eléctricos se distribuirán en forma co-lineal, en cada uno de los nuevos segmentos. Las corrientes en cada segmento tienen la misma dirección y por tanto los campos magnéticos en estos tramos no se anulan.

La disposición de estos dos segmentos de  $\lambda / 4$  co-lineales, recibe el nombre de dipolo de  $1/2$  onda o antena de Hertz (Figura N° 43). Estos campos alineados en fase a través del dipolo de media onda pueden ahora convertirse en ondas

electromagnéticas que se desplazan por el dipolo y se transfieren al espacio libre.

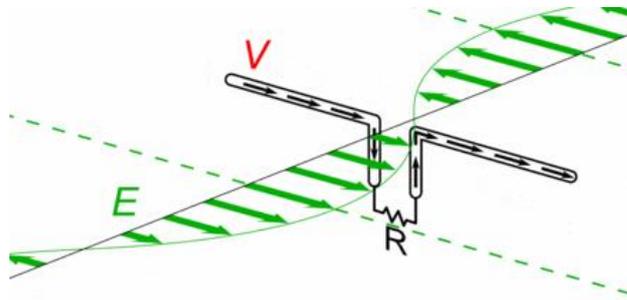


Figura 43: Antena dipolo de 1/2 onda a partir de un tramo de línea.

Una clasificación de las antenas puede basarse en función de:

### Frecuencia y tamaño

Las antenas utilizadas son diferentes: para HF, VHF y microondas. La longitud de onda difiere para distintas frecuencias de aplicación, por lo tanto, las antenas deben cambiar su tamaño para irradiar señales a la correcta longitud de onda.

En este caso interesan las antenas que trabajan en el rango de las microondas, especialmente en las frecuencias de los 2,4 GHz, que equivale a una longitud de onda es 12,5 cm.

### Tipos de antenas

Las antenas pueden ser omnidireccionales, sectoriales o directivas.

Las antenas omnidireccionales irradian aproximadamente con la misma intensidad en todas las direcciones del plano horizontal, es decir en los 360°. Los tipos más populares de antenas omnidireccionales son los dipolos y las de plano de tierra.

Las antenas sectoriales irradian principalmente en un área específica. El haz puede ser tan amplio de aproximadamente de 180 grados, o tan angosto como de 60 grados.

Las direccionales o directivas son antenas, en las cuales el ancho del haz es mucho más angosto que en las antenas sectoriales. Tienen la ganancia más alta y por lo tanto se utilizan para enlaces a larga distancia.

A continuación, se presentará una breve lista de tipos comunes de antenas para la frecuencia de 2,4 GHz, con una corta descripción de la información básica acerca de sus características.

### Antena dipolo

Conocida también como antena HERTZ, consiste de dos conductores rectos colineales de igual longitud, con un pequeño espacio, la longitud de la antena es la mitad de la longitud de onda de la señal ( $\frac{1}{2} \lambda$ ) que pueda transmitirse de forma más eficiente. Ver figura N° 44.

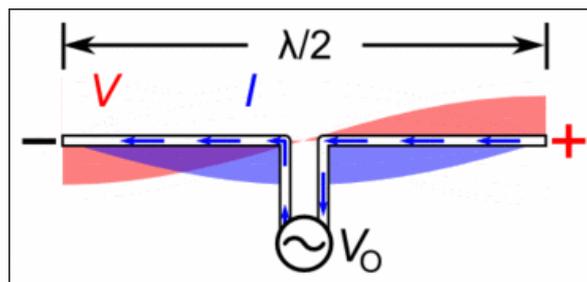
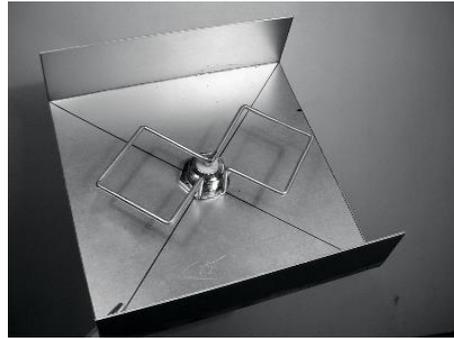


Figura 44: Dipolo de  $1/2\lambda$ .

### Antena de cuadro o cúbicas

Es una antena que se construye mediante espiras de alambre formando anillos o loops de forma cuadrada, ver figura N° 45.



*Figura 45: Antena Biquad.*

### **Antena de apertura**

Se construyen con chapas de metal de forma cónica para lograr diferentes ángulos de apertura respecto al vértice y al eje del cono tanto en el plano vertical como en el plano horizontal, ver figura N° 46.



*Figura 46: Antena de apertura.*

### **Antenas con reflectores**

Se colocan elementos adicionales a la antena para modificar su direccionalidad. Un ejemplo lo constituye el reflector parabólico donde la antena se coloca en el foco de la parábola y de esta manera solo hay radiación en una sola dirección, figura N° 47.

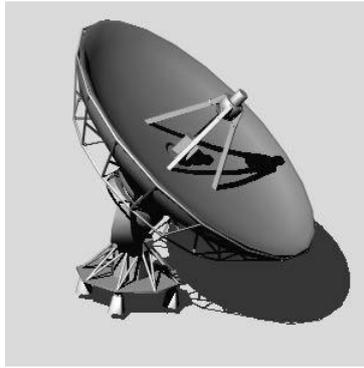


Figura 47: Antena con reflectores parabólicos.

## 6.8. Pantalla LCD (Liquid Crystal Display)

La pantalla de cristal líquido es un dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una forma gráfica, mediante caracteres, símbolos o pequeños dibujos dependiendo del modelo. Está gobernado por un microcontrolador el cual dirige todo su funcionamiento.

En este caso se empleará un LCD de 16x2, esto quiere decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una. La columna dispone de una matriz de 5x7 puntos (pixels).

### Funcionamiento del LCD

Para comunicarse con la pantalla LCD se hace por medio de sus pines de entrada, con bus de 4 bits. En la figura N° 48 la manera básica de conexión el LCD con un microcontrolador.

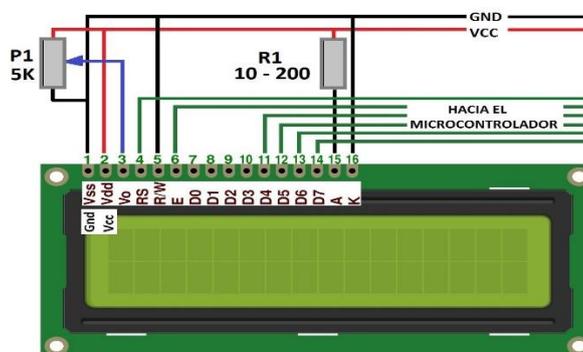


Figura 48: Conexión básica del LCD

Como puede apreciarse el control del contraste se realiza al dividir  $V_{cc}$  con un potenciómetro de  $10k\Omega$ .

### Características del LCD

- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres Kanji y griegos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o derecha.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla.
- Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres.
- Conexión a un microcontrolador usando interfaz de 4 u 8 bits.

### Descripción de pines

A continuación, la tabla N° 6 se muestra la descripción de los pines que tiene la pantalla LCD.

*Tabla 6: Descripción de pines del LCD 1602.*

PIN	Símbolo	Descripción
1	Vss	Tierra
2	Vdd	Alimentación +5v
3	Vo	Contraste del LCD
4	RS	Selección del registro de control/ registro de datos RS=0 Selección registro de control RS=1 Selección registro de datos
5	R/W	Señal de lectura/escritura R/W=0 Escritura ; R/W=1 Lectura
6	E	Habilitar el modulo E=0 desactivado ; E=1 activado
7-14	D0-D7	Bus de datos bidireccional
15-16	A, K	Son los terminales del LED (Ánodo y cátodo) que ilumina el fondo de la pantalla (BackLight).

Para conectar esta pantalla con el microcontrolador Atmega328 como se comentó anteriormente se necesita de varios pines para llevarlo a cabo es por ello que se utilizará el módulo LCM 1602 I2C V1 para realizar la comunicación

entre el microcontrolador y la pantalla 1602 por medio de la interfaz I2C con la cual la conexión será mucho más sencilla de realizar. Este módulo (figura N° 49) consta de una expansión de E/S de 8 bits destinado a la comunicación I2C, este mismo integra un potenciómetro para controlar el contraste del LCD y una serie de resistencias para regular corrientes.



Figura 49: LCD 1602 con interfaz I2C.

## 6.9. Módulo RTC (Real Time Clock)

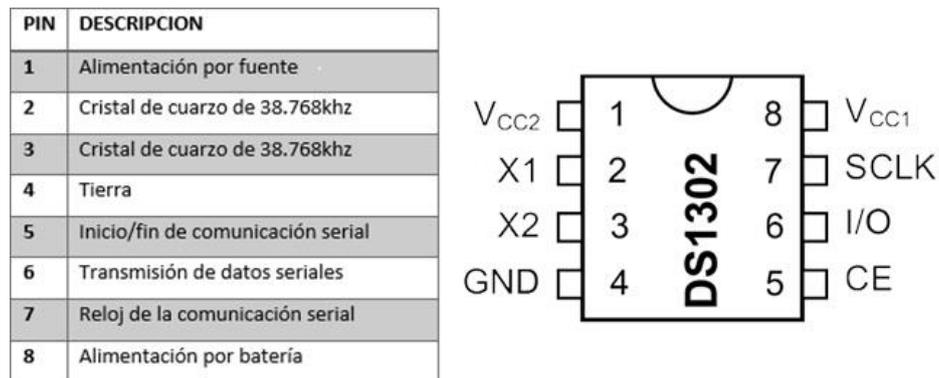
Un módulo RTC o "Reloj de tiempo real" consiste en un circuito integrado en este caso el DS1302 que es alimentado por una batería el cual, en todo momento, registra la fecha, día de la semana y hora al igual que un reloj digital convencional. En la figura N° 50 se muestra el módulo RTC.



Figura 50: Módulo RTC DS1302.

La interconexión del DS1302 con un microprocesador se simplifica mediante la comunicación en serie síncrona. Sólo se requieren tres cables para comunicarse con el reloj: CE, I / O (línea de datos) y SCLK (reloj serie). Los datos se pueden transferir desde el reloj 1 byte a la vez o en una ráfaga de

hasta 31 bytes. El DS1302 está diseñado para trabajar en aplicaciones de bajo consumo de potencia, de hecho, cuenta con los dispositivos adecuados para ser alimentado por baterías recargables. Este dispositivo cuenta con tan solo 8 pines, de los cuales muestra la descripción de pines en la figura N° 51.



*Figura 51: Descripción de pines del módulo RTC.*

Dentro de las funciones que realiza, tenemos:

- Contador de segundos, Minutos, Horas, Día de la Semana, Día del Mes, Mes, Año con compensación de Año Bisiesto. Con validez hasta el 2100.
- RAM interna de 31x8.
- Voltaje de Operación de 2 a 5.5 volts.
- Requiere de menos de 300nA a 2Volts.
- Temperatura de Operación de -40 a 85 °C.

## 7. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES POR MEDIO DE RADIO FRECUENCIA EN LA UNAN-MANAGUA

### 7.1. Pre diseño del sistema de monitoreo de parámetros ambientales por radio frecuencia en la UNAN-Managua

La versatilidad del diseño realizado del equipo de uso portátil, este puede ser funcional en cualquier sitio del recinto, como departamento o facultad, que lo necesite para monitorear parámetros ambientales aplicables a la docencia o en investigaciones científicas del recinto universitario Rubén Darío UNAN-Managua. En la figura N° 52 se muestra el diagrama en bloque de la estación inalámbrica diseñada.

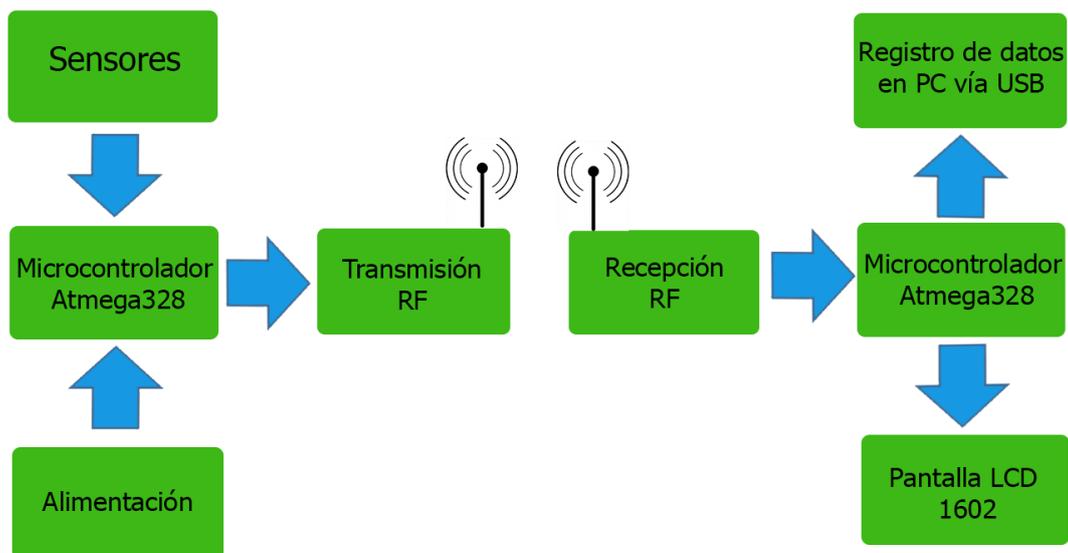


Figura 52: Diagrama en bloque del sistema de monitoreo de parámetros ambientales.

