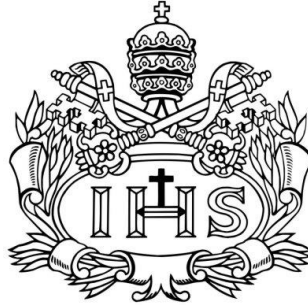


PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Electrónica



**DEA: DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE VARIABLES
AMBIENTALES**

ANA MARÍA ARANGO GAITÁN
EDGARD ANDRÉS GONZÁLEZ ROMERO
DANIEL EDUARDO HURTADO CÁRDENAS

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

Directora: Ing. Margarita Narducci Marín, Ph.D.

Bogotá, D. C.
2017

*“Para todas las personas que nos acompañaron durante este camino,
Gracias... Gracias totales.”*

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	9
2	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Variables ambientales	9
2.2	Sensores	9
2.2.1	Sensores de Temperatura	9
2.2.2	Sensores de Humedad	10
2.3	IoT (<i>Internet of Things</i>)	10
2.3.1	Wi-Fi	11
2.4	Antecedentes	11
3	OBJETIVO DEL PROYECTO	12
3.1	Objetivo General.....	12
3.2	Objetivos Específicos	12
3.3	Especificaciones y limitaciones	12
3.4	Alcance del Proyecto	12
4	DESARROLLO	13
4.1	Diagrama de Bloques.....	13
4.2	Requisitos de Diseño	14
4.2.1	Sensor de temperatura	14
4.2.2	Sensor de humedad.....	14
4.3	Diseño	15
4.3.1	Selección de componentes.....	15
4.3.2	Diseño etapa de adaptación	18
4.3.3	Conmutación	21
4.3.4	Programación del procesador	21
4.3.5	Transmisión almacenamiento de datos wifi	22
4.3.6	Desarrollo aplicación móvil	24
4.3.7	Sistema de control	26
4.3.8	Diseño PCB (<i>Printed Circuit Board</i>).....	27
5	PROTOCOLO DE PRUEBAS	28
5.1	Sensores Temperatura y Humedad	28
5.1.1	Impedancia de salida sensor	28
5.1.2	Etapa de amplificación	29

5.2	Amplificador	30
5.2.1	Análisis en frecuencia	30
5.2.2	Factor de rechazo en modo común (CMRR).....	30
5.2.3	Impedancia de entrada.....	31
5.2.4	Impedancia de salida	31
5.3	Filtro.....	31
5.3.1	Análisis en frecuencia	31
5.3.2	Impedancia de entrada.....	31
5.3.3	Impedancia de salida	32
5.4	Conmutación	32
5.5	Comunicación WiFi.....	32
5.5.1	Envío de datos	32
5.5.2	Recepción de datos.....	32
5.6	Control Humedad (Extractor)	33
5.7	Comprobación funcionamiento DEA	33
5.7.1	Temperatura	34
5.7.2	Humedad	34
5.8	Comprobación de la resolución	34
5.8.1	Temperatura	34
5.8.2	Humedad	35
6	RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS	35
6.1	Sensor de Temperatura	35
6.1.1	Impedancia de salida sensor	35
6.1.2	Etapa de amplificación	35
6.2	Sensor de Humedad	40
6.2.1	Impedancia de salida sensor	40
6.2.2	Etapa de Amplificación.....	40
6.3	Amplificador	44
6.3.1	Ganancia en modo común (CMRR).....	44
6.3.2	Análisis en frecuencia	45
6.4	Filtro.....	45
6.4.1	Análisis en frecuencia	45
6.4.2	Factor de rechazo a fuente de alimentación (PSRR).....	46
6.4.3	Impedancia de entrada.....	46

6.4.4	Impedancia de salida	46
6.5	Conmutación	47
6.6	Disipador	47
6.7	Comunicación Wifi.....	48
6.7.1	Envío de datos	48
6.7.2	Recepción de datos.....	48
6.8	Control humedad (Extractor)	49
6.9	Comprobación funcionamiento DEA	49
6.9.1	Temperatura	49
6.9.2	Humedad	54
6.10	Comprobación resolución	57
6.10.1	Temperatura	57
6.10.2	Humedad	58
7	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	59
8	BIBLIOGRAFÍA.....	60
9	ANEXOS	63

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de bloques arquitectura IoT.....	10
Figura 2. Dispositivo RHT-Air..	11
Figura 3. Dispositivo DHT22.....	12
Figura 4. Dispositivo DEA integrado 1.....	13
Figura 5. Diagrama de bloques del sistema.....	14
Figura 6. Voltaje de salida vs Humedad relativa.....	15
Figura 7. Sensor temperatura LM35	15
Figura 8. Sensor de humedad HIH-4010.....	15
Figura 9. Referencia 5 V	16
Figura 10. Referencia -5 V	16
Figura 11. Amplificador Operacional TLC2272.....	16
Figura 12. Amplificador de corriente TIP142	16
Figura 13. Extractor TA450DC.....	16
Figura 14. Nodemcu Amica ESP8266MOD	17
Figura 15. Conversor Analógico-Digital ADS1115.....	17
Figura 16. Display LCD	17
Figura 17. Optoacoplador 4N25.....	18
Figura 18. Etapa amplificación sensor temperatura.	18
Figura 19. Simulación etapa de amplificación del sensor de temperatura.	18
Figura 20. Etapa de amplificación sensor de humedad.	19
Figura 21. Simulación etapa de amplificación del sensor de humedad.....	19
Figura 22. Bode de función de transferencia del filtro.....	20
Figura 23. Etapa de filtrado.....	21
Figura 24. Diagrama de flujo del procesador.	22
Figura 25. ESP-12	22
Figura 26. WiFi.	22
Figura 27. Ubidots.....	22
Figura 28. Comandos AT.....	23
Figura 29. Servidor mysql.....	23
Figura 30. Interfaz de ThingSpeak.....	24
Figura 31. Interfaz Ubidots.	24
Figura 32. Captura de la primera pantalla de la aplicación DEA.....	25
Figura 33 Captura de la pantalla de Medidas.	25
Figura 34. Captura pantalla de “Temperatura”.	25
Figura 35. Muestreo 20 últimos datos registrados por el sensor de “Humedad”.	25
Figura 36. Ventana para control del extractor.....	26
Figura 37. Sistema de un controlador ON-OFF.	26
Figura 38. Configuración amplificador de corriente.	27
Figura 39. Layout PCB	27
Figura 40. Ganancia sensor temperatura.	36
Figura 41. Ganancia momento lineal a no lineal.....	37
Figura 42. Piso de ruido del amplificador de Temperatura.....	39
Figura 43. Ganancia sensor de humedad.....	41
Figura 44. No linealidad.....	42

Figura 45. Piso de ruido del amplificador de Humedad.....	44
Figura 46. Respuesta en frecuencia del filtro.....	45
Figura 47. Respuesta en frecuencia del filtro.....	46
Figura 48. Conmutación.....	47
Figura 49. Respuesta Ubidots.....	48
Figura 50. Verificación envío de datos.....	48
Figura 51. Verificación recepción de datos.....	49
Figura 52. Funcionamiento extractor.....	49
Figura 53. Temperatura ascendente.....	51
Figura 54. Temperatura descendente.....	51
Figura 55. Histéresis de temperatura.....	53
Figura 56. Temperaturas bajas.....	53
Figura 57. Prueba humedad ascendente.....	55
Figura 58. Prueba humedad descendente.....	55
Figura 59. Prueba humedad ascendente – descendente.....	57
Figura 60. Resolución Temperatura.....	57
Figura 61. Resolución humedad.....	58
Figura 62. Delta Vs experimento.....	58

Índice de Tablas

Tabla 1. Requisitos de diseño.....	14
Tabla 2. Equipos utilizados para protocolo de pruebas.....	28
Tabla 3. Impedancia de salida del sensor de temperatura.....	35
Tabla 4. Ganancia amplificador de Temperatura.....	36
Tabla 5. Ganancia para momento lineal y no lineal de temperatura.....	37
Tabla 6. Medida PSRR Temperatura.....	37
Tabla 7. Mediciones de distorsión Temperatura.....	38
Tabla 8. Potencia amplificador-filtro Temperatura.....	39
Tabla 9. Impedancia de entrada amplificador.....	39
Tabla 10. Impedancia de salida amplificador Temperatura.....	39
Tabla 11. Impedancia de salida sensor de humedad.....	40
Tabla 12. Ganancia amplificador Humedad.....	40
Tabla 13. Ganancia para momento lineal y no lineal de humedad.....	41
Tabla 14. Medida PSRR Humedad.....	42
Tabla 15. Mediciones de distorsión Humedad.....	43
Tabla 16. Potencia amplificador-filtro Humedad.....	44
Tabla 17. Impedancia de entrada amplificador Humedad.....	44
Tabla 18. Impedancia de salida amplificador Humedad.....	44
Tabla 19. Ganancia diferencial.....	44
Tabla 20. Ganancia en modo común.....	45
Tabla 21. Respuesta en frecuencia del filtro.....	45
Tabla 22. Resultados PSRR.....	46
Tabla 23. Impedancia de entrada del filtro.....	46
Tabla 24. Impedancia de salida del filtro.....	46

Tabla 25. Corriente a la entrada del extractor.....	47
Tabla 26. Datos temperatura ascendente.....	50
Tabla 27. Temperatura descendente.....	52
Tabla 28. Temperatura baja.....	53
Tabla 29. Humedad ascendente.....	54
Tabla 30. Humedad Descendente.....	56

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una de las mayores preocupaciones es la salud de los seres vivos. Variables ambientales como la temperatura y la humedad pueden estar directamente relacionadas con el desarrollo de enfermedades bajo ciertas condiciones o afectar la productividad de las personas. Con referencia a la humedad en espacios cerrados y habitables, esta se conoce como humedad intramuros, la cual cuando sobre pasa valores de 60% RH el entorno y las personas que lo habitan se encontrarían en riesgo de contraer enfermedades respiratorias como infecciones virales y diferentes alergias respiratorias o el incremento de enfermedades como el asma, debido a microorganismos que se generan tales como moho, ácaros, entre otros [52]. Así mismo, las altas o bajas temperaturas pueden desencadenar problemas de salud tales como: estrés, somnolencia, problemas pulmonares, deshidratación, entre otras y en general, afectar el rendimiento físico de los seres vivos provocando posibles riesgos de accidentes [53].

Por esta razón, es de gran importancia el monitoreo de la calidad del aire haciendo énfasis en el nivel de humedad y temperatura presentes en los ambientes habitables por seres vivos [1].

Se propone en este trabajo de grado la creación de un dispositivo capaz de medir variables ambientales (temperatura y humedad), que puedan ser mostradas en el dispositivo por medio de una pantalla LCD, con la posibilidad de poder monitorear estas mediciones desde un dispositivo móvil por medio de una aplicación para Android y, dependiendo del nivel de humedad registrada en el ambiente, este se pueda regular con ayuda de un extractor.

En este documento se presenta un marco teórico con definiciones precisas para el mejor entendimiento de conceptos usados, los objetivos establecidos del trabajo de grado y el desarrollo llevado a cabo para el cumplimiento de cada objetivo planteado. Se presentan también los experimentos realizados y el análisis de los mismos, las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros previstos a partir de lo alcanzado por el equipo de trabajo.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Variables ambientales

En el presente trabajo de grado se medirán las variables ambientales de temperatura y humedad. La temperatura es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. Actualmente se conocen y utilizan tres escalas para la medición de temperatura las cuales son: grados Fahrenheit (°F), Celsius (°C) y Kelvin (K). Para la escala Celsius se divide en 100 grados el intervalo el cual está comprendido entre 0°C el cual hace referencia a el punto de congelación y en el otro extremo, 100°C para el punto de ebullición del agua [10].

La otra medida que se utilizará en el presente trabajo de grado es la humedad, esta se expresa en g/m^3 la cual se define como la cantidad de vapor de agua que se encuentra por unidad de volumen de aire de un ambiente. El vapor de agua suele ser medido en gramos y el volumen de aire en metros cúbicos (obteniendo los g/m^3 correspondientes). Y finalmente cuando se mide esta variable, se puede saber qué cantidad de vapor contiene el aire [10].

2.2 Sensores

2.2.1 Sensores de Temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en señales eléctricas que son procesados por un equipo eléctrico o electrónico [11]. La detección de la temperatura se puede realizar bien por contacto directo con la fuente de calor, o de forma remota, sin contacto directo con la fuente utilizando energía radiada en su lugar.

Hoy en día, hay una gran variedad de sensores de temperatura en el mercado, incluyendo termopares, RTDs (Detectores de Temperatura de Resistencia por sus siglas en inglés), termistores, infrarrojos y sensores de semiconductores [45]. Entre estos últimos, existe una amplia variedad que están basados en silicio, llamados ICs (*silicon-based temperature*) los cuales están disponibles para simplificar desafíos de monitoreo de temperatura. Estos tipos de sensores de temperatura IC pueden operar en un rango entre -55°C a + 150 °C,

además estos sensores son circuitos integrados y por lo tanto pueden incluir procesamiento de señales con ellos. Algunos de ellos son analógicos, teniendo salidas de corriente y voltaje y otros combinan circuitos de detección analógica con entradas y salidas digitales y registros de control, convirtiéndolos en una solución ideal para sistemas basados en microprocesadores ya que estos se pueden conectar directamente sin necesidad de utilizar convertidores A/D. Un ejemplo para un sensor de temperatura es LM35. La serie LM35 son sensores de temperatura de circuito integrado de precisión, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a la temperatura Celsius. El LM35 funciona a -55° a $+120^{\circ}\text{C}$ [45].

2.2.2 Sensores de Humedad

Un sensor de humedad es un dispositivo que mide la humedad relativa en un área dada, puede ser utilizado tanto en interiores como en exteriores y están disponibles en formas tanto analógicas como digitales. Un sensor analógico de humedad mide la humedad relativa 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. Esto cambia el nivel de carga en el condensador del circuito en el cuadro eléctrico [12].

Existen tres parámetros típicos para determinar la humedad como la medición del punto de rocío/escarcha (D/F PT), partes por millón (PPM) y la medición de la humedad relativa (RH) que consiste en la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el gas de que se trate y la presión de saturación del vapor, a una temperatura dada. Por lo tanto, la humedad relativa es función de la temperatura. La medición es expresada como un porcentaje. Cuando los niveles de humedad relativa son bajos puede producirse electricidad estática que dañe al equipamiento electrónico [12].

Algunos factores que pueden afectar la precisión de esta medición son la temperatura y humedad a la que fue calibrado el sensor, el envejecimiento y velocidad de envejecimiento del sensor, la sensibilidad del sensor a los contaminantes, la dependencia de la calibración con la humedad y temperatura y la precisión que se haya tenido al estándar utilizado para construir el sensor [12].

2.3 IoT (*Internet of Things*)

El *Internet of Things* es un concepto que se basa en la interconexión de cualquier producto con cualquier otro de su alrededor, desde un libro hasta el refrigerador de una casa. El objetivo es hacer que todos estos dispositivos se comuniquen entre sí y, por consiguiente, sean más inteligentes e independientes. Además, permite que los ordenadores interactúen con elementos de la vida real y ganen independencia de los seres humanos [14]. Para esto, es necesario contar con una serie de componentes como se muestra en la Figura 1; sensores o algún dispositivo electrónico para recibir información o datos del entorno, un sistema embebido en el que se procese la información previamente adquirida, transmisión de datos o información ya sea a algún dispositivo o para almacenarlos en la nube para posteriormente realizar un análisis de los mismos dependiendo de la aplicación que se desee. En el apartado 2.3.1 se entrará en detalle acerca del método de transferencia de datos utilizado, el cual es Wi-Fi.

Un ejemplo práctico sería que, gracias al *Internet of Things*, los refrigeradores serían capaces de medir los alimentos restantes en su interior y encargar al proveedor especificado los elementos agotados. Así, nunca se tendrá la preocupación de comprar leche, huevos o yogures. El refrigerador medirá continuamente el estado de este y actuará independientemente en consecuencia. Los *wearables* (tecnología que se lleva puesta) son otro ejemplo. Cosas cotidianas como camisetas, relojes o pulseras, se hacen inteligentes gracias a la aplicación de este concepto. Ahora los relojes no solo nos proporcionan la hora, sino que también se conectan a internet, intercambian datos con servidores externos y actúan en consecuencia a la información que recogen tanto de los sensores como de los servidores [14].

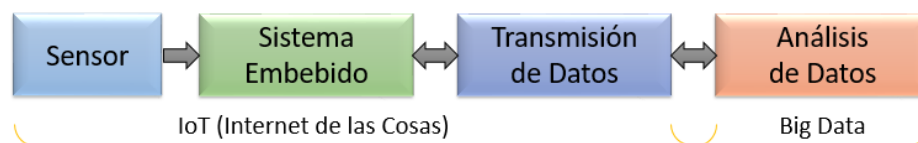


Figura 1. Diagrama de bloques arquitectura IoT.

2.3.1 Wi-Fi

Se usa el término Wi-Fi (*Wireless Fidelity* o fidelidad sin cables) para designar a todas las soluciones informáticas que utilizan tecnología inalámbrica para crear redes. 802.11 es el estándar más utilizado para conectar ordenadores a distancia. El uso más frecuente de esta tecnología es la conexión de portátiles a internet desde las cercanías de un punto de acceso o *hotspot*. Estos puntos son cada vez más abundantes y permiten a cualquier usuario utilizar la red sin necesidad de instalar un cable telefónico. La emisión y recepción de datos se realiza a través de radiofrecuencia. Existen diferentes formatos de conexión, pero el más popular es el conocido como 802.11b, que opera en la banda de los 2,4 GHz, la misma que las microondas de la telefonía móvil [15].

2.4 Antecedentes

En la PUJ (Pontificia Universidad Javeriana) se ha desarrollado un trabajo relacionado directamente al estudio de factores ambientales el cual trata del *diseño de un sistema de adquisición de variables de polución para una red* implementándolo específicamente en la PUJ. En este, se implementaron cinco tipos de sensores para monitorear las variables del aire, dos sensores de tipo electroquímico para los gases (CO y O₃), un sensor de material particulado para la polución (PM), un termo hidrómetro para la temperatura (Temp), humedad relativa (RH) y el acoplamiento que lleva los datos al bloque de control. El tercer sensor se encarga de medir temperatura y humedad con el mismo integrado, para temperatura este sensor tiene un rango de operación de -40 – 123.8 °C con una resolución de 0.01°C y una exactitud de +/-0.3 °C y para la medición de humedad tiene un rango de 0-100 %RH con una resolución de 0.05 % y una exactitud de +/- 2.0 %. Este sistema pretende medir la calidad del aire del campus de la Pontificia Universidad Javeriana teniendo además una etapa de procesamiento por un servidor denominado *Ubidots*, el cual se encarga del procesamiento y almacenamiento de los datos adquiridos [16].

Otro trabajo desarrollado en la PUJ se llama “RED DE MONITOREO Y MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA UNIVERSIDAD”, en el cual se desarrolló una mejora del trabajo anteriormente mencionado, corrigiendo errores sobre este, desarrollando puertos para la comunicación con el usuario, implementación de una comunicación *Bluetooth*, desarrollo de una aplicación móvil para visualización de los datos y envío de datos a un servidor y mejorar la eficiencia del sistema [17].