La primera etapa fue la elaboración de un pre diseño del circuito transmisor de la estación meteorológica, el cual está basado en la incorporación de los distintos sensores para la medición de los diferentes parámetros meteorológicos básicos (Temperatura, Humedad Relativa, Presión Atmosférica, Rayos UV).

### 7.1.1. Conexión del sensor DHT22

La figura N° 53 muestra la conexión del sensor DHT22 con la placa Arduino NANO, se conecta el pin de datos del sensor al pin digital 7 además se conectó una resistencia pull-up para evitar falsos estados generados por ruido.

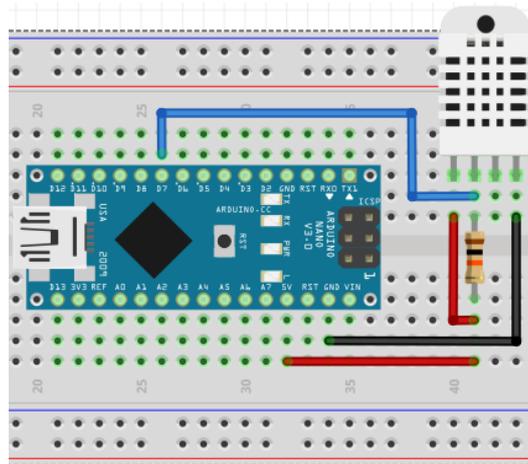


Figura 53: Esquema de conexión en del DHT22 y su montaje en protoboard, cortesía de FRITZING

Así también se incorporó su respectiva librería en la cual se define una instancia donde se declara el pin a utilizar para el registro de datos. (Figura N°54)

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 7
```

Figura 54: Librería del sensor DHT22 (AM2302).

### 7.1.2. Conexión del sensor BMP280

La conexión del sensor de presión atmosférica BMP280 se realiza conectando los pines SDA y SCL al bus I2C de la placa Arduino NANO en la figura N° 55 se muestra esta conexión.

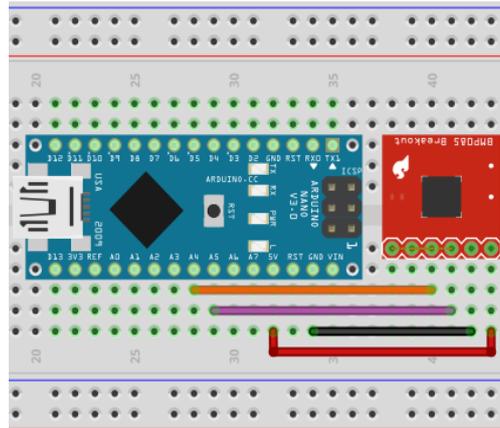


Figura 55: Esquema de conexión del sensor BMP280.

Este sensor utiliza dos librerías para el funcionamiento correcto, la primera librería se encarga de realizar las mediciones de presión respectivamente y la segunda librería realiza la comunicación entre el sensor y el microcontrolador. (Figura N° 56).

```
#include "BMP280.h"
#include "Wire.h"
```

.Figura 56: Librerías para el sensor BMP280.

### 7.1.3. Conexión del sensor ML8511

El siguiente esquema (figura N° 57), corresponde al sensor de rayos ultravioleta ML8511 en el cual su salida se conecta al pin A0 del microcontrolador, el pin EN se conecta al pin A1 que a su vez esta puenteado con 3.3v, esto para obtener un voltaje de referencia que se compara con la lectura que realiza el sensor.

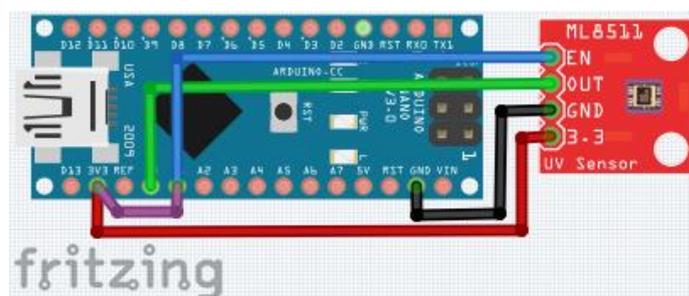


Figura 57: Esquema del sensor MJ8511.

Este sensor no necesita de librerías para su funcionamiento, pero si de una función de mapeo de datos para realizar la conversión de datos que entrega este sensor al índice de rayos UV que se mencionó en la página N° 22. (Figura N° 58).

```
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
```

Figura 58: Función de conversión de datos que entrega el sensor ML8511.

#### 7.1.4. Conexión del transceptor NRF24L01+

La conexión del módulo transceptor se establece a través del protocolo SPI para comunicarse con el microcontrolador. En la figura N° 59 se presenta esta conexión.

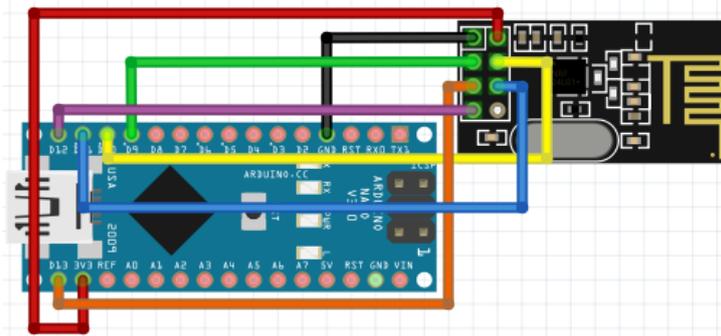


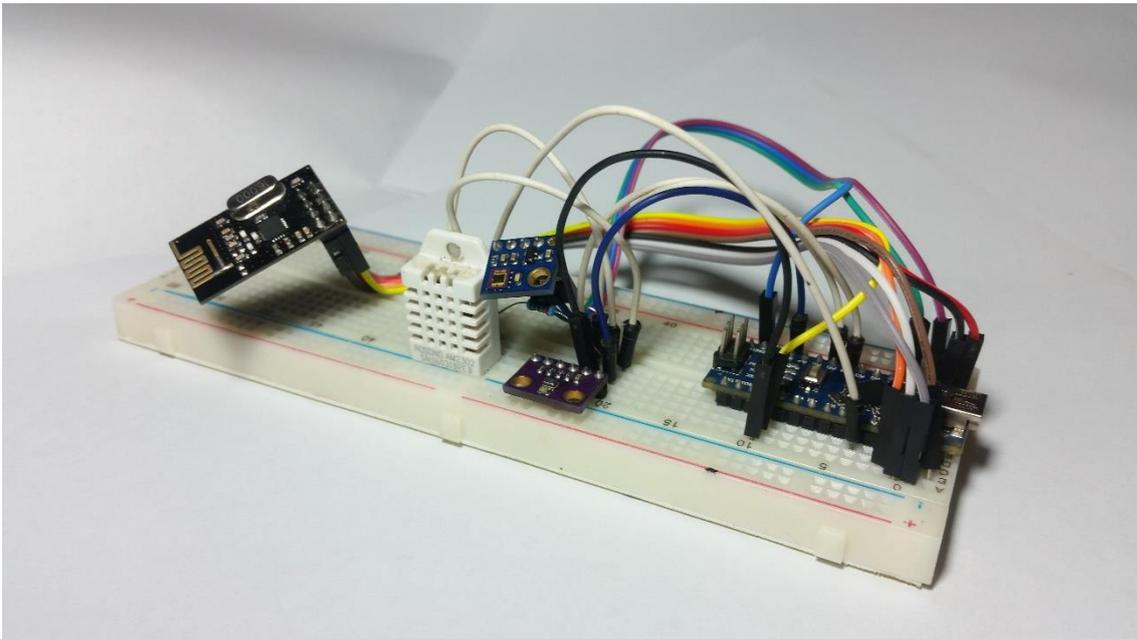
Figura 59: Diagrama esquemático del módulo transceptor nRF24L01+.

Se presentan también dos librerías las que permiten el funcionamiento adecuado del transceptor, la primera permite la comunicación con el microcontrolador a través del protocolo antes mencionado, la segunda es para establecer y configurar la comunicación inalámbrica entre los transceptores. Figura N° 60.

```
#include <SPI.h>
#include <Mirf.h>
```

Figura 60: Librerías para el funcionamiento del transceptor.

Finalmente, el transmisor se programó con un lenguaje de alto nivel utilizando el software IDE mencionado en la página N° 25 haciendo uso de librerías pre-elaboradas, se configuro cada uno de los dispositivos utilizados en este proyecto. En la figura N° 61 se muestra el transmisor montado en una protoboard.



*Figura 61: Fotografía tomada del pre diseño.*

En la segunda etapa de este pre diseño se elaboró el dispositivo receptor de datos, este consiste en la incorporación de una placa Arduino UNO R3, una pantalla LCD 1602 y un transceptor NRF24I01+, la conexión de este último se presentó en la figura N° 59.

### 7.1.5. Conexión de la pantalla LCD 1602

La pantalla LCD 1602 se comunica con el microcontrolador por medio de la interfaz I2C como se mencionó en la página N° 60, en la figura N° 62 se presenta la conexión con la placa UNO R3.

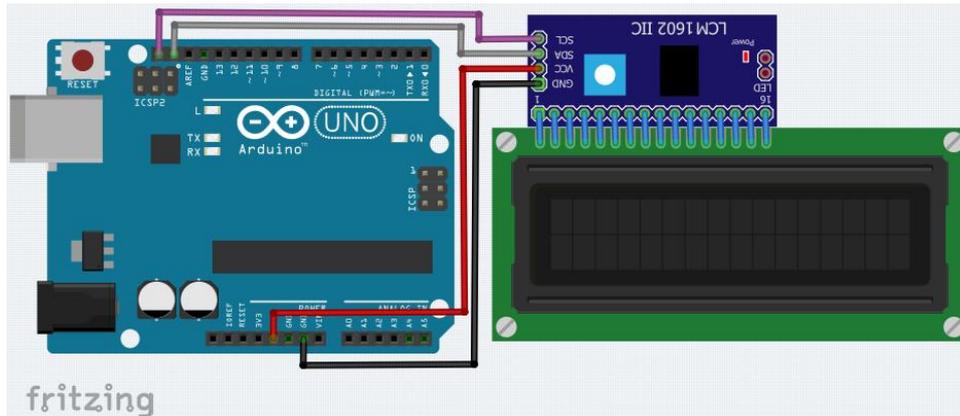


Figura 62: Diagrama esquemático de la pantalla LCD1602 por I2C.

De igual manera se muestran las librerías (figura N° 63) que utiliza para el funcionamiento adecuado. La primera librería se encarga de interpretar los caracteres e imprimirlos en la pantalla, mientras que la segunda librería es un complemento de la primera para conectar la pantalla de cristal líquido con el protocolo I2C para comunicarse con el microcontrolador a través del módulo LCM1602.

```
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

Figura 63: Librerías utilizadas para el funcionamiento de la pantalla LCD1602.

Finalmente, el receptor se programó con el mismo lenguaje que el transmisor. En la figura N° 64 se muestra el receptor encapsulado en un recipiente plástico para evitar golpes que puedan dañar los dispositivos.



Figura 64: Fotografía tomada al receptor.

## 7.2. Comunicación entre PC y receptor de la estación inalámbrica.

Para la comunicación entre el PC y el receptor de datos se utiliza un software de captura de datos llamado PLX – DAQ (Parallax Data Acquisition tool), ver figura N° 65, PLX DAQ es un programa utilizado para establecer comunicación entre Microsoft Excel en un equipo con Windows y cualquier dispositivo que admita el protocolo de puerto serie. Se pueden seleccionar distintos puertos serie para comunicarse con cualquier dispositivo.