En el mercado se encuentra disponible un dispositivo denominado “RHT-Air” el cual se muestra en la figura 2 que se presenta a continuación. Este dispositivo permite monitoreo *Wireless* de temperatura y humedad. Posee un display LCD para la visualización de los datos leídos. Funciona de -20 a 80 °C y de 0 a 100 % de RH y tiene una precisión de ±3 % RH de 20 a 80 % RH (a 25 °C) [51].



Figura 2. Dispositivo RHT-Air. Figura tomada de [51].

A demás, se encuentra el sensor de precisión DHT22 el cual es mostrado en la Figura 3, este trabaja entre 3.3 V y 6 V, tiene salidas digitales, el rango de humedad que maneja es de 0 a 100 %RH con una precisión de ±2 a 5% RH y una resolución de 0.1 % RH y para temperatura maneja un rango de -40 a 80 °C con una precisión de 0.5 °C y una resolución de 0.1 °C. Tiene un tamaño pequeño de 14x18x5.5mm, es de bajo costo y fácil adquisición.

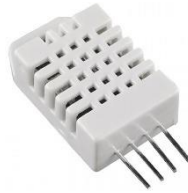


Figura 3. Dispositivo DHT22. Figura tomada de [54].

3 OBJETIVO DEL PROYECTO

3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema para el monitoreo y control de variables ambientales en entornos cerrados.

3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar la etapa de adaptación electrónica (amplificación, filtrado, conversor analógico-digital (CAD), procesamiento y transmisión) para la integración de: un sensor de temperatura y un sensor de humedad.
- Implementar un sistema de monitoreo para la temperatura y humedad, cuya visualización se realice a través de un *display* conectado al microprocesador y a su vez por medio de una interfaz para un terminal móvil. Esto, con el fin de construir una plataforma IoT (*Internet of Things*).
- Diseñar una aplicación móvil que permita la comunicación entre el usuario y el dispositivo electrónico.
- Implementar un mecanismo de control y adaptación (amplificador de potencia) para ajustar la velocidad de un extractor y regular así la humedad del ambiente.
- Diseñar y realizar una serie de experimentos para validar el funcionamiento y especificaciones del sistema/prototipo desarrollado.

3.3 Especificaciones y limitaciones

Las especificaciones del sistema serán las siguientes: se medirá temperatura con una resolución de 0.2°C en un rango de -5°C a 100°C , humedad con una resolución de 0.5% en un rango de 0 a 100% RH.

El sistema a diseñar e implementar no será un dispositivo portable ya que está concebido para fijarse en algún espacio previamente establecido; por esta razón, el dispositivo será alimentado por medio de una fuente de voltaje DC fijada a un valor 12V, el cual es el voltaje de polarización escogido para el dispositivo.

El sistema de control que se implementará contará con un extractor de aire como actuador, efectuando así la nivelación de la humedad en el ambiente cerrado deseado. El control, a través de la aplicación, estará limitado al rango de operación del módulo de transmisión (*Wifi*).

Debido a razones de seguridad no sería deseable acceder al control por fuera de la zona de trabajo, por lo tanto, se manejará en un rango teórico de entre 50 y 75 metros, pero solo estando en línea recta y sin obstáculos. Además, la capacidad de las implementaciones va alrededor de 10-12 usuarios en un punto de acceso.

3.4 Alcance del Proyecto

En el presente trabajo de grado se entregan los resultados de pruebas experimentales y simulaciones respectivas a las etapas del desarrollo. Se brindan los recursos usados: códigos de programación, plataformas de desarrollo y cálculos teóricos con los que se llegó al prototipo final. El resultado final consta de un dispositivo hardware que permite la obtención de los valores de temperatura y humedad, la transmisión y recepción por medio de WiFi, la presentación de la información por medio de una pantalla LCD y la capacidad de regular la humedad en un ambiente cerrado con ayuda de un extractor de aire. Por otra parte, se entrega la vinculación a una aplicación para dispositivos con sistema operativo Android que permite la visualización de los datos obtenidos por el hardware, el manejo de la información en gráficas, la capacidad de ajustar el tiempo entre cada muestra, y la activación del sistema de extracción de aire.

A continuación, en la Figura 4, se muestra el dispositivo Hardware finalizado, con su conexión a la pantalla LCD y su salida hacia el extractor de aire. También, se puede observar la interfaz móvil de la aplicación diseñada específicamente para el dispositivo.



Figura 4. Dispositivo DEA integrado 1.

4 DESARROLLO

4.1 Diagrama de Bloques

El diagrama en bloques presentado en la Figura 5 muestra la solución propuesta para el desarrollo del presente trabajo de grado. Este, está compuesto por un bloque de adquisición, donde los sensores obtenidos por el laboratorio de electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana, se encargarán de convertir las variables físicas de nuestro interés (humedad y temperatura) en variables eléctricas para su posterior procesamiento. Seguido a este, en el bloque de adaptación se procesarán estas variables eléctricas donde se amplificarán, se filtrarán y posteriormente se convertirán a señales digitales para así poder integrarlas al siguiente bloque del procesador. En la etapa de procesamiento, se diseñará la conexión entre la etapa hardware con el bloque de comunicación (*Wifi*), con el bloque de control y también se tendrá un *display* LCD de salida para ver la cantidad de ppm registradas. En el bloque de módulo de comunicación se realizará el envío y recepción de la información desde y hacia el bloque de aplicación móvil; en este bloque, se presentará al usuario los niveles temperatura y humedad en el ambiente, a su vez se le da la opción al usuario de escoger cada cuánto estará tomando muestras el dispositivo y desde allí también se podrá acceder al bloque de control para realizar la nivelación de estas partículas. En el bloque de control, por medio de la implementación de una señal PWM (*Pulse Width Modulation*), se ajustará la velocidad de acuerdo al nivel de humedad medido. Para esto, se requerirá de una etapa de adaptación de potencia para el manejo de un extractor de aire, cuyo objetivo es lograr la estabilización de la humedad en el ambiente cerrado donde se realice el monitoreo cuando estos superen los niveles previamente establecidos o cuando el usuario desde el bloque de la aplicación móvil lo requiera. Finalmente, por medio de la aplicación desarrollada y con conexión a internet, se podrá realizar el almacenamiento, la visualización de la información registrada por los sensores en un servidor web.

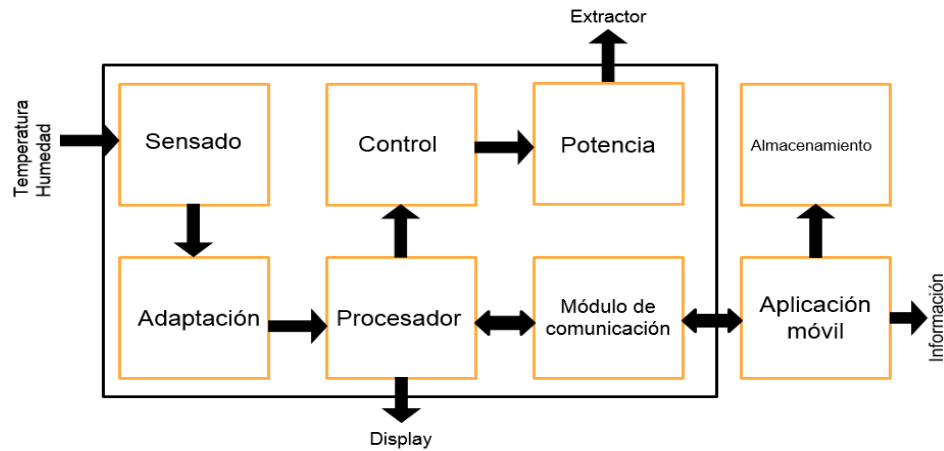


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema.

4.2 Requisitos de Diseño

Sensor	Referencia	Rango	Resolución
Temperatura	LM35	-5 °C – 100 °C	0.2 °C
Humedad	HIH-4010	0 %RH – 100 %RH	0.5 %RH

Tabla 1. Requisitos de diseño.

4.2.1 Sensor de temperatura

Para poder medir en el rango establecido anteriormente, en el numeral 3.3 entre -5°C y 100°C, por limitación en los componentes se diseñó bajo las características del sensor LM35, el cual fue seleccionado por su bajo costo, su fácil adquisición y demás características que se presentan más adelante en el numeral 4.3.1.2. Este sensor cuenta con un rango entre -55°C a 155°C y un factor de escala lineal/sensibilidad de 10 mV/°C [18].

Sabiendo que el ADC tiene 15 bits de resolución (numeral 4.3.1.6) se procede a calcular el bit menos significativo (LSB, por sus siglas en inglés) y teniendo en cuenta que la máxima salida del sensor es de 1V; que en la etapa de adaptación se amplificará a 4.5V, mostrado en el numeral 4.3.2.1, se obtiene que:

$$LSB = \frac{4.5}{2^{15}} = 137.3 \mu V \quad (1)$$

Para asegurar la resolución, el voltaje correspondiente a un cambio de 0.2°C debe ser mayor al valor de LSB y que el piso de ruido sea menor a este valor. Un cambio de 0.2°C equivale a 9 mV, el cual es mayor al bit menos significativo y a su vez está sobre el nivel de piso de ruido medido (Ver medición del piso de ruido a la entrada y salida del amplificador del sensor de temperatura en el numeral 6.1.2.4).

4.2.2 Sensor de humedad

Para poder medir en el rango anteriormente establecido, en el numeral 3.3 entre 0 y 100 % RH, el sensor HIH-4010 al igual que el sensor de temperatura fue seleccionado gracias a su fácil adquisición, su tamaño y características apropiadas que se presentan en el numeral 4.3.1.2. Este sensor, entrega voltaje con un rango entre 0.8 V y 3.8 V; obteniendo así 3 V entre el intervalo de humedad propuesto. Sabiendo que el ADC tiene 15 bits de resolución se procede a calcular el bit menos significativo (LSB). Teniendo en cuenta que el máximo valor a la salida del sensor (3.8 V) se amplificará a 4.5 V (numeral 4.3.2.2).

$$LSB = \frac{4.5}{2^{15}} = 137.3 \mu V \quad (2)$$

Para asegurar la resolución el voltaje correspondiente a un cambio de 0.5 % RH debe ser mayor al valor de LSB. Aprovechando la linealidad del sensor se sabe que para un cambio de 0.5 %RH el voltaje aumenta o decrece en 17.76 mV (ver Figura 6) asegurando que el ADC sea capaz de medir con la resolución deseada y que el nivel de piso de ruido no afecte la resolución (numeral 6.2.2.4.4).



Figura 9. Referencia 5 V. Figura tomada [40]



Figura 10. Referencia -5 V. Figura tomada de [41]

- 4.3.1.2 *Amplificador Operacional - TLC2272*: Bajo voltaje de offset de entrada de $950 \mu\text{V}$ y un *slew rate* de $3.6 \text{ V}/\mu\text{s}$. Presenta bajo ruido de $9 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Es excelente para condicionamiento de señales pequeñas. Trabaja muy bien para aplicaciones de sensado debido a su voltaje de polarización *Rail to Rail* y por eso es apto para integración con ADCs [26]. Ver anexo 4.



Figura 11. Amplificador Operacional TLC2272. Figura tomada de [43]

- 4.3.1.3 *Amplificador de corriente – TIP142*: Para la etapa de amplificación del sistema de control, se escogió el TIP142 por la corriente que soporta (10A). Debido a su configuración interna Darlington la corriente de base se amplificará a una tasa superior a la de un BJT convencional permitiendo que la corriente que suministra el Nodemcu (tarjeta de desarrollo seleccionada) en sus salidas (14 mA) sea suficiente al multiplicarse por el h_{fe} para la corriente necesaria en el colector [49].



Figura 12. Amplificador de corriente TIP142. Figura tomada de [44]

- 4.3.1.4 *Extractor*: El extractor seleccionado es de referencia TA450DC, marca NIDEC de 12 V a 1.4 A en el encendido. Maneja alrededor de 3700 rpm. Tiene un costo de \$25.000 pesos colombianos. Pesa 289 g con dimensión de $119 \times 38 \text{ mm}^2$. Para el control de la velocidad de este se necesita diseñar un amplificador de corriente en el cual se utilizará el TIP142: Este soporta una corriente de colector de 10A, β de 1000 y un voltaje base emisor de 3.5V [23]. Ver Anexo 2.



Figura 13. Extractor TA450DC. Figura tomada de [38]

- 4.3.1.5 *Microprocesador:* Para el microprocesador del sistema se escogió la tarjeta de desarrollo *Nodemcu Amica* basada en el microprocesador ESP8266. El cual es posible programar con el IDE de *Arduino*, además tiene el módulo *wifi* integrado; este en un tamaño total de placa reducido, permite hacer conexiones directamente con una *protoboard*, voltaje de entrada de 5V, voltaje de salida en los pines 3V3 correspondiente a los 3.3V, corriente por pin de 12mA [25].



Figura 14. Nodemcu Amica ESP8266MOD. Figura tomada de [39]

- 4.3.1.6 *Conversor analógico digital - ADS1115:* Tiene un tamaño pequeño con dimensiones de 2mm x 1.5mm x 0.4mm, consume una corriente muy baja de 150 μ A y maneja 16-Bits, 15 de estos para medición y uno para signo, suficientes para el cumplimiento de la resolución de cada sensor. El ADS1115 (ver Figura 15), consiste en un ADC configuración delta-sigma. Su alimentación es entre 2 y 5.5V. Sus cuatro entradas pueden ser utilizadas por separado o como dos entradas diferenciales. Tiene una salida por bus serial I2C [19]. Ver Anexo 3.



Figura 15. Conversor Analógico-Digital ADS1115. Figura tomada de [42]

- 4.3.1.7 *Display:* Se empleó un display LCD 20x4 (ver Figura 16), esto quiere decir que se dispone de 4 filas de 20 caracteres cada una para la visualización de la información y se alimenta con $5V \pm 10\%$. Adicional a este se incorporó un módulo serial I2C (*Inter-Integrated Circuit*), con referencia PCF8574, este facilita la conexión con el microprocesador y requiere menos pines de conexión *Arduino-Display* [22].

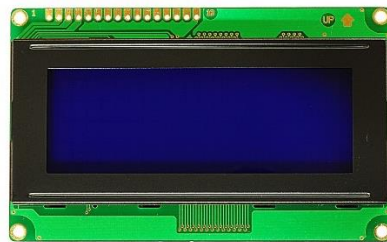


Figura 16. Display LCD. Figura tomada de [37]

- 4.3.1.8 *Conmutador:* Para la conmutación del dispositivo, se seleccionó el optoacoplador 4N25 (ver Figura 17), el cual consiste de un foto-transistor NPN. Soporta una corriente máxima de colector de 100 mA (suficiente para alimentar las etapas de sensando y adaptación). El LED interno soporta una corriente hasta de 60 mA.



Figura 17. Optoacoplador 4N25. Figura tomada de [56]

4.3.2 Diseño etapa de adaptación

4.3.2.1 Sensor de temperatura

Para la etapa de adaptación del sensor de temperatura se usó la configuración de amplificador no inversor cuya ecuación característica es:

$$\frac{V_i}{TEMP+} = G = 1 + \frac{R_{2t}}{R_{1t}} \quad (3)$$

Para definir la ganancia se usó la relación del *datasheet* del sensor Lm35 donde cada 100mv representa un cambio de 10°C. Sabiendo que cuando se lea 1V se tiene temperatura de 100°C se busca que el ADC reciba 4.5V para este valor, por lo tanto.

$$G = \frac{4.50}{1} = 4.5 \quad (4)$$

Se fija R_{2t} de $3.5k \Omega$ y se calculó con las ecuaciones (3) y (4) el valor de $R_{1t} = 1k \Omega$.

En la Figura 18 y Figura 19 se presentan la configuración de la etapa de amplificación para el sensor de temperatura y su simulación respectivamente.

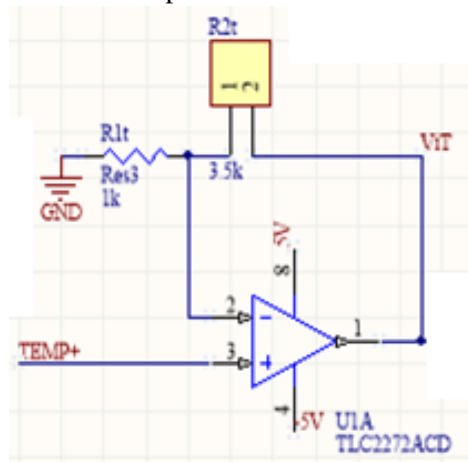


Figura 18. Etapa amplificación sensor temperatura.

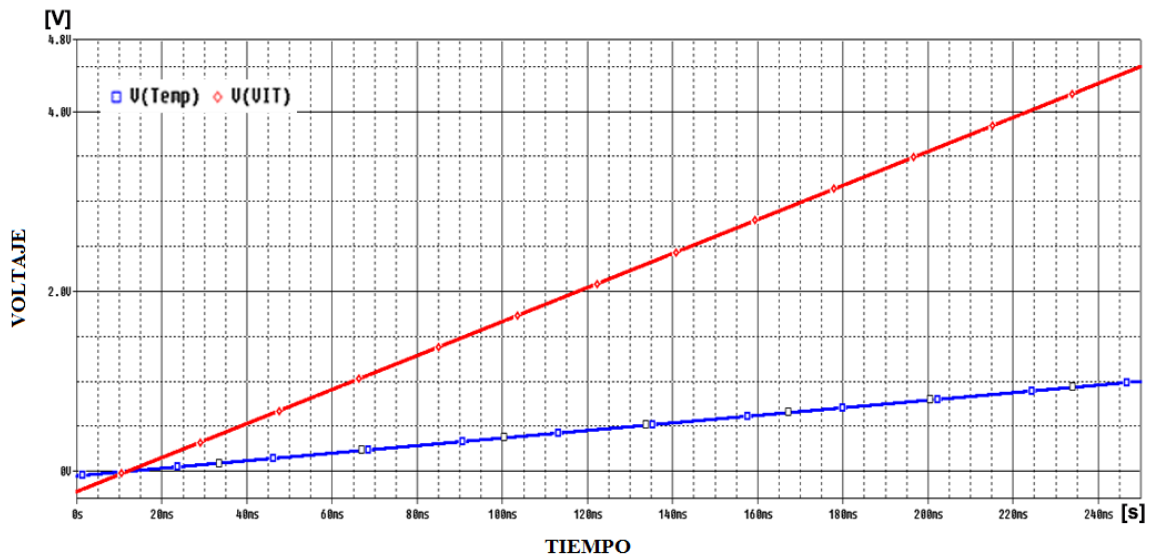


Figura 19. Simulación etapa de amplificación del sensor de temperatura.

4.3.2.2 Sensor de humedad

Para la etapa de adaptación del sensor de humedad se usó la configuración de amplificador no inversor cuya ecuación característica es:

$$\frac{V_{iH}}{Hum} = G = 1 + \frac{R_{2h}}{R_{1h}} \quad (5)$$

Para definir la ganancia se usó la *Figura 3* del *datasheet* del sensor HIH4010 [20].