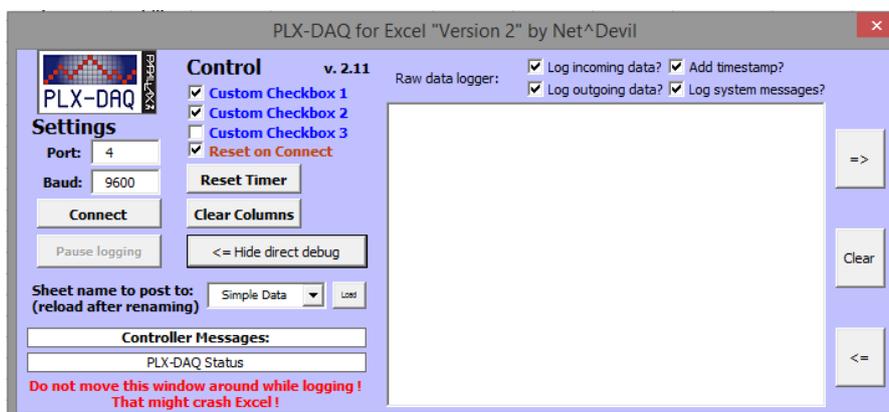


Figura 65: Programa de transferencia de datos PLX-DAQ.

---

Para el funcionamiento correcto de este software, se debe enviar comandos especiales. Todos estos comandos se deben enviar desde microcontrolador al PC usando los comandos **Serial.println**. Los cuales pueden incluir parámetros, variables y funciones para enviar.

A continuación, se muestran algunos comandos que son utilizados en la programación de este proyecto.

- **CLEARDATA**: Este comando borra los datos registrados en la hoja de datos.  
Sintaxis: `Serial.println("CLEARDATA");`
- **LABEL**: Con este comando se puede configurar las etiquetas de la fila superior de la hoja de datos.  
Sintaxis: `Serial.println("LABEL, columna 1, Columna 2, Columna 3");`
- **DATA**: Este es el comando más básico y crucial de PLX DAQ. Se utiliza para enviar datos desde el Arduino a Excel y se imprimen en la hoja de datos.  
Sintaxis:  
`Serial.print("DATA,DATE,TIME,");`  
`Serial.print(miVariableA);`  
`Serial.print(",");`

### 7.2.1. Formato de registro de datos

El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) cuenta con un formato para el registro de datos de 24 horas y otro para el promedio mensual de los mismos. En anexo 6 se muestra este formato.

Para el registro de datos que se obtienen de la estación inalámbrica se realizó un formato básico para tener un control, en la figura N° 66 se muestra el formato básico utilizado.

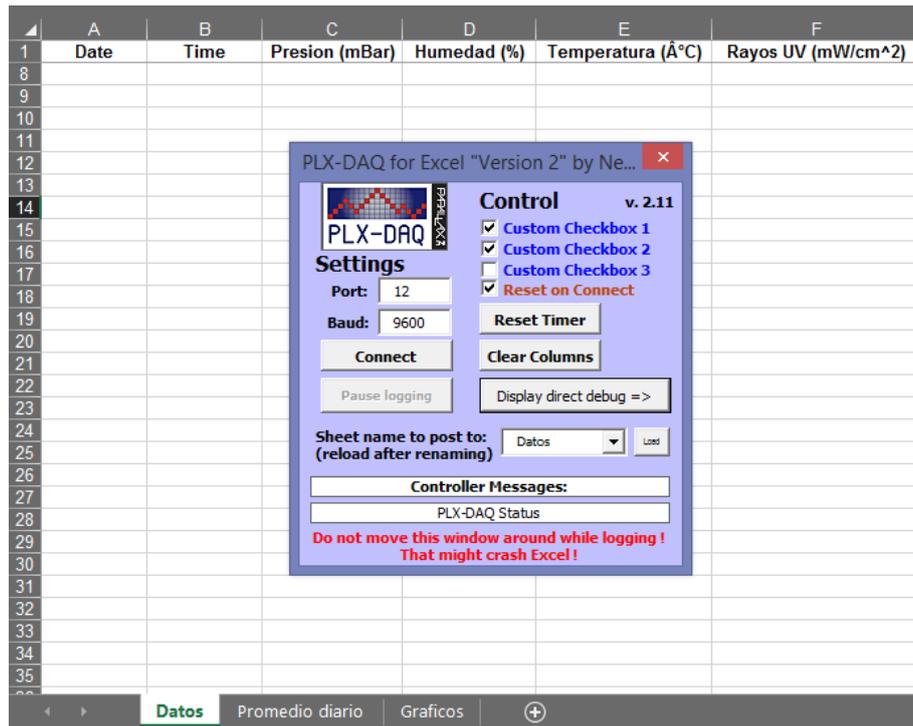


Figura 66: Formato para el registro de datos.

Este formato cuenta con una hoja para la recepción directa de los datos enviados por el receptor al PC, una hoja para promediar estos datos y otra para graficarlos todo es realizada de manera automática, mientras se está obteniendo los datos. Por seguridad este libro se guarda automáticamente por cada dato recibido.

#### 7.4. Diseño final del sistema de monitoreo de parámetros ambientales por medio de radio frecuencia en la UNAN-Managua

A partir de sugerencias del responsable de la estación meteorológica del aeropuerto Lic. Onil Cisneros, menciono que la realización de las mediciones de la estación inalámbrica sean de tipo temporizada y puntual que permita la localización de la información según su fecha y hora, para abolir el sistema de medición del tipo continuo, para así favorecer a las unidades de meteorología donde se instale dicha estación, con una base de datos adecuada para su posterior procesamiento.

El diseño final consiste en la modificación del pre diseño anexándole al hardware de la parte de transmisión un RTC, que es una unidad que permite la temporización de los tiempos de medición que se pueden visualizar.

En el diagrama que se presenta en la figura N° 67, se incorpora el módulo RTC, el cual funciona con la conexión de tres líneas, este cuenta con una batería adicional por lo cual no es necesario conectarlo a Vcc.

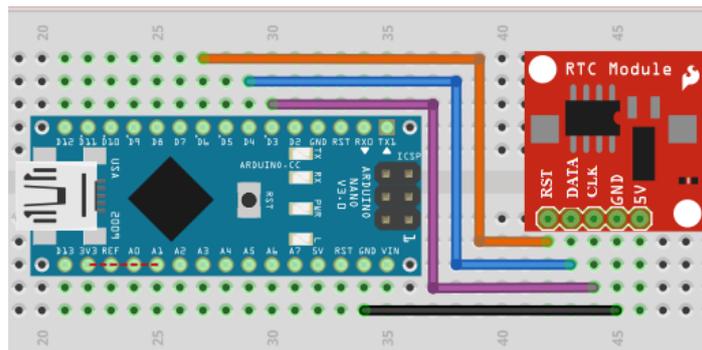


Figura 67: Diagrama Esquemático del módulo RTC.

Este módulo requiere de una librería para iniciar su función, junto con el microcontrolador que de manera similar al sensor DHT22 se declaran los pines para la conexión del módulo RTC. (Figura N° 68).

```
#include <virtuabotixRTC.h>
//SCLK -> 3, I/O -> 4, CE/rst -> 5
virtuabotixRTC myRTC(3, 4, 5);
```

Figura 68: Librería del RTC.

#### 7.4.1. Diagrama electrónico completo del sistema de monitoreo de parámetros ambientales

La figura N° 69 muestra el sistema de monitoreo con todos los sensores ambientales conectados al microcontrolador Arduino nano, así también el modulo transceptor para realizar el envío de datos de los parámetros a medir, además de su respectiva fuente de alimentación.

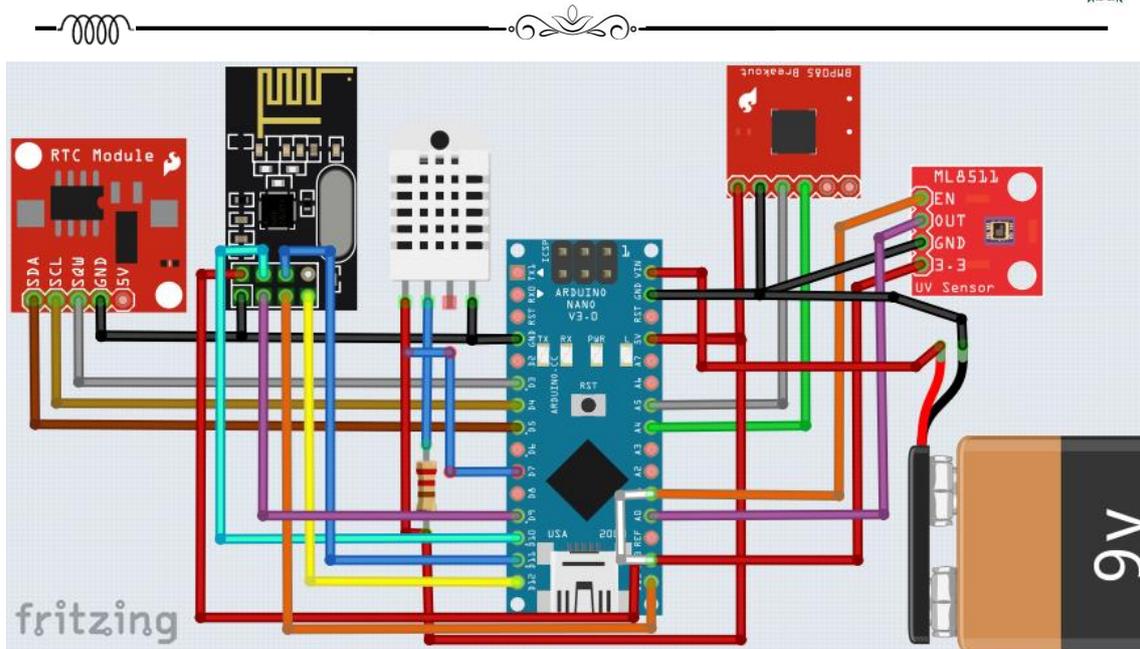


Figura 69: Diagrama del transmisor del sistema de monitoreo.

El receptor para el sistema de monitoreo se presenta en la figura N° 70, consiste en una pantalla de cristal líquido adaptando el módulo LCM1602 para conectarlo a través del protocolo I2C, un microcontrolador Arduino UNO R3 y un transceptor, este recibe los datos de los parámetros ambientales que envía el sistema transmisor mencionado anteriormente.

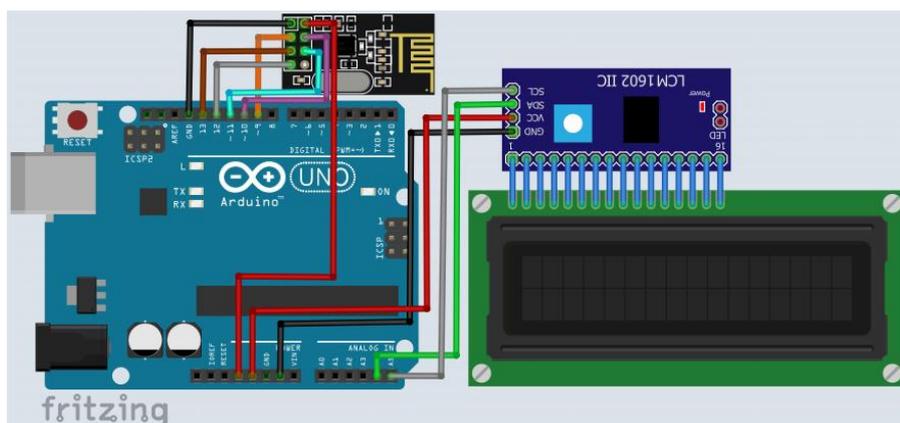


Figura 70: Diagrama del receptor de sistema de monitoreo.

---

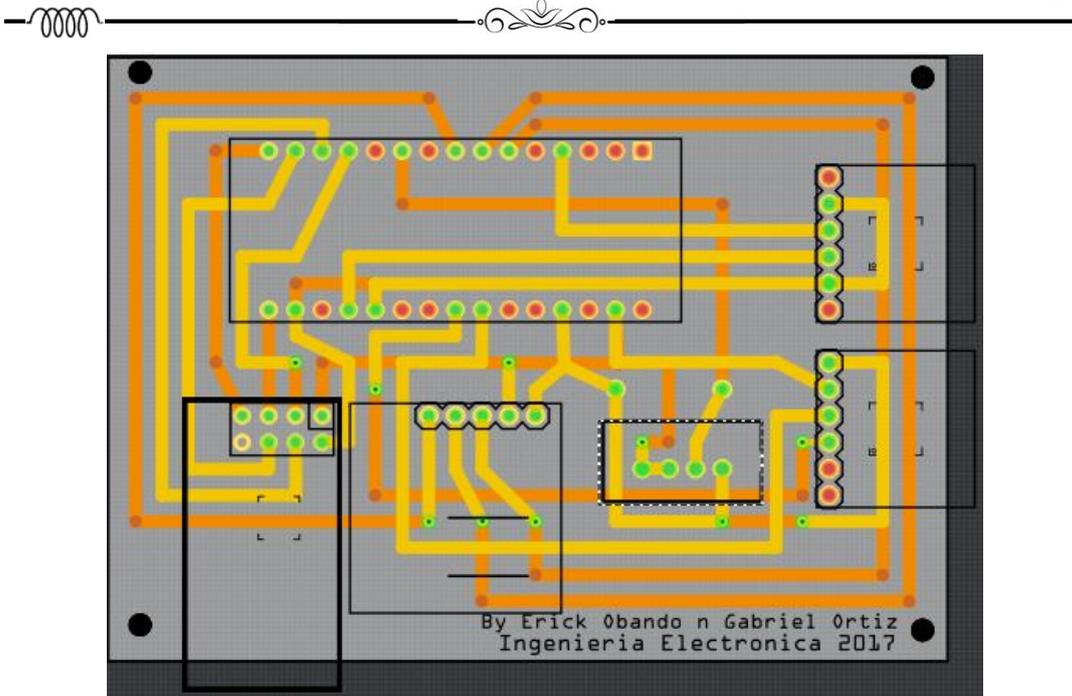
## 7.4.2. Elaboración del prototipo de la estación inalámbrica

### Herramientas y materiales:

- 2 baquelitas virgen 8.1 cm x 5.8 cm
- 1 broca de 3mm y 0.8mm
- Taladro eléctrico
- 15ml de ácido nítrico
- 6 bases para IC
- 8 pernos 3/32 de 6 mm
- Pistola para soldar estaño
- 1 metro de estaño
- Pasta para soldar
- Thinner
- 2 placas Arduino (UNO y NANO)
- BMP280
- DHT22
- ML8511
- 2 Transceptores NRF24L01
- Pantalla de Cristal Líquido 1602
- 2 celdas 18650 y elevador de tensión DC – DC

### Procedimiento de elaboración del prototipo de la estación inalámbrica

Para elaborar el prototipo se necesitó de una tarjeta compacta donde acoplar todos los sensores y módulos del sistema de transmisión de las variables físicas ambientales, al no encontrarse una tarjeta en venta para dicho sistema, se procedió a elaborar la tarjeta madre haciendo uso del software FRITZING especializado para la elaboración de circuitos PCB y diagramas electrónicos, obteniendo el diseño deseado como se muestra en la figura N° 71.



*Figura 71: Diseño de la PCB de la estación de transmisión.*

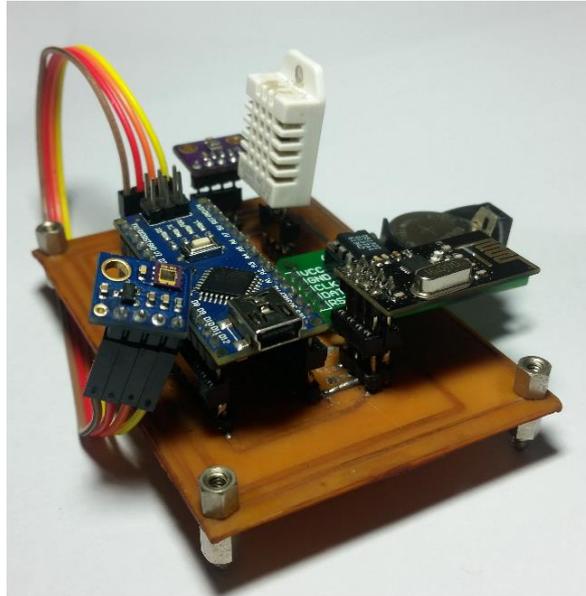
Una vez terminado el diseño del circuito se imprime sobre un papel fotográfico con una impresora láser o bien una fotocopidora. Luego mediante calor el tóner de la impresión se transfiere a la placa. En este método la impresión tiene que ser de buena calidad y el calor debe ser aplicado de forma uniforme a una temperatura aproximadamente de  $150^{\circ}\text{C}$ , se mantuvo presionada la hoja impresa sobre la superficie cubierta de cobre aproximadamente 5 minutos, seguidamente se vertió en agua para deshacer el papel y dejar solo la tinta sobre el cobre.

Para eliminar el cobre no cubierto por el tóner se utilizó el método REDOX (Reducción – Oxidación) con ácido nítrico, introduciendo las baquelitas en un recipiente plástico se añadió 15ml de ácido cubriendo completamente las baquelitas hasta quedar solo las pistas de cobre, se retiran las placas con cuidado y se lavan con abundante agua.

Para completar el diseño del circuito antes mencionado se fijaron ambas baquelitas con pernos (6/32 de 6mm con rosca M3), finalmente se hicieron las perforaciones en la placa con una broca de 0.8mm para colocar los dispositivos correspondientes en ella. Se implementó el uso de bases para IC en cada uno

de los dispositivos de manera que se pueda realizar un cambio si algunos de estos se llegasen a dañar.

La figura N° 72 muestra la tarjeta terminada, con todos los dispositivos ensamblados y listos para su funcionamiento.



*Figura 72: Fotografía tomada del prototipo de transmisión de la estación meteorológica inalámbrica*

#### **7.4.3. Mejoras en las antenas de transmisión y recepción.**

Para mejorar el alcance de transmisión se adaptó una antena dipolo para la frecuencia de trabajo del módulo transceptor NRF24I01, ya que la antena que posee no abarca una distancia mayor a 45 metros, mientras que al incorporarle la antena dipolo se logró un alcance de 80 metros aproximadamente en ambos casos sin obstáculos.

Para obtener la longitud de la antena dipolo se calculó la longitud de onda a la frecuencia de trabajo del NRF24I01 utilizando la ec. 2 mostrada en la página N° 54, en este caso los transceptores están configurados a una frecuencia de 2457Mhz.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2457 \text{ Mhz}} = 0.122 \text{ m}$$

La longitud total de la antena es  $1/2 \lambda$  por lo tanto será de 0.061 m o 6.1 cm. En la figura N° 73 se observa la antena dipolo ya incorporada en el transceptor

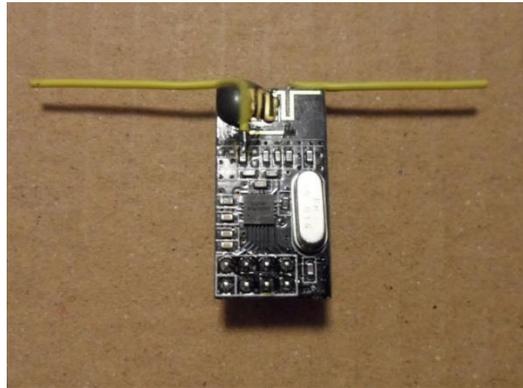


Figura 73: Incorporación de antena dipolo.

#### 7.4.4. Diagrama de flujo de la estación inalámbrica

A continuación, se muestra el diagrama de flujo que representa el código del programa para la lectura y transmisión de los datos a través de radiofrecuencia para la estación meteorológica inalámbrica, tal como se observa en la Figura N°74.

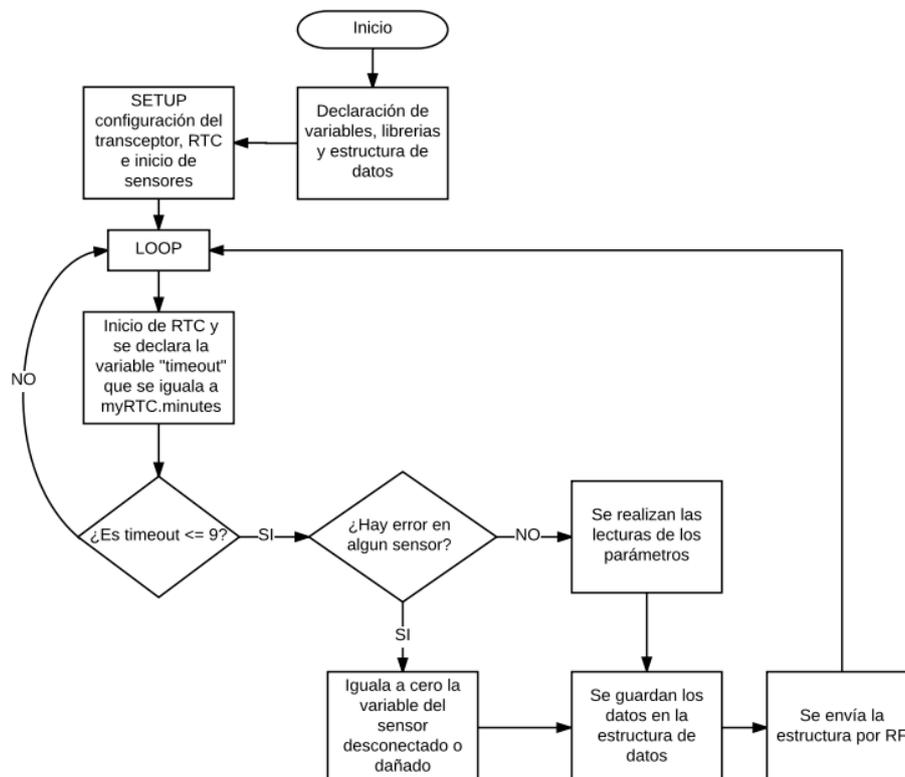


Figura 74: Diagrama de flujo del transmisor.

En la figura N° 75 se muestra el diagrama de flujo de la parte de recepción de datos de la estación inalámbrica.

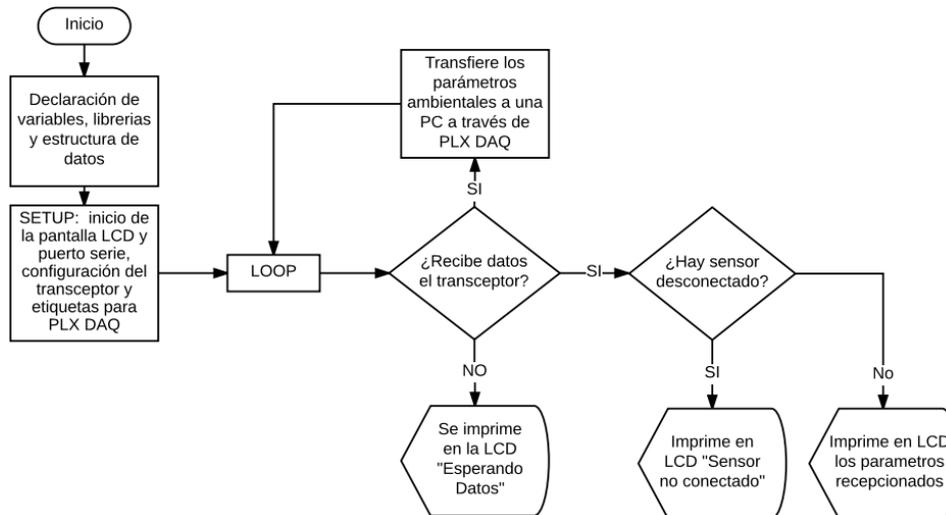


Figura 75: Diagrama de flujo del receptor.

## 7.5. Análisis de resultados de los parámetros físicos ambientales con la estación meteorológica diseñada y la estación de INETER.

### 7.5.1. Ventajas y desventajas de la estación inalámbrica con respecto a la estación meteorológica de INETER.

#### Ventajas

- Mayor precisión.
- Adquisición y procesamiento de datos de manera temporizada automáticamente.
- Colocación en lugares de difícil acceso.
- Equipo portátil y versátil.
- Los costes operativos son relativamente bajos.

#### Desventajas

- Alcance de transmisión limitado.
- Interferencias de transmisión.
- Dependencia de una fuente de energía limitada (batería).

### 7.5.2. Pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo de parámetros ambientales por radio frecuencia

Para comparar los resultados obtenidos con la estación meteorológica pre diseñada con otra estación meteorológica, se solicitó información a la estación meteorológica del aeropuerto Augusto César Sandino, de medición de los parámetros ambientales: temperatura, presión atmosférica, humedad relativa y rayos ultravioletas, y poder así verificar la veracidad del funcionamiento de la estación inalámbrica pre diseñada.

Cabe destacar que el parámetro ambiental radiación solar no se logró comparar, puesto que la estación del aeropuerto, no contaba con el sensor de dicho parámetro, ya que se encontraba dañado y por ende no había datos que comparar.

A continuación, se presenta la tabla N° 7 donde refleja los datos obtenidos directamente de la estación meteorológica en el aeropuerto. El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y el Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, permitió que se realizaran mediciones directamente durante seis días, en horario de 9 am a 12 pm, con una frecuencia de 20 minutos, luego se procedió a calcular el promedio de todos los datos medidos.