Sabiendo que cuando se lea 3.8 V se tiene humedad del 100% se busca que el ADC reciba 4.5 V para este valor, por lo tanto.

$$G = \frac{4.50}{3.80} = 1.18 \quad (6)$$

Se fija R_{2h} de 600Ω y se calculó con las ecuaciones (5) y (6) el valor de $R_{1h} = 3.2 \text{ k}\Omega$.

En la *Figura 20* y *Figura 21* se presentan la configuración de la etapa de amplificación para el sensor de humedad y su simulación respectivamente.

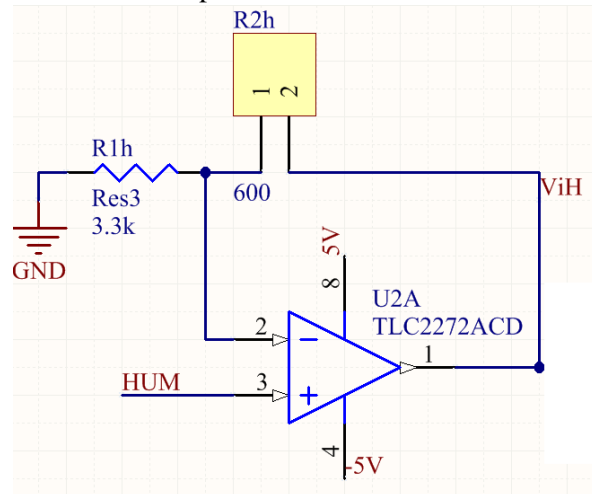


Figura 20. Etapa de amplificación sensor de humedad.

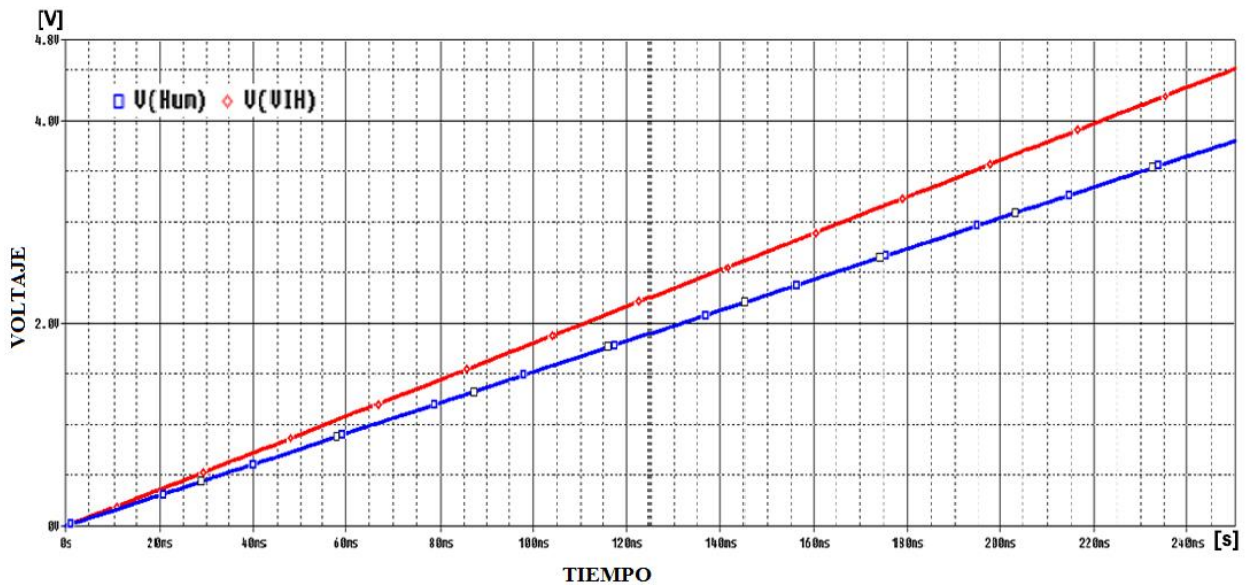


Figura 21. Simulación etapa de amplificación del sensor de humedad.

4.3.2.3 Filtro Anti-Aliasing

Teniendo en cuenta la información relacionada con la cantidad de muestras por segundo que toma el ADS1115 (1600sps, valor extraído de la librería del ADS 1115), se sabe que se debe cumplir el teorema de muestreo de Nyquist para evitar pérdida de información y lograr así que la señal digital sea correspondiente con la analógica. Debido a la frecuencia de las señales entregadas por los sensores se asegura que estas cumplen Nyquist y que la señal no se perderá si se pone un filtro en la frecuencia de corte a 100 Hz. Conociendo que la respuesta en frecuencia del amplificador TLC2272 (Anexo 4) es mayor a la frecuencia de corte del filtro se procede con su diseño. Para el diseño del filtro Butterworth se conoce la función de transferencia de un filtro de segundo orden en forma Sallen-Key la cual es:

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1}{R9C9R10C8}{s^2 + s\left(\frac{1}{R9C9} + \frac{1}{R9C9}\right) + \frac{1}{R9C9R10C8}} \quad (7)$$

Obteniendo

$$\frac{1.368e04}{s^2 + 155.9 s + 1.368e04}$$

Cuyo diagrama de bode, presentado en la Figura 22, comprueba que se cumplen las condiciones deseadas.

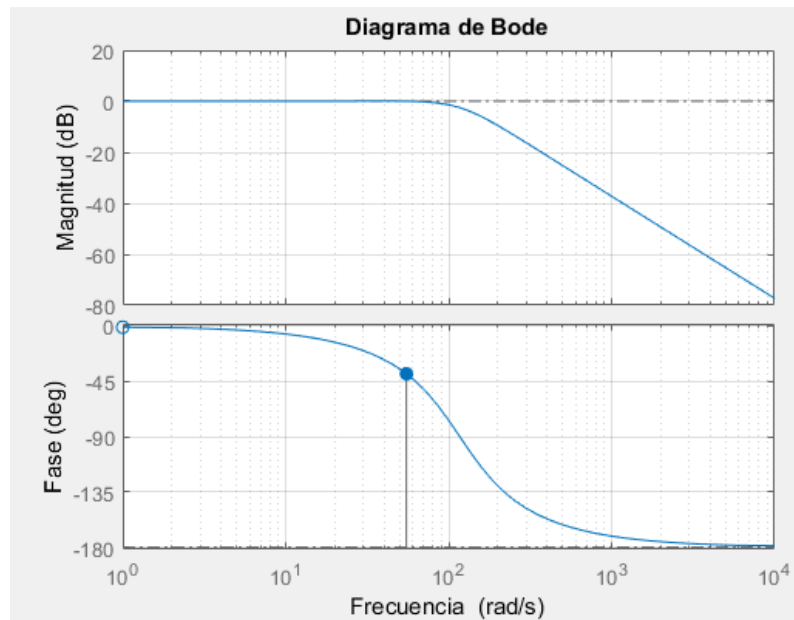


Figura 22. Bode de función de transferencia del filtro.

Selección de componentes

Para el cálculo de los componentes se usa el estándar de componentes E24 y se procede a la selección de componentes a partir de la función de transferencia deseada. Se seleccionan los siguientes valores que cumplen el bode:

- R9= 3.9k
- R10=7.5k
- C9 =2.5uF
- C8 =1uF

El filtro diseñado con sus componentes seleccionados se muestra en la Figura 23

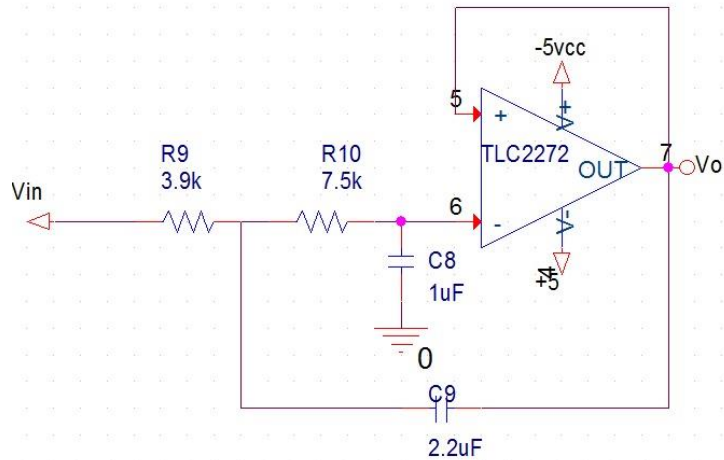


Figura 23. Etapa de filtrado.

4.3.3 Conmutación

Para evitar que el dispositivo se encuentre encendido todo el tiempo, y así reducir el consumo energético, se decidió implementar un sistema de encendido y apagado; para dicha conmutación, se aprovecharon los pines digitales de la tarjeta de desarrollo. Teniendo en cuenta que el led del optoacoplador soporta hasta una corriente de 60 mA, mientras que los pines del *Nodemcu* entregan hasta 14 mA, se situó una resistencia en serie de 200 ohm a la salida de la tarjeta para limitar su corriente y así no forzar los 14 mA. Con la corriente suficiente el led del optoacoplador se enciende poniendo en saturación el fototransistor permitiendo el funcionamiento de la etapa de sensado y de adaptación.

4.3.4 Programación del procesador

El código para la programación del microprocesador sigue el siguiente diagrama de flujo mostrado en la Figura 24. A continuación se explica cada bloque.

- Inicialización de variables: En este bloque se asignan valores predeterminados a las variables y se define el tipo de variable (Temp, Hum, OnOff, Ts, Trx y RH).
- Asignación de pines: Se definen los pines para la activación del motor, encendido de la etapa de sensado y los pines relacionados al ADC.
- Mensaje de bienvenida: Se presenta en la pantalla el primer mensaje al usuario.
- Conexión a Wifi: Se encarga de asegurar que se establezca la conexión a Internet.
- Inicio Void Loop: Ciclo principal.
- Lectura pines: Se leen los valores analógicos de las señales.
- Envío de variables a Ubidots: Se envían a Ubidots los valores leídos de Temp y Hum.
- Lectura Trx: Se busca en el servidor de Ubidots el valor correspondiente al tiempo de muestreo recibido de Ubidots el cual fue declarado por el usuario. Se compara que el tiempo de muestreo sea menor a 8 segundos. Si esto ocurre, el tiempo de muestreo va tomar el valor de 8 segundos. Si al hacer la primera comparación el tiempo de muestreo de Ubidots es mayor a 8 segundos, el tiempo de muestreo va ser igual al tiempo de muestreo de Ubidots (declarado por el usuario).
- Visualización Temp, Hum y Ts: Se presenta en la pantalla el valor de las variables correspondientes a temperatura, humedad y tiempo de muestreo.
- Lectura OnOff: Se busca en el servidor el valor que corresponde al estado del extractor definido por el usuario.
- Lectura RH: Se busca en el servidor el valor que corresponde al límite de humedad definido por el usuario.

- $\text{Delay} = T_s - 8000$: Debido a que el tiempo que toma el ciclo es aproximadamente 8 segundos, el tiempo definido por el usuario ya ha recorrido los 8 segundos.

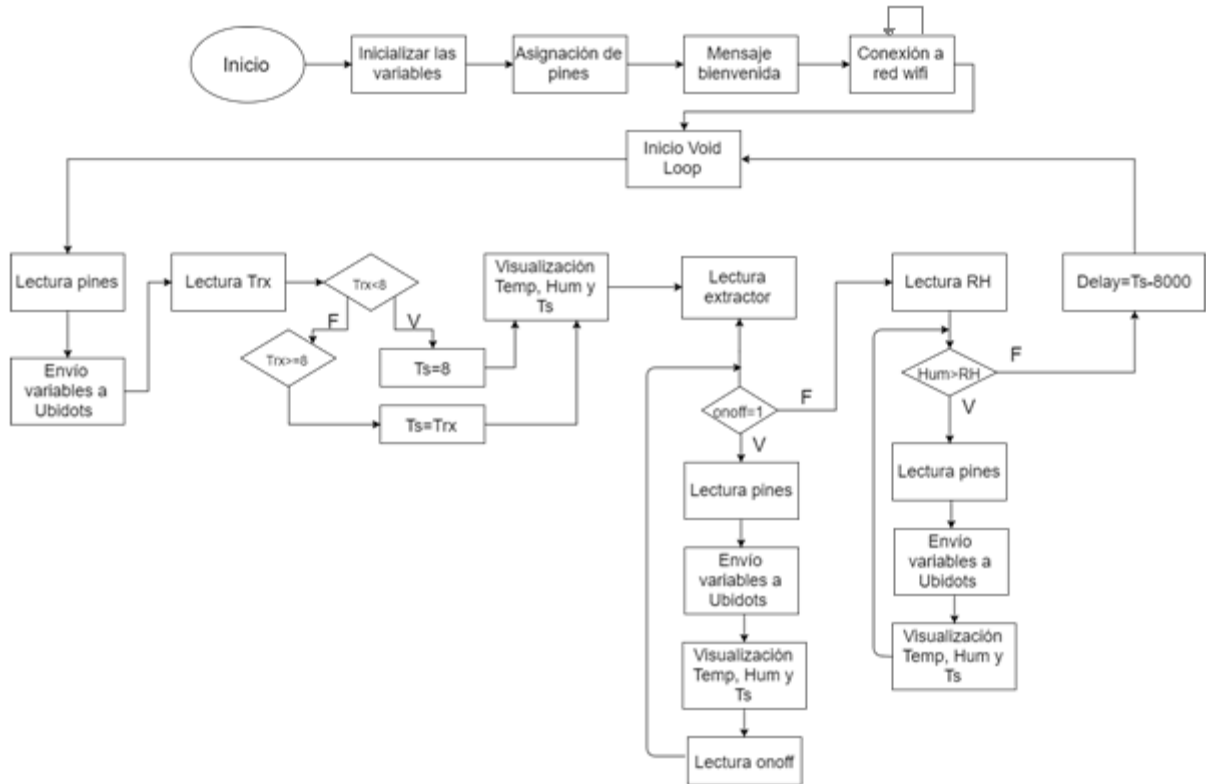


Figura 24. Diagrama de flujo del procesador.

4.3.5 Transmisión almacenamiento de datos WiFi



Figura 25. ESP-12. Figura tomada de [25]



Figura 26. WiFi. Figura tomada de [39]



Figura 27. Ubidots. Figura tomada de [30]

Nodemcu Amica es una tarjeta de desarrollo basada en el módulo WiFi ESP-12 (Figura 25) que tiene como procesador el ESP8266. Viendo esta ventaja de módulo WiFi la tarjeta se selecciona por su fácil integración con la IDE de *Arduino*. Este módulo trabaja a frecuencia de 2.4 GHz y tiene la opción de soportar diversidad de antenas. El módulo WiFi trabaja bajo los comandos AT mostrados en la Figura 28. Con ayuda de estos comandos se van hacer solicitudes al servidor HTTP al que se va vincular la conexión.

AT commands of standard firmware

AT+RST	reset
AT+GMR	check firmware version
AT+CWMODE=3	set mode to AP+STA
AT+CWLAP	list wifi networks
AT+CWJAP="ssid", "password"	connect to your wifi
AT+CIODBAUD?	check baud rate
AT+CIODBAUD=9600	set new baud rate

Figura 28. Comandos AT

Para la integración del sistema se evaluaron tres plataformas que ofrecían servicios de *hosting* y base de datos. La primera: “miarroba.es”, este servicio ofrecía *hosting* y gestión de base de datos con *MySQL* y *MyPHP* (Ver Figura 29). Este servidor se descartó debido a que al ser una base de datos gratuita el servidor bloquea las conexiones con el dispositivo, pero como ventaja no limita el tiempo para el envío de datos [29].

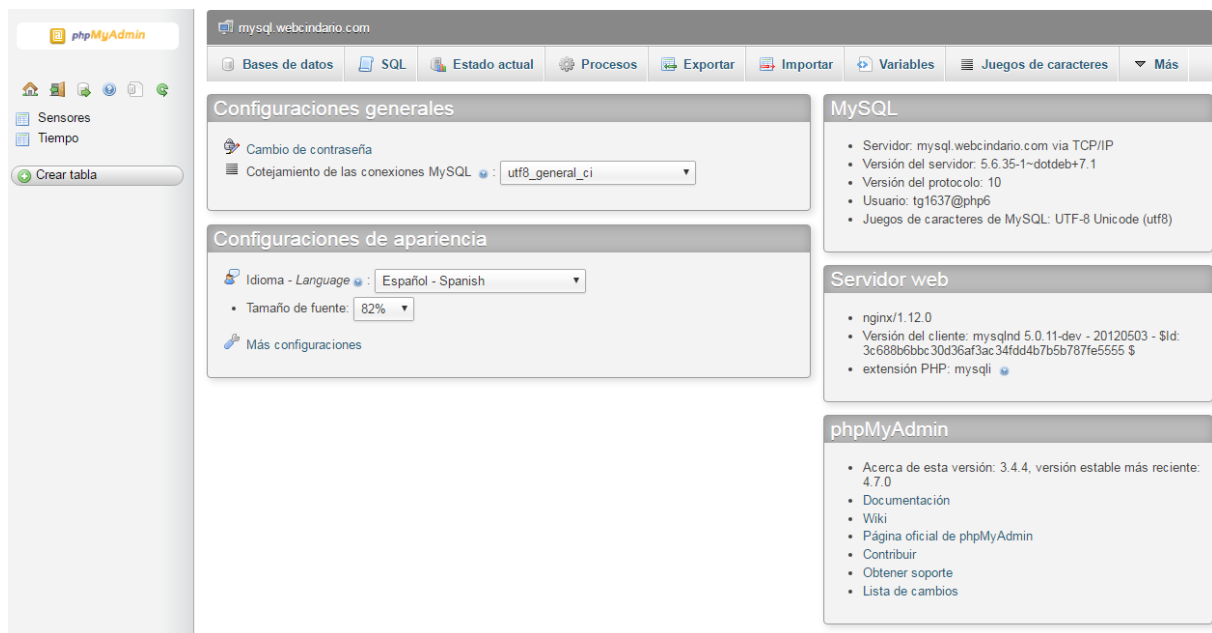


Figura 29. Servidor mysql

La segunda: *ThingSpeak*, cuya interfaz se muestra en la Figura 30. Este servidor de *MathWorks* ofrece una plataforma dedicada al IoT donde la comunicación entre el módulo y el servidor es eficaz y fácil permitiéndole al usuario graficar en línea los datos obtenidos, sin costo alguno, pero con la limitación de poder subir o adquirir los datos almacenados cada 16 segundos. Esta restricción se tuvo en cuenta debido a que al ser un dispositivo que monitorea variables ambientales pueda ser necesario tener un monitoreo con menor tiempo de espera y mayor velocidad de reacción [31].