*Tabla 7: Datos obtenido directamente de la estación de INETER en el aeropuerto.*

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Presión Atmosférica a nivel de mar (mBar)	1014.9	1013.59	1010.17	1011.2	1014.16	1013.8
Presión Atmosférica a nivel de estación (mBar)	1008.7	1007.39	1003.9	1004.9	1007.9	1007.7
Temperatura (°C)	30.37	30.32	31	30.9	31	31.1
Humedad (%)	46	49	55	53	45	48

Para obtener los datos de la tabla anterior se procedió a realizar las mediciones de los distintos sensores que se encuentran en la estación antes mencionada.

---

## Lectura de la presión atmosférica

La lectura de la presión atmosférica se obtiene por medio de un barómetro de mercurio, el cual mide la presión en mmHg. Además de utilizar la temperatura ambiente como referencia se requiere del uso de tablas para convertir la presión a nivel de estación y a nivel del mar. Ver figuras en anexo 4.

### Conversión de la presión atmosférica

Una lectura obtenida del barómetro es de 761 mm Hg y una temperatura de ambiente de 27°C.

Primero, se procede a buscar en la figura A4-1 en anexo 4 la constante con respecto a la temperatura la cual es 4.8 esta se resta de la lectura de la presión

$$761.1mmHg - 4.8 = 756.2mmHg$$

Con el resultado se busca en la figura A4-2 en anexo 4, se obtiene que la presión a nivel de estación es 1008.2 mBar. Para convertir esta presión a nivel del mar se toma en cuenta la constante de referencia adimensional, que para estos datos específicamente corresponde un valor de tabla de 6.2, tanto para la presión a nivel de estación y de la temperatura ambiente. Ver figura A4-3 en anexo 4.

$$1008.2mBar + 6.2 = 1014.4mBar \text{ (presión a nivel del mar)}$$

## Lectura de la humedad relativa

La lectura de la humedad es adquirida a través de una tabla psicrométrica, para lo cual es necesario obtener la lectura de dos termómetros uno seco y uno húmedo, como se menciona en la página 16.

## Lectura de la temperatura

La lectura de temperatura fue obtenida a través de un termómetro seco de mercurio ubicado en una garita protegida contra factores que puedan producir cambios bruscos en la lectura obtenida. Ver figura en anexo 5.

### 7.5.3. Registro de datos

#### Datos en la estación meteorológica del Aeropuerto Augusto C. Sandino

Los datos registrados por parte de la estación inalámbrica se realizaron en la fecha comprendida del 20 de febrero al 28 de febrero de 2017. En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos.

Tabla 8: Datos del Día 1 - 20/02/17

Hora	Presión (mBar)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
09:00 a.m.	1012	27.5	59
09:20 a.m.	1011.33	29.9	57
09:40 a.m.	1011.12	29.7	56.6
10:00 a.m.	1010.9	29.8	54.6
10:20 a.m.	1010.6	30.4	53.1
10:40 a.m.	1010.3	30.7	52.5
11:00 a.m.	1010	31.3	58.5
11:20 a.m.	1009.7	32.4	48.7
11:40 a.m.	1009.2	33.3	47.7

Tabla 9: Datos día 2 -21/02/17

Hora	Presión (mBar)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
09:00 a.m.	1010.4	28.7	62.1
09:20 a.m.	1010.2	29.6	60.6
09:40 a.m.	1010.1	29.7	60.3
10:00 a.m.	1009.6	30.1	58
10:20 a.m.	1009.2	30.7	58
10:40 a.m.	1009.2	31.1	55.4
11:00 a.m.	1008.9	31.9	51.7
11:20 a.m.	1008.4	32.2	51
11:40 a.m.	1008.1	32.1	51
12:00 p.m.	1007.7	32.3	51

Tabla 10: Datos día 3 - 22/02/17

Hora	Presión (mBar)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
09:40 a.m.	1006.6	30.8	64.2
10:00 a.m.	1006.5	31.8	62.4
10:20 a.m.	1006.2	31.8	62.6
10:40 a.m.	1006.1	32.1	59.8
11:00 a.m.	1005.77	32	60.8
11:20 a.m.	1005.4	32.3	59.3
11:40 a.m.	1004.9	32.6	57.4
12:00 p.m.	1004.6	32.9	55.8

Tabla 11: Datos día 4 - 23/02/17

Hora	Presión (mBar)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rayos UV (mw/cm <sup>2</sup> )
09:00 a.m.	1007.8	29.5	64.1	3.8
09:20 a.m.	1007.5	29.4	64	4
09:40 a.m.	1006.25	27.1	59.5	5
10:00 a.m.	1007.3	30.3	61.8	4.2
10:20 a.m.	1007.05	30.8	59.8	3.88
10:40 a.m.	1006.8	31.2	59.2	6.5
11:00 a.m.	1006.4	31.7	58.1	5.88
11:20 a.m.	1006.1	32.3	55.3	5.5
11:40 a.m.	1005.7	32.8	53.7	4.9
12:00 p.m.	1005.4	32.9	52.8	4.43



Tabla 12: Datos día 5 - 27/02/17

Hora	Presión (mBar)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rayos UV (mw/cm <sup>2</sup> )
09:00 a.m.	-	-	-	-
09:20 a.m.	1010.55	30.4	55.1	6.12
09:40 a.m.	1010.5	31	54.5	5.9
10:00 a.m.	1010.3	31.1	51.8	5.8
10:20 a.m.	1010.3	30.9	53.4	4.4
10:40 a.m.	1009.98	30.49	49.8	1.25
11:00 a.m.	1009.65	31.5	49.1	1.7
11:20 a.m.	1008.9	32.6	44.3	7.9
11:40 a.m.	1008.35	33.7	42.5	8

Tabla 13: Datos día 6 - 28/02/17

Hora	Presión (mBar)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rayos UV (mw/cm <sup>2</sup> )
09:00 a.m.	1010.68	28.9	64	6.4
09:20 a.m.	1010.66	29.7	58.7	6.5
09:40 a.m.	1010.62	30.6	56.8	5.5
10:00 a.m.	1010.38	30.8	55.2	5
10:20 a.m.	1010.03	31.2	54	4.4
10:40 a.m.	1009.66	31.7	52.5	4.4
11:00 a.m.	1009.31	32.4	50.62	6.98
11:20 a.m.	1009.09	31.8	53	5.9
11:40 a.m.	1008.77	31.6	53.4	6

## Datos registrados por la estación meteorológica inalámbrica en el Recinto Universitario “Rubén Darío” de la UNAN – Managua

El Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) de la UNAN-Managua, se encuentra ubicado de la Rotonda Universitaria Rigoberto López Pérez 1km al sur, Villa Fontana. El área total de la extensión territorial está subdividida por dos polígonos. El área del polígono1 es de 280755.7478 m<sup>2</sup> y el área del polígono2 es de 433217.9684 m<sup>2</sup> formando así un área total de 713973.7162 m<sup>2</sup>.

La UNAN-Managua se localiza en Managua en las coordenadas: Latitud 12°6'20.07" N y longitud 86°16'17.61" O. En anexo 8 se muestra el mapa donde se ubica la UNAN y los puntos donde se realizaron las mediciones de los parámetros ambientales.

Los datos que se presentan en la tabla N° 14 se registraron en distintos lugares dentro del recinto universitario “Rubén Darío”

*Tabla 14: Datos registrados en la UNAN - Managua*

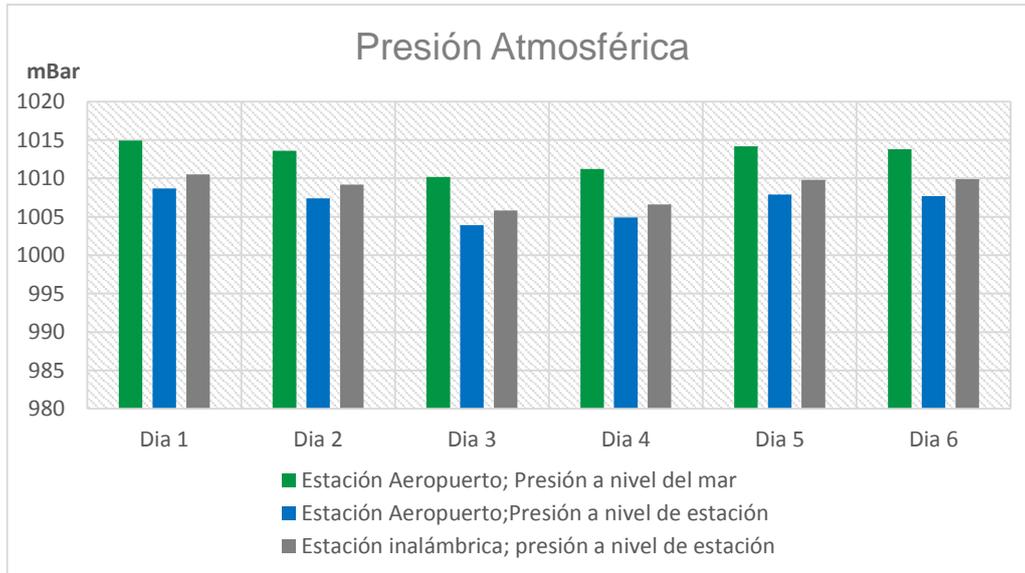
Lugar	Hora	Fecha	Presión Atmosférica (mBar)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Rayos UV (mw/cm2)
<b>POLISAL</b>	11:05 a.m.	14/08/2017	988.7	31	70	2.1
<b>Aud. 27</b>	12:07 p.m.	14/08/2017	986.4	32.2	64	5.4
<b>Biblioteca</b>	1:05 p.m.	14/08/2017	986.3	32	62.7	5.3

### 7.5.4. Datos comparativos

Los datos adquiridos de la estación inalámbrica y la estación en el aeropuerto, son graficados para comparar los valores y ver el grado de veracidad de los datos climáticos. En las siguientes graficas se muestran los parámetros ambientales estudiados. Además, en anexo 8 se muestran las gráficas que se registraron en un día.

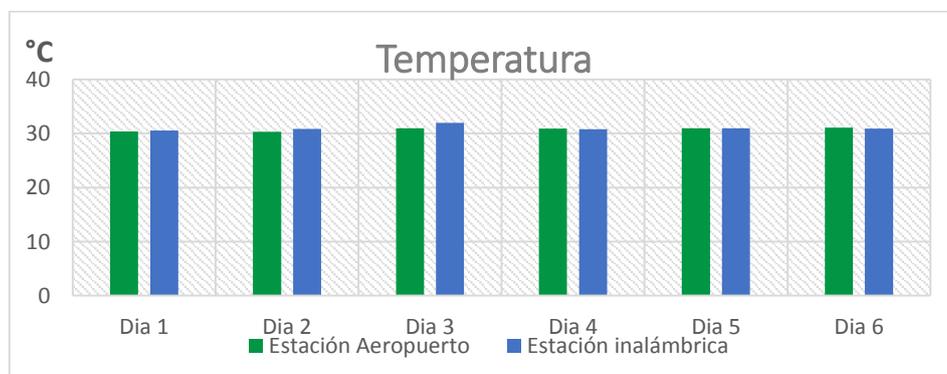
La discrepancia de la presión atmosférica entre la estación del aeropuerto y la estación inalámbrica que se muestra en la gráfica N° 2, se debe a que la lectura obtenida del barómetro en la estación del aeropuerto, se realiza la medida en unidades de milímetros de mercurio, por lo que se procede con las

conversiones mostradas en la página N° 80, mientras que la lectura que realiza el sensor de la estación inalámbrica es calculada por software a través de librería pre elaborada de código libre, además la presión que entrega es únicamente a nivel de la posición donde se encuentra el sensor de la estación meteorológica .



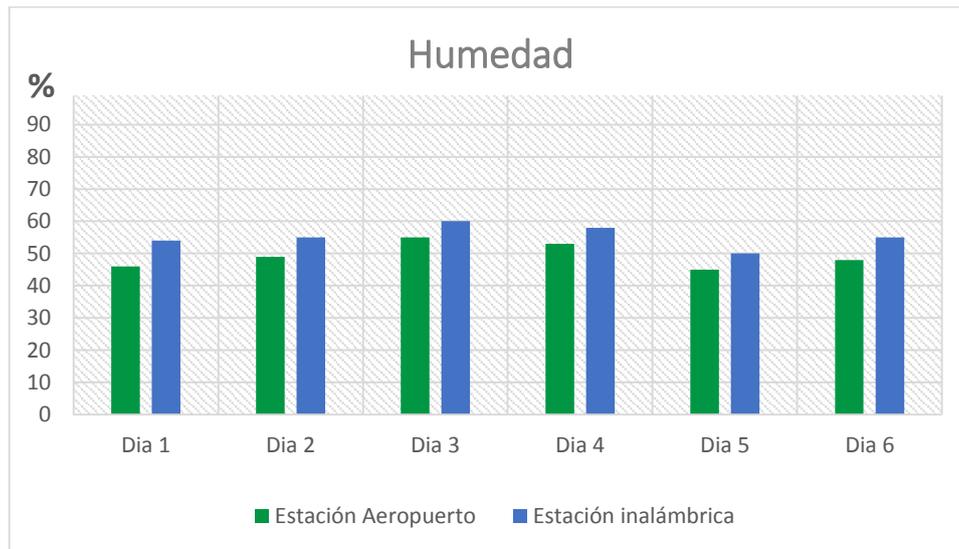
Gráfica 2: Presión atmosférica.