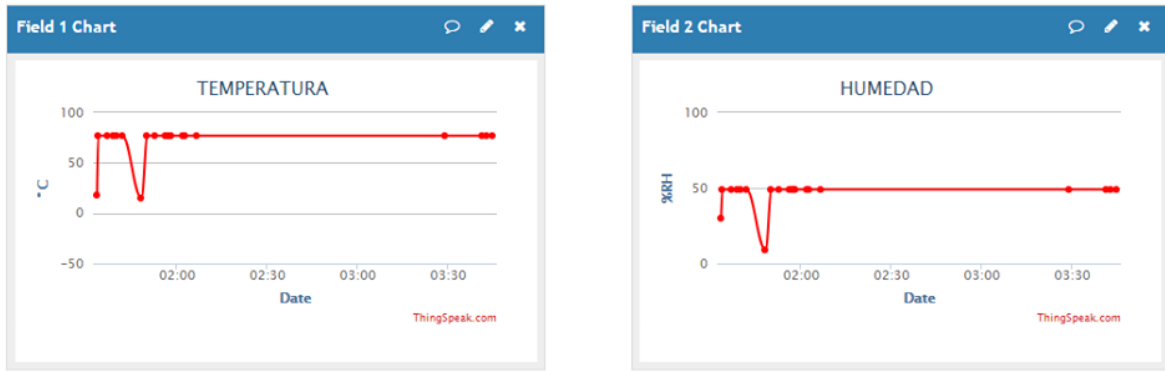


Figura 30. Interfaz de ThingSpeak.

Por último, se evaluó la opción de “Ubidots” (Figura 27) que, como ventajas, presentaba una limitación de tiempo más baja (casi 1 segundo), ofrecía visualización en línea, tiene herramientas extra para visualizar la información, Figura 31, y tiene su propia librería para la configuración de la información y los protocolos HTTP requeridos para almacenar y descargar información de la base de datos. Una desventaja es el cobro por su uso después de agotar el *trial* [30].

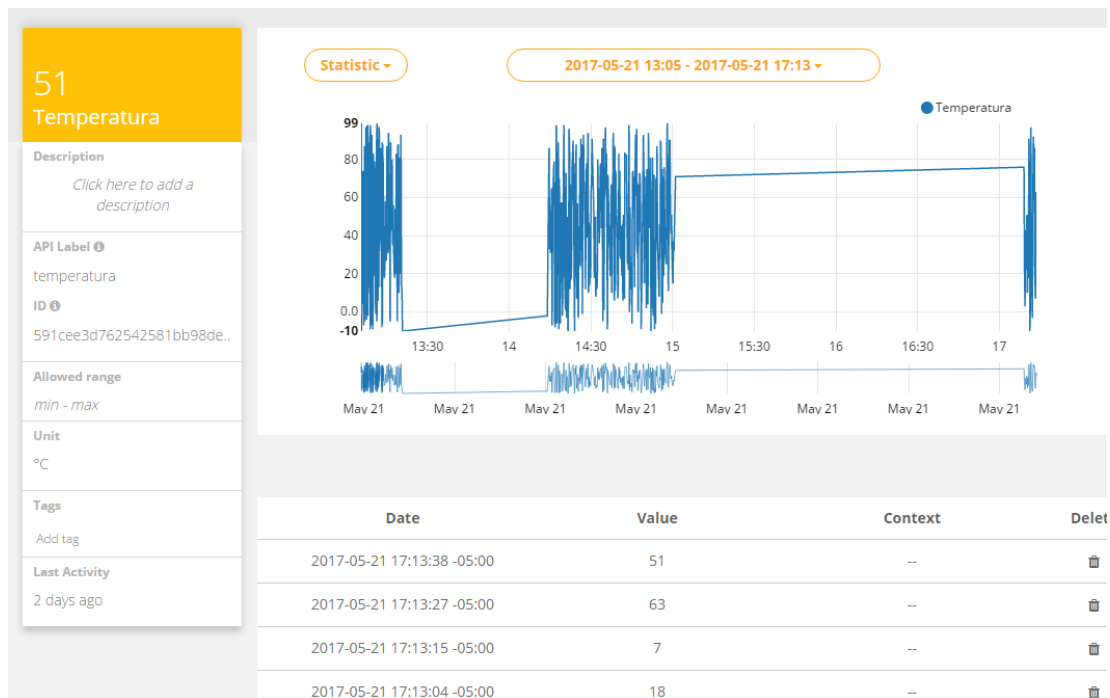


Figura 31. Interfaz Ubidots.

Una vez teniendo el servidor escogido y el Nodemcu configurado, se procede a programar el microprocesador.

4.3.6 Desarrollo aplicación móvil

El desarrollo de la aplicación móvil se hizo bajo el entorno de desarrollo de *software AppInventor*, creado principalmente por el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts, por sus siglas en inglés) y luego adaptado por Google para el diseño de aplicaciones móviles por medio de una interfaz gráfica, ver anexo 6.

La primera pantalla de la aplicación se muestra en la Figura 32, donde al acceder al primer botón “Medidas” se encuentran los valores actuales registrados por los sensores de temperatura y humedad como se muestran en la Figura 33.

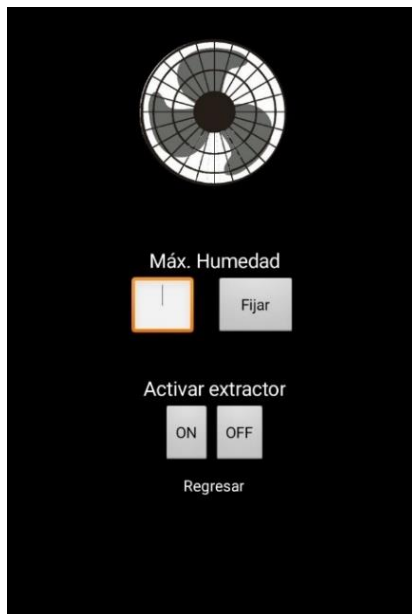


Figura 36. Ventana para control del extractor.

4.3.7 Sistema de control

Para regular la humedad relativa en un ambiente cerrado es necesario utilizar un controlador que sea capaz de ejercer una acción sobre el ambiente. Dicho controlador compara el valor de la humedad medida por el dispositivo, siendo esta la señal de entrada, con un valor deseado llamado *set-point* (valor definido por el usuario en la aplicación móvil). Con ayuda de un actuador (extractor de aire), se busca que la humedad relativa del ambiente sea menor que el valor de *set-point*. Por lo anterior, se decide usar un controlador ON-OFF (ver Figura 37) o también llamado abierto- cerrado. Esta es la forma más simple de realimentación; es un control de dos posiciones en el que el elemento final de control sólo podrá ser una de las dos posiciones, en donde la salida del controlador va de un extremo al otro dependiendo el valor de la variable.

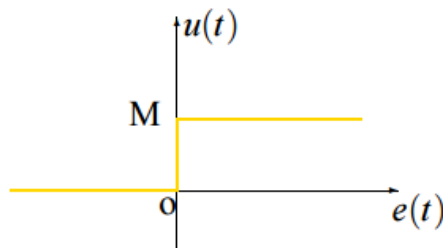


Figura 37. Sistema de un controlador ON-OFF.

4.3.7.1 Amplificador de corriente

Teniendo en cuenta que el extractor consume una corriente de encendido de 1.4 A se selecciona un transistor capaz de soportar esta corriente en su colector. Sabiendo que la tarjeta Nodemcu en sus salidas digitales tiene una corriente máxima de 14 mA y un voltaje de 3.3 V, se selecciona una resistencia de base que logre amplificar la corriente de Colector a 1.5 A. Se implementa la configuración mostrada en la Figura 38.

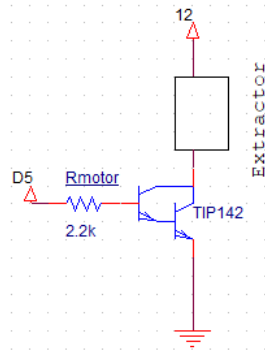


Figura 38. Configuración amplificador de corriente.

4.3.8 Diseño PCB (Printed Circuit Board)

Para el diseño del PCB del dispositivo se utilizó *Altium Designer 16.1*. Este se diseñó a dos capas (*Top* y *Bottom*) para facilitar el enrutamiento de las pistas de todos los componentes. En el *Top Layer* se encuentran algunas pistas y es el lado del PCB en el que se observan en su gran mayoría todos los componentes DIP (*Dual In-line Package*) utilizados como los reguladores de 5 V, trimmers, un circuito integrado, la conexión a la pantalla LCD, diodos y las conexiones de los sensores que se utilizaron; mientras que en el *Bottom Layer* se ubicaron todos los componentes superficiales en los que se encuentran resistencias, capacitores y circuitos integrados. A continuación, en la Figura 39, se muestra el diseño final, el cual fue el implementado para el dispositivo.