En la gráfica N° 3 se muestra discrepancia de los datos graficados y se debe a que las lecturas de la estación del aeropuerto las realizan de manera visualizada por la persona encargada y la estación inalámbrica las realiza de manera digitalizada automáticamente, por lo cual existe un pequeño margen de diferencia donde el más notorio es el día 3, ya que esta es una lectura discreta con respecto al tiempo y los datos digitales la asimilan al tomar los valores continuos más cercanos a la temperatura real.



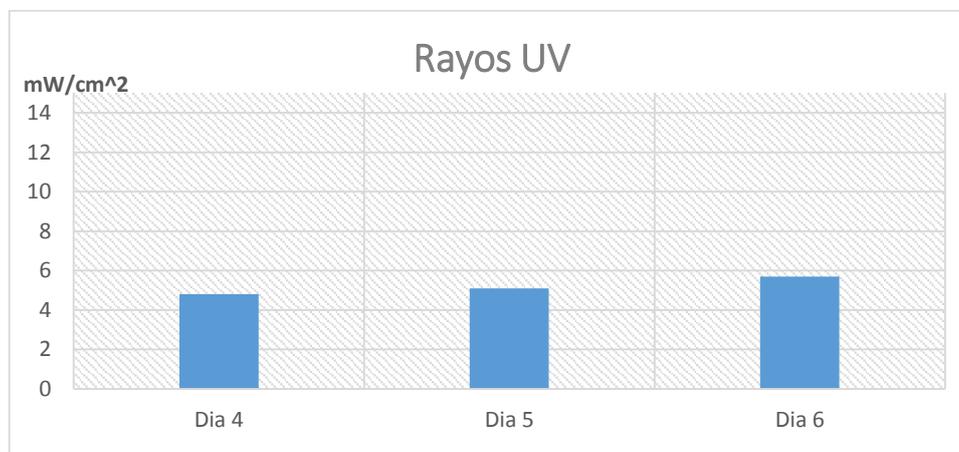
Gráfica 3: Temperatura.

La humedad relativa que se muestra en la gráfica N° 4. La discrepancia en los datos graficados se debe a que primero se realizó la lectura en el psicrómetro y luego utilizando la tabla psicrométrica, se obtiene el valor de humedad relativa sin tener que hacer ningún cálculo, mientras que la estación inalámbrica lo realiza directamente a través del sensor capacitivo del DHT22.



*Gráfica 4: Humedad relativa.*

En la gráfica 5, muestra el parámetro de radiación solar. Los datos solo se obtuvieron como referencia del buen funcionamiento del sensor, ya que dichos registros no serán comparados con los datos de la estación meteorológica del aeropuerto porque el sensor de dicha variable (radiación solar) está en malas condiciones de funcionamiento.



*Gráfica 5: Rayos ultravioletas.*



## 8. Conclusiones

En el desarrollo de este trabajo monográfico, se logró diseñar un sistema de monitoreo para la medición de parámetros ambientales como; temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y radiación solar, utilizando microcontroladores y sensores para la transducción de los parámetros, que posteriormente serán transmitidos por medio de radio frecuencia, logrando así diseñar el sistema de monitoreo que consta de dos partes principales el transmisor y el receptor, luego el transmisor fue construido a partir de una placa de baquelita sometidas a un proceso REDOX, que posteriormente se adaptaron cada uno de los dispositivos al sistema diseñado tanto para el transmisor como el receptor, finalmente obteniendo un equipo de alta versatilidad para el uso dentro o fuera de la universidad.

Para la optimización del funcionamiento del sistema de monitoreo se elaboró programas de control de envío y recepción de datos, en una plataforma de programación C++, utilizando librerías de código libre, además se hizo uso de una interfaz para comunicar el receptor con la PC, exportando los datos a una hoja electrónica en Excel.

Se realizaron pruebas de monitoreo de la información de los parámetros físicos ambientales del área en diversos puntos de la UNAN-Managua, utilizando el circuito diseñado como ensayo preliminar, obteniendo datos con un rango de precisión de  $\pm 2\%$  a  $\pm 5\%$  (Según datasheet).

Partiendo del diseño de circuito de la estación meteorológica se compararon los resultados que se obtienen a través de la estación meteorológica inalámbrica con resultados de la estación meteorológica de INETER, logrando óptimos resultados en comparación con la estación meteorológica con un margen en las mediciones de 2% aproximadamente, que, en conceptos de instrumentación y medidas, esto es aceptable internacionalmente.

Cabe mencionar que el diseño desarrollado en este trabajo es de un costo relativamente bajo con respecto a las que se encuentra en el comercio y que además es adaptada a las necesidades del país.



---

## 9. Recomendaciones

Para este diseño se recomienda ciertas mejoras que se podría tener en cuenta:

1. Agregar sensores de mayor precisión a la estación meteorológica inalámbrica para obtener un mayor número de parámetros a medir, por ejemplo, pluviosidad, punto de rocío, velocidad y dirección del viento.
2. Cambiar el sistema de visualización para obtener las lecturas de todos los parámetros en conjunto.
3. Mejorar el radio de acción de la comunicación utilizando transceptores de mayor alcance.
4. Adaptar una fuente de alimentación fotovoltaica para optimizar su autonomía de funcionamiento.



## 10. Bibliografía

Alvaro Brenes y Vítor Saborío (1995). Elementos de climatología: su aplicación didáctica a Costa Rica (ilustrada). EUNED

Andrades Rodríguez, Marisol Y Muñoz León, Carmen (2012). Fundamentos de climatología (2ed). Universidad de La Rioja, Servicio de publicaciones

Boylestad, Robert L. Y Nashelsky, Louis (2009). Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos (10ma Edición). PEARSON EDUCACIÓN

Corona Ramírez, Leonel Germán Y Abarca Jiménez, Griselda Stephany Y Carreño Mares, Jesús. (2014). Sensores y actuadores: Aplicaciones con Arduino. Grupo Editorial Patria.

Hart, William H. Y Kemmerly, Jack E Y Durbin, Steven M. (2012). Análisis de circuitos en ingeniería (8va Ed.). The McGraw-Hill Companies

Rodríguez, Rosa. (2004). meteorología y climatología. fundación española para la ciencia y la tecnología.

Tomasi, Wayne (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (4ta Ed.). PEARSON EDUCACIÓN

AG Electrónica S.A de C.V (2 de Marzo de 2015) Obtenido de:  
<http://www.agspecinfo.com/pdfs/K/KITSENAT.PDF>

Anónimo, Obtenido de: <http://www.unioviado.es/ate/alberto/manualPic.pdf>

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd. Obtenido de  
<http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>

BOSCH Sortotec (2 de noviembre 2016). Obtenido de [https://ae-bst.resource.bosch.com/media/\\_tech/media/datasheets/BST-BMP280-DS001-18.pdf](https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BMP280-DS001-18.pdf)

Iván, Bernal PH.D. (abril 2008) Obtenido de:  
[http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/2008\\_Marzo\\_Sept/ComInlalm/ClasesNuevas/AntenasTotal.pdf](http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/2008_Marzo_Sept/ComInlalm/ClasesNuevas/AntenasTotal.pdf)

LAPIS Semiconductor (8 de marzo de 2013). Obtenido de  
[https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511\\_3-8-13.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf)

NetDevil, (24 de noviembre de 2016). Obtenido de  
<https://forum.arduino.cc/index.php?topic=437398.0>

NORDIC Semiconductor (septiembre 2008). Obtenido de  
[https://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2726/34069/file/nRF24L01P\\_Product\\_Specification\\_1\\_0.pdf](https://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2726/34069/file/nRF24L01P_Product_Specification_1_0.pdf)

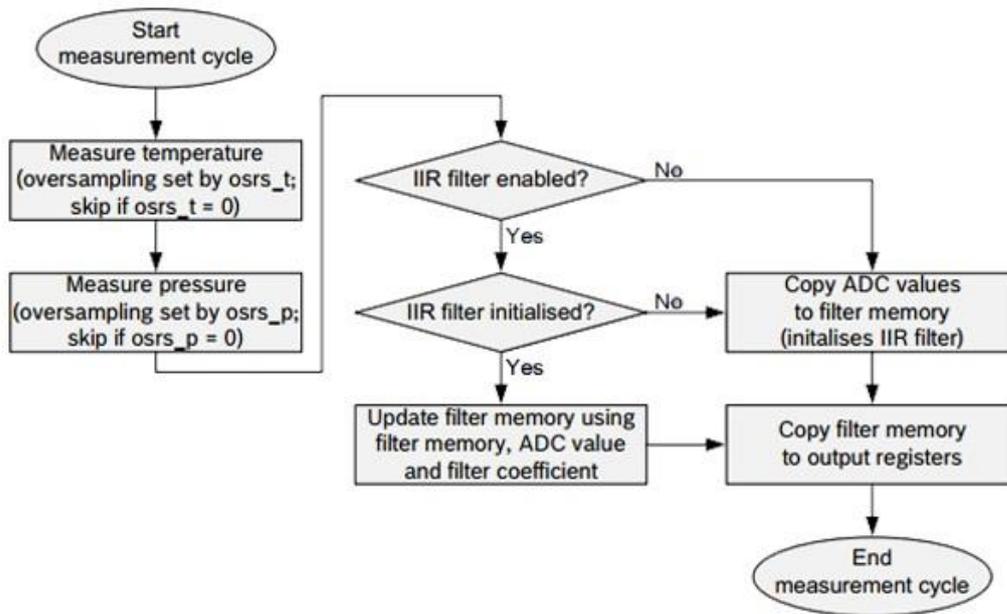
panama hitek. (24 de mayo de 2013). Obtenido de <http://panamahitek.com/uso-de-pantalla-lcd-con-arduino/>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Tabla psicrométrica para obtener la humedad relativa

Termómetro seco = temperatura del aire		Diferencia con el termómetro húmedo															
T(°C)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
10	94	88	82	76	71	66	60	54	49	44	39	34	29	24	19	14	10
11	94	88	82	77	72	66	61	56	51	46	41	36	31	27	22	17	13
12	94	88	83	78	72	67	62	57	52	48	43	38	34	29	25	20	16
13	94	89	84	78	73	68	63	59	54	49	45	40	36	31	27	23	19
14	94	89	84	79	74	69	65	60	55	51	46	42	38	34	29	25	21
15	94	89	84	80	75	70	66	61	57	52	48	44	40	36	32	28	24
16	95	90	85	80	76	71	67	62	58	54	50	45	41	37	34	30	26
17	95	90	85	81	76	72	68	63	59	55	51	47	43	39	35	32	28
18	95	90	86	81	77	73	68	64	60	56	52	48	45	41	37	34	30
19	95	90	86	82	77	73	69	65	61	57	54	50	46	42	39	35	32
20	95	91	86	82	78	74	70	66	62	58	55	51	47	44	40	37	34
21	95	91	87	83	79	75	71	67	63	59	56	52	49	45	42	39	35
22	95	91	87	83	79	75	71	68	64	60	57	53	50	47	43	40	37
23	95	91	87	83	80	76	72	68	65	61	58	54	51	48	45	42	38
24	95	91	88	84	80	76	73	69	66	62	59	56	52	49	46	43	40
25	96	92	88	84	80	77	73	70	66	63	60	56	53	50	47	44	41
26	96	92	88	84	81	77	74	70	67	64	61	57	54	51	48	45	42
27	96	92	88	85	81	78	74	71	68	64	61	58	55	52	49	46	44
28	96	92	88	85	82	78	75	72	68	65	62	59	56	53	50	48	45
29	96	92	89	85	82	79	75	72	69	66	63	60	57	54	51	49	46
30	96	92	89	86	82	79	76	73	69	66	63	61	58	55	52	49	47
31	96	92	89	86	82	79	76	73	70	67	64	61	58	56	53	50	48
32	96	93	89	86	83	80	77	74	71	68	65	62	59	57	54	51	49
33	96	93	89	86	83	80	77	74	71	68	65	63	60	57	55	52	50
34	96	93	90	86	83	80	77	74	71	69	66	63	61	58	55	53	50
35	96	93	90	87	84	81	78	75	72	69	66	64	61	59	56	54	51
36	96	93	90	87	84	81	78	75	72	70	67	64	62	59	57	54	52
37	96	93	90	87	84	81	78	76	73	70	67	65	62	60	57	55	53
38	96	93	90	87	84	81	79	76	73	71	68	65	63	60	58	56	53
39	96	93	90	87	85	82	79	76	74	71	68	66	63	61	59	56	54
40	96	93	90	88	85	82	79	77	74	71	69	66	64	62	59	57	55
41	96	94	91	88	85	82	80	77	74	72	69	67	64	62	60	58	55
42	97	94	91	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	63	60	58	56
43	97	94	91	88	85	83	80	77	75	72	70	68	65	63	61	59	56
44	97	94	91	88	86	83	80	78	75	73	70	68	66	64	61	59	57
45	97	94	91	88	86	83	81	78	76	73	71	68	66	64	62	60	58
46	97	94	91	88	86	83	81	78	76	73	71	69	67	64	62	60	58
47	97	94	91	89	86	83	81	79	76	74	71	69	67	65	63	61	59
48	97	94	91	89	86	84	81	79	76	74	72	70	67	65	63	61	59
49	97	94	91	89	86	84	81	79	77	74	72	70	68	66	63	61	59
50	97	94	92	89	86	84	82	79	77	75	72	70	68	66	64	62	60

## Anexo 2. Flujo de medición del sensor BMP280



### Anexo 3. Instrumentos de medidas para los rayos ultravioletas



Figura A3 - 1 Radiómetro



Figura A3 - 2: Pirheliómetro



Figura A3 - 3: Heliógrafo

### Anexo 4. Tablas de conversión para la presión atmosférica

Tb/ /B	720 730	730 740	740 750	750 760	760 770	Tb/ /B	720 730	730 740	740 750	750 760	760 770
40.0	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3	31.0	4.9	4.9	5.0	5.1	5.2
39.5	5.9	6.0	6.1	6.2	6.2	30.5	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1
39.0	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	30.0	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0
38.5	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	29.5	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0
38.0	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	29.0	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9
37.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	28.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8
37.0	5.6	5.7	5.8	5.8	5.9	28.0	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8
36.5	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	27.5	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7
36.0	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8	27.0	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6
35.5	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	26.5	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6
35.0	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	26.0	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5
34.5	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	25.5	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4
34.0	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	25.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4
33.5	5.2	5.2	5.3	5.4	5.5	24.5	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3
33.0	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	24.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.3
32.5	5.0	5.1	5.2	5.3	5.3	23.5	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2
32.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	23.0	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1
31.5	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	22.5	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1
31.0	4.9	4.9	5.0	5.1	5.2	22.0	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0

Figura A4 - 1: Tabla de constante referente a la temperatura

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES  
DIRECCION DE METEOROLOGIA - DEPARTAMENTO TECNICO  
CONVERSION DE LA PRESION ATMOSFERICA

hPa \* 0.750062

mm	hPa	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	mm
745	993.25	993.38	993.52	993.65	993.78	993.92	994.05	994.18	994.32	994.45	745
746	994.58	994.72	994.85	994.98	995.12	995.25	995.38	995.52	995.65	995.78	746
747	995.92	996.05	996.18	996.32	996.45	996.58	996.72	996.85	996.98	997.12	747
748	997.25	997.38	997.52	997.65	997.78	997.92	998.05	998.18	998.32	998.45	748
749	998.58	998.72	998.85	998.98	999.12	999.25	999.38	999.52	999.65	999.78	749
750	999.92	1000.05	1000.18	1000.32	1000.45	1000.58	1000.72	1000.85	1000.98	1001.12	750
751	1001.3	1001.38	1001.52	1001.65	1001.78	1001.92	1002.05	1002.18	1002.32	1002.45	751
752	1002.6	1002.72	1002.85	1002.98	1003.12	1003.25	1003.38	1003.52	1003.65	1003.78	752
753	1003.9	1004.05	1004.18	1004.32	1004.45	1004.58	1004.72	1004.85	1004.98	1005.12	753
754	1005.3	1005.38	1005.52	1005.65	1005.78	1005.92	1006.05	1006.18	1006.32	1006.45	754
755	1006.6	1006.72	1006.85	1006.98	1007.12	1007.25	1007.38	1007.52	1007.65	1007.78	755
756	1007.9	1008.05	1008.18	1008.32	1008.45	1008.58	1008.72	1008.85	1008.98	1009.12	756
757	1009.3	1009.38	1009.52	1009.65	1009.78	1009.92	1010.05	1010.18	1010.32	1010.45	757
758	1010.6	1010.72	1010.85	1010.98	1011.12	1011.25	1011.38	1011.52	1011.65	1011.78	758
759	1011.9	1012.05	1012.18	1012.32	1012.45	1012.58	1012.72	1012.85	1012.98	1013.12	759
760	1013.3	1013.38	1013.52	1013.65	1013.78	1013.92	1014.05	1014.18	1014.32	1014.45	760
761	1014.6	1014.72	1014.85	1014.98	1015.12	1015.25	1015.38	1015.52	1015.65	1015.78	761
762	1015.9	1016.05	1016.18	1016.32	1016.45	1016.58	1016.72	1016.85	1016.98	1017.12	762
763	1017.3	1017.38	1017.52	1017.65	1017.78	1017.92	1018.05	1018.18	1018.32	1018.45	763
764	1018.6	1018.72	1018.85	1018.98	1019.12	1019.25	1019.38	1019.52	1019.65	1019.78	764
765	1019.9	1020.05	1020.18	1020.32	1020.45	1020.58	1020.72	1020.85	1020.98	1021.12	765

Figura A4 - 2: Tabla para la conversión de presión a nivel de estación

PRESION EN LA ESTACION NH PASCAL S								
I.Temp.	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025
	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030
40-37	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.2
37-34	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2
34-31	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3
31-28	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3
28-25	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4
25-22	6.3	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.4	6.5
22-19	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4	6.5	6.5	6.5

Pmb	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
940	27.758	27.788	27.817	27.847	27.876	27.906	27.935	27.965	27.994	28.024
950	28.054	28.083	28.113	28.142	28.172	28.201	28.231	28.260	28.290	28.319
960	28.349	28.378	28.408	28.437	28.467	28.496	28.526	28.556	28.585	28.615
970	28.644	28.674	28.703	28.733	28.762	28.792	28.821	28.851	28.880	28.910
980	28.939	28.969	28.998	29.028	29.058	29.087	29.117	29.146	29.176	29.205
990	29.235	29.264	29.294	29.323	29.353	29.382	29.412	29.441	29.471	29.500
1000	29.530	29.560	29.589	29.619	29.648	29.678	29.707	29.737	29.766	29.796
1010	29.825	29.855	29.884	29.914	29.943	29.973	30.002	30.032	30.062	30.091
1020	30.121	30.150	30.180	30.209	30.239	30.268	30.298	30.327	30.357	30.386
1030	30.416	30.445	30.475	30.504	30.534	30.564	30.593	30.623	30.652	30.682
1040	30.711	30.741	30.770	30.800	30.829	30.859	30.888	30.918	30.947	30.977
1050	31.007	31.036	31.066	31.095	31.125	31.154	31.184	31.213	31.243	31.272

Figura A4 - 3: constante para presión a nivel del mar

**Anexo 5. Instrumentos para la medición de parámetros ambientales de la estación meteorológica en el aeropuerto internacional Augusto C. Sandino.**



*Figura A5 - 1: Psicrómetro de aspiración tipo Assman*



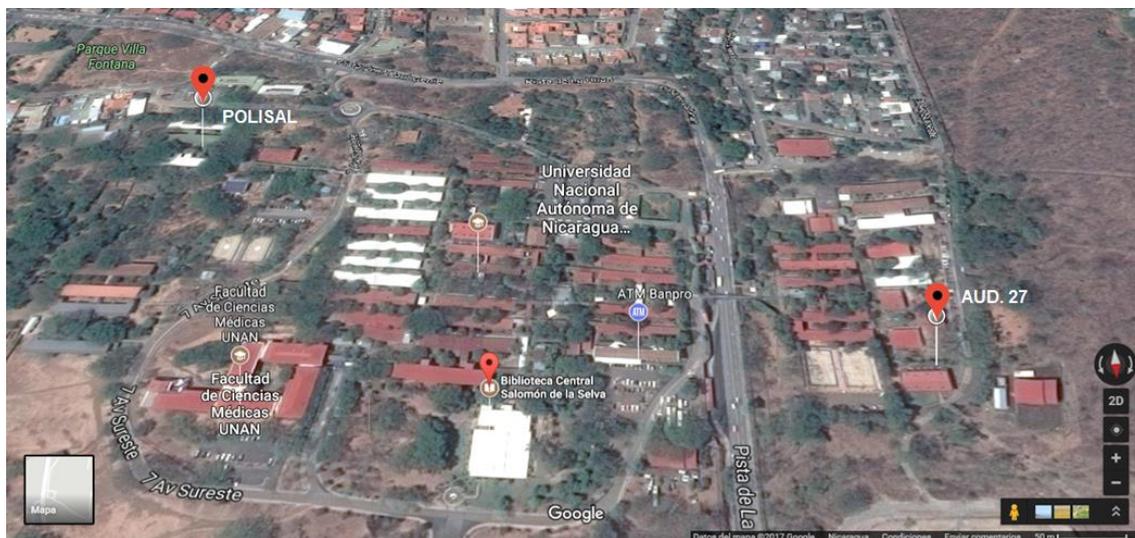
*Figura A5 - 2: Barómetro de mercurio*



*Figura A5 - 3: Termohigrografo*



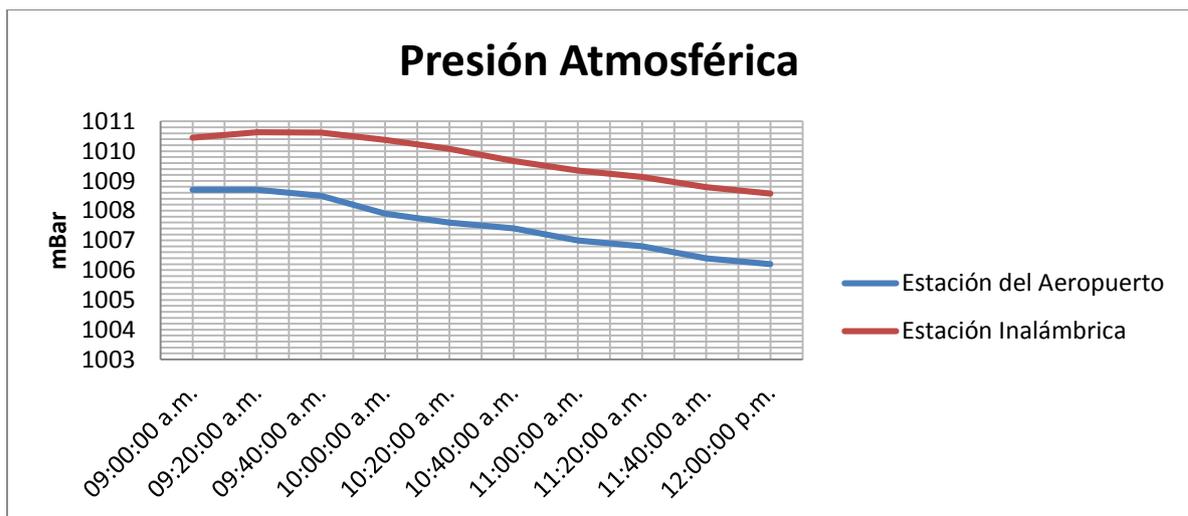
## Anexo 7. Localización de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. UNAN – MANAGUA



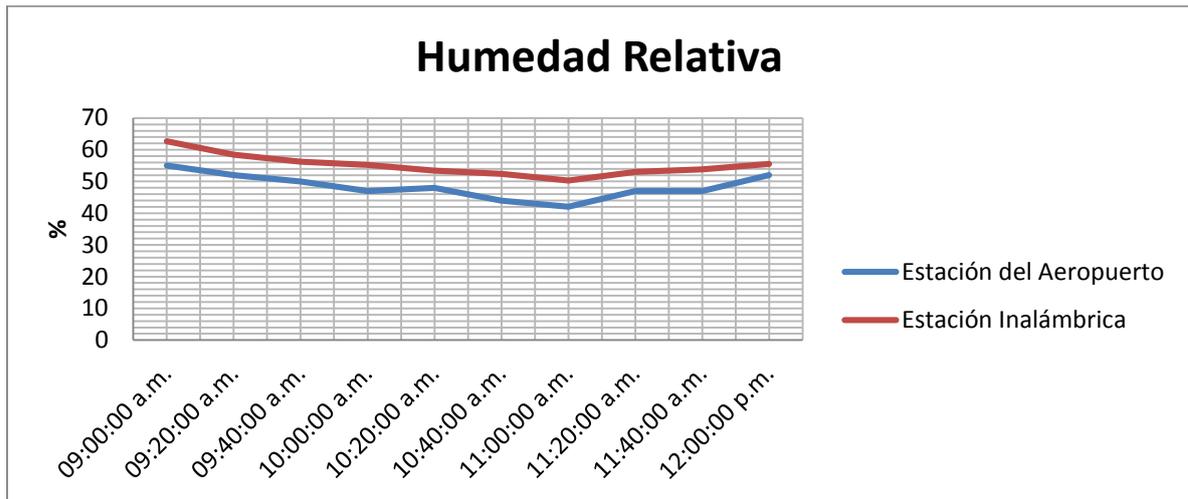
## Anexo 8. Graficas de los parámetros físicos ambientales medido en un día.

Las mediciones que se presentan a continuación fueron realizadas en el la Estación Meteorológica en el Aeropuerto Augusto C. Sandino en un mismo día con lapso de medición de 9:00 am hasta 12:00 pm con un intervalo de 20 minutos por medición.

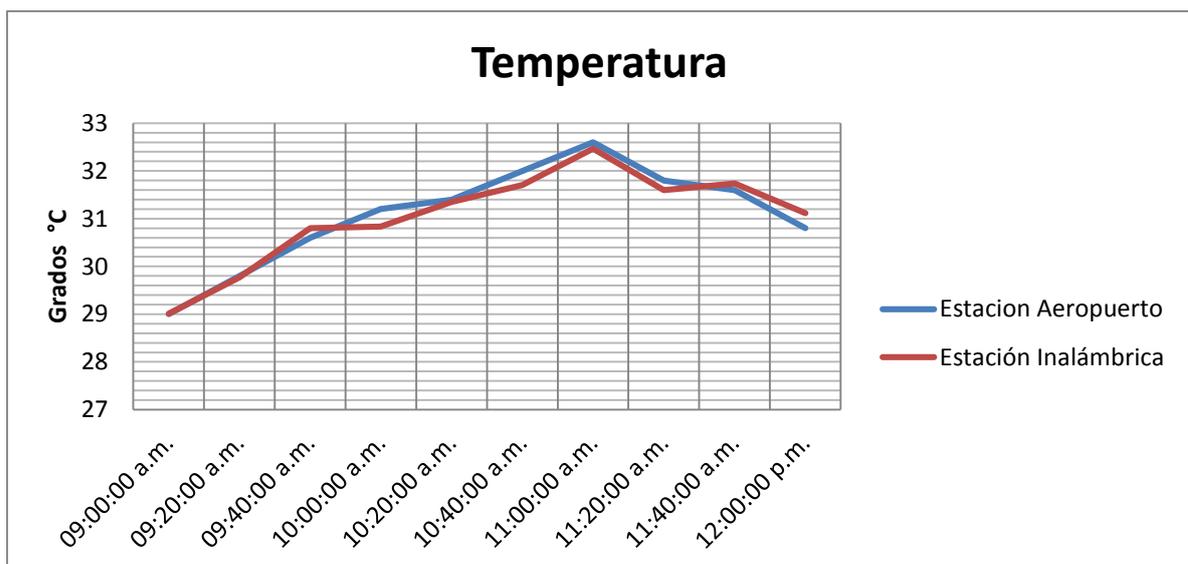
En la Grafica N° 1, se muestra la comparación del parámetro de Presión atmosférica de la Estación meteorológica del Aeropuerto con la estación Inalámbrica diseñada, obteniendo un margen de diferencia de 2 unidades.



En la Grafica N° 2, se presenta el parámetro de Humedad Relativa de la Estación meteorológica del Aeropuerto con la estación Inalámbrica diseñada, observando un pequeño margen de diferencia continuo, como se mencionó anteriormente el sensor DHT22 tiene una alta sensibilidad.



En la Grafica N° 3, se muestra el parámetro de Temperatura ambiente de la Estación meteorológica del Aeropuerto y la estación Inalámbrica diseñada, en esta se observa pequeños márgenes de diferencia a lo largo del día.





## Anexo 9. Programación para los microcontroladores de la estación inalámbrica

```
//=====================================================================//
//          Programa emisor de la estación meteorológica inalámbrica          //
//=====================================================================//
//Librerías para el Transceptor nRF24L01+
#include <VirtualWire.h>
#include <SPI.h>
#include <Mirf.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <MirfHardwareSpiDriver.h>
//=====================================================================//
//SENSOR DE PRESION BMP280
#include "BMP280.h"
#include "Wire.h"
#define P0 1011 //presion de tu ciudad (https://www.wunderground.com)
BMP280 bmp;
//=====================================================================//
//SENSOR DE HUMEDAD AM2302/DHT22
#include "DHT.h"
//#include <stdio.h>
#define DHTPIN 7 //Definicion del pin 7 para obtener los datos
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//=====================================================================//
// SENSOR DE RAYOS UV ML8511
int UVOUT = A0; //Salida del sensor
int REF_3V3 = A1; //3.3V alimentacion en la tarjeta Arduino
//=====================================================================//
//MODULO REAL TIME CLOCK
#include <virtuabotixRTC.h>
```



```
-----  
virtuabotixRTC myRTC(3, 4, 5); // definicion de los pines para el RTC  
//=====//  
//ESTRUCTURA DE DATOS  
struct DATOS{  
    float    TEMP;  
    float    PRESION;  
    float    HUMEDAD;  
    float    UV;  
    int      YEAR;  
    int      MES;  
    int      DIA;  
}  
datos;  
//=====//  
void setup()  
{  
    Serial.begin(9600); //Inicio del puerto serial  
//=====//  
//CONFIGURACION DEL BUS SPI PARA EL TRANSCEPTOR  
    Mirf.spi = &MirfHardwareSpi;  
    Mirf.cePin = 9;  
    Mirf.csnPin = 10;  
//=====//  
//INICIO DEL TRANSCEPTOR  
    Mirf.init();  
    Mirf.setRADDR((byte *)"server");  
    Mirf.payload = sizeof(datos);  
    Mirf.channel = 10;    // CANAL DE TRASMISION DE DATOS  
    Mirf.config();  
//=====//  
//INICIO DEL SENSOR BMP280  
    bmp.begin();  
//=====//
```



```
//INICIO DEL SENSOR DHT22
dht.begin();
//=====//
//configuración de la fecha y el tiempo actual con la siguiente forma
// segundos, minutos, horas, día de la semana, día del mes, mes, año
myRTC.setDS1302Time(00, 59, 23, 7, 4, 6, 2017);
//=====//
//PINES DE ENTRADA DEL MODULO ML8511
pinMode(UVOUT, INPUT);
pinMode(REF_3V3, INPUT);
//=====//
void loop()
{
//=====//
myRTC.updateTime();
int timeout = myRTC.minutes;
if (timeout <= 9) {
//=====//
bmp.setOversampling(4);
delay (1000);
//SENSOR BMP280
double T, P;
char result = bmp.startMeasurment();
if(result!=0){ // si el sensor presenta un error P se iguala a cero
delay(result);
result = bmp.getTemperatureAndPressure(T, P);
if(result!=0)
{
Serial.print(T,2);
Serial.println(P,2);
}
else {
}
}
}
```



```
    }  
    else { P = 0;}  
//=====//  
//SENSOR AM2302/DHT22  
float h = dht.readHumidity();  
float t = dht.readTemperature();  
if (isnan(t) || isnan(h)) { //si el sensor presenta un error T se iguala a cero  
    t = 0;  
}  
//=====//  
int uvLVL = averageAnalogRead(UVOUT);  
int refLVL = averageAnalogRead(REF_3V3);  
float outputVoltage = 3.3 / refLVL * uvLVL;  
  
//Convierte el voltage a nivel de intensidad UV  
float uvIntensity = mapfloat(outputVoltage, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0);  
  
//=====//  
// ENVIO DE DATOS  
  
    datos.PRESION = P;  
    datos.HUMEDAD = h;  
    datos.TEMP = t;  
    datos.UV = uvIntensity;  
    datos.YEAR = myRTC.year;  
    datos.MES = myRTC.month;  
    datos.DIA = myRTC.dayofmonth;  
  
    if( !Mirf.isSending() )  
    {  
        Mirf.setTADDR((byte *)"client");  
        Mirf.send((byte *)&datos);  
    }
```



---

```
delay(1000);  
//=====//  
// Toma un promedio de lecturas en un pin determinado  
// Devuelve el promedio  
int averageAnalogRead(int pinToRead)  
{  
  byte numberOfReadings = 8;  
  unsigned int runningValue = 0;  
  
  for(int x = 0 ; x < numberOfReadings ; x++)  
    runningValue += analogRead(pinToRead);  
  runningValue /= numberOfReadings;  
  
  return(runningValue);  
}  
//=====//  
// La función Arduino Map pero para float  
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)  
{  
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;  
}
```



```
//=====//
//      programa receptor de la estación meteorológica inalámbrica      //
//=====//
//TRANSCEPTOR nRF24L01+
#include <SPI.h>
#include <Mirf.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <MirfHardwareSpiDriver.h>
//=====//
//PANTALLA LCD 1602
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd( 0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE );
//=====//
//CARACTERES/ICONOS
byte termo[8] = {0b00100,0b01010,0b01010,0b01110,0b01110,
  0b11111,0b11111,0b01110};
byte hume[8] = {0b00100,0b00100,0b01010,0b01010,0b10001,
  0b10001,0b10001,0b01110};
byte pres[8] = {0b00100,0b00100,0b00100,0b00100,0b10101,
  0b10101, 0b11111,0b11111};
byte uve[8] = {0b00000,0b00000,0b10101,0b01110,0b11111,
  0b01110,0b10101,0b00000};
//=====//
//ESTRUCTURA DE DATOS
struct DATOS{
  float    TEMP;
  float    PRESION;
```



```
float    HUMEDAD;
float    UV;
int      YEAR;
int      MES;
int      DIA;
}
datos;
//=====//
void setup()
{
//=====//
Serial.begin(9600);
    Serial.println("CLEARDATA");
    Serial.println("CLEAR SHEET"); //clears up any data left from previous
projects
    Serial.println("LABEL,Date,Time,Presion (mBar),Humedad (%),Temperatura
(°C),Rayos UV (mW/cm^2)");
    Serial.println("CELL,SET,I2,Estacion Meteorologica Inalambrica");
//=====//
//CONFIGURACION E INICIO DEL TRANSCEPTOR
    Mirf.spi = &MirfHardwareSpi;
    Mirf.cePin = 9;
    Mirf.csnPin = 10;

    Mirf.init();
    Mirf.setRADDR((byte *)"client");
    Mirf.payload = sizeof(datos);
    Mirf.channel = 10; // CANAL DE TRANSMISION
    Mirf.config();
//=====//
//INICIO DE LA PANTALLA LCD1602
```



```
lcd.begin(16,2);
lcd.backlight();
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print("Estacion");
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Meteorologica");
delay(1000);
lcd.createChar(0, termo);
lcd.createChar(1, hume);
lcd.createChar(2, pres);
lcd.createChar(3, uve);
lcd.clear();

//=====================================================
}
void loop()
{
//=====================================================
//RECEPCION DE DATOS
  if( !Mirf.isSending() && Mirf.dataReady() )
  {
    Mirf.getData((byte *) &datos);
  if (datos.TEMP ==0){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("DHT NO CONECTADO");
  }
  else {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write(byte(0));
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print(datos.TEMP);
```



---

```
lcd.print("\337C");
```

```
lcd.setCursor(9,0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(10,0);  
lcd.print(datos.HUMEDAD);  
lcd.print("%");;  
}
```

```
if (datos.PRESION == 0){  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("BMP NO CONECTADO");  
    delay (1000);  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("      ");  
}  
else {  
    lcd.setCursor(1,1);  
    lcd.write(byte(2));  
    lcd.setCursor(3,1);  
    lcd.print(datos.PRESION);  
    lcd.print("mBar");  
    delay (1000);  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("      ");  
}  
    lcd.setCursor(1,1);  
    lcd.write(byte(3));  
    lcd.setCursor(3,1);
```



lcd.print(datos.UV);





---

```
lcd.print(" mW/cm^2");  
delay (1500);  
lcd.clear();  
  
Serial.println("SAVEWORKBOOKAS,Registro_tiempo");  
Serial.println( (String) "DATA,DATE,TIME," + datos.PRESION + "," +  
datos.HUMEDAD + "," + datos.TEMP + "," + datos.UV + ",AUTOSCROLL_20" );  
}  
else {  
    lcd.setCursor(4,0);  
    lcd.print("Esperando");  
    lcd.setCursor(6,1);  
    lcd.print("Datos");  
  
}  
//=====//  
//           RyuuDark           //  
//           By Erick Obando n Gabriel Ortiz           //  
//=====//
```