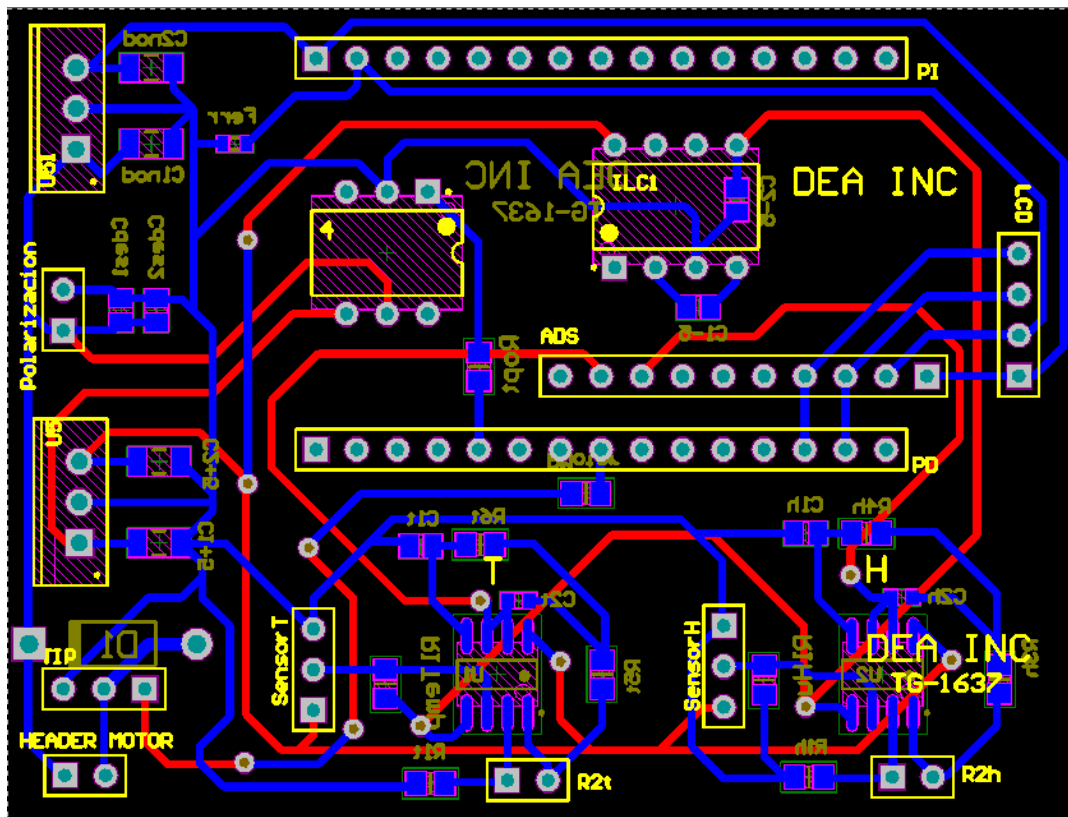


Figura 39. Layout PCB

5 PROTOCOLO DE PRUEBAS

En este capítulo se presentan los protocolos de pruebas utilizados para el dispositivo DEA. Para realizar el protocolo de pruebas se contó con un multímetro digital para verificar los voltajes correspondientes a cada medida, un osciloscopio digital para observar las señales obtenidas por el dispositivo, un generador de funciones para realizar el barrido en frecuencia, una fuente de voltaje encargada de alimentar el dispositivo, un analizador de distorsión para realizar las medidas de distorsión de las etapas requeridas, una punta de corriente, un sensor digital y una incubadora ambiental, (ver Tabla 2).

Equipo	Marca	Referencia
Multímetro	Agilent	34450A
Osciloscopio Digital	Keysight	DSO-X-2012A
Generador de Funciones	Keysight	33500B
Fuente de voltaje	Keysight	U8031A
Punta de Corriente	Agilent	1146A
Analizador de distorsión	Leader	LDM-171
Incubadora Ambiental	-	HWS-70B
Sensor Digital Temp - Hum	Aosong Electronics	DHT22

Tabla 2. Equipos utilizados para protocolo de pruebas

5.1 Sensores Temperatura y Humedad

Para estos sensores se realizaron diferentes protocolos de pruebas; el primero dicta los pasos a seguir para la medición de la impedancia de salida de cada sensor. Los siguientes protocolos consisten en comprobar el funcionamiento de la etapa de amplificación de los sensores; la cual está conformada por diferentes secciones que son: ganancia, factor de rechazo a fuente de alimentación, piso de ruido, análisis de distorsión, potencia y medición de impedancias tanto de entrada como de salida del amplificador. Y para finalizar, los protocolos para comprobar la etapa de filtrado.

5.1.1 Impedancia de salida sensor

1. Teniendo en cuenta las configuraciones respectivas de cada sensor (TEMP y HUM) se realiza el montaje sobre la protoboard.
2. Se configura el multímetro para mediciones de voltaje.
3. Con las puntas del multímetro se mide el voltaje a la salida en “circuito abierto” y se anota dicho valor.
4. Se adiciona al montaje una resistencia de carga no superior a 1 k Ω .
5. Ahora con esta resistencia se tiene un “circuito cerrado” y nuevamente se utilizan las puntas del multímetro para medir el voltaje y anotar dicho valor.
6. Se configura el multímetro para mediciones de resistencia.
7. Con las puntas del multímetro se mide el valor de la resistencia de carga utilizada y se anota.
8. Con los valores obtenidos de Voltaje a circuito abierto, Voltaje a circuito cerrado y resistencia de carga, se halla el valor de la impedancia de salida del sensor.

5.1.2 Etapa de amplificación

5.1.2.1 *Ganancia*

1. Se monta en una protoboard el circuito correspondiente a la etapa de filtrado.
2. Se fija la fuente del laboratorio en 5V.
3. Se realiza la conexión para la polariza el circuito.
4. Se mide el voltaje (V_{in}) a la entrada del amplificador de ambos sensores.
5. Se mide el voltaje (V_{out}) a la salida del amplificador de ambos sensores.
6. Según la relación V_{out}/V_{in} se verifica que la ganancia se cumpla para todo el rango del funcionamiento del sensor.

5.1.2.2 *Factor de rechazo a fuente de alimentación (PSRR)*

1. Se fijan 5V en la fuente de voltaje.
2. Se realiza la conexión para la polarización del circuito.
3. Con ayuda de una fuente de voltaje se fija un voltaje correspondiente al entregado por cada sensor, y se le aplica a la entrada inversora del amplificador a evaluar.
4. Con ayuda del multímetro se mide el voltaje (V_{out}) a la salida del amplificador de los sensores de temperatura y humedad.
5. Se configura la fuente de voltaje 0.1V por encima del valor previamente aplicado
6. Con ayuda del multímetro se mide el voltaje (V_{in}) a la entrada del amplificador de los sensores de temperatura y humedad.
7. Con ayuda del multímetro se mide el voltaje (V_{out}) a la salida del amplificador de los sensores de temperatura y humedad.
8. Se configura la fuente de voltaje 0.1V por debajo del voltaje fijado a la entrada inicial.
9. Con ayuda del multímetro se mide el voltaje (V_{in}) a la entrada del amplificador de los sensores de temperatura y humedad.
10. Con ayuda del multímetro se mide el voltaje (V_{out}) a la salida del amplificador de los sensores de temperatura y humedad.
11. Ya teniendo una tabla con los valores medidos, se procede a sustituir los valores en la fórmula de PSRR.

5.1.2.3 *Piso de ruido*

Etapa de amplificación de los sensores la cual está conformada por diferentes etapas que son: ganancia, factor de rechazo a fuente de alimentación, análisis de distorsión, potencia y medición de impedancias tanto de entrada

1. Se implementa la configuración del amplificador necesaria para el sensor.
2. Se polariza el circuito respectivamente (+5 V y -5 V).
3. La punta del osciloscopio se ubica en el punto deseado para medir el nivel de ruido.
4. En el osciloscopio se selecciona la opción de FFT (Math → Operador → FFT)
5. Se ajustan las frecuencias de FRAGMENTO y CENTRO del osciloscopio para poder tener así una mejor ventana de visualización.
6. Cuando se pueda visualizar la región deseada se exportan los datos en formato .CSV (Save → Guardar → Presione para Guardar)

5.1.2.4 *Análisis de distorsión*

1. Se ajusta la amplitud deseada a la entrada del circuito.
2. La salida del circuito de adaptación se conecta en las terminales INPUT del analizador de distorsión.
3. Teniendo presente que se encuentre seleccionado la función VOLT METER se enciende el analizador.
4. Se selecciona la función DISTORSIÓN

5. Se oprime SET de la sección RANGE del analizador.
6. Con los controles SET LEVEL y VERNIER se ajusta la aguja al 100% de la escala.
7. Cuando la aguja esté ajustada al 100% de la escala se selecciona el valor 100 de RANGE.
8. Se ajusta el dial de FRECUENCIA del analizador y el control de BALANCE
9. Se selecciona la mejor escala siguiente de RANGE mientras la aguja esté inferior al 30% de la escala.
10. Se repiten los pasos 7) y 8) hasta que la aguja llegue a su mínima indicación y no sobrepase el 30% de la escala.
11. Si la aguja llega al 1% se utiliza el modo automático del analizador.
12. Se anota el valor de distorsión indicado por la aguja.

Se realizan cuatro medidas de distorsión al circuito con amplitudes a la entrada del 25%, 50%, 75% y 100%. Para medir la distorsión en cada caso es necesario repetir todos los pasos anteriormente descritos.

5.1.2.5 Potencia

1. Utilizando la fuente se polariza el amplificador con 5V y -5V.
2. El multímetro se configura para mediciones de voltaje.
3. Con las puntas del multímetro se mide el voltaje en ambos puntos de polarización (5V y -5V) para corroborar un valor real.
4. Se anotan dichos valores (polarización negativa y positiva)
5. Se configura el osciloscopio para medir corriente
6. Se ubica la punta de corriente respectivamente (fuente positiva y negativa)
7. Se observan en el osciloscopio las corrientes entregadas tanto por la fuente de voltaje negativa como positiva y se anotan.
8. Con los valores de corrientes y voltajes de polarización se calcula la potencia del amplificador.

5.2 Amplificador

5.2.1 Análisis en frecuencia

1. Se monta en una protoboard el circuito correspondiente.
2. La fuente del laboratorio se fijan ambas salidas en 5V.
3. Se polariza el circuito teniendo en cuenta fuente positiva y negativa.
4. Se configura el generador de funciones para generar un barrido en frecuencia entre 1Hz a 1MHz
5. Se conecta el generador de funciones a la entrada del amplificador a este mismo punto se conecta la punta del osciloscopio del canal 1.
6. La punta del canal 2 se conecta a la salida del filtro.
7. Se enciende tanto la fuente como el generador de funciones.
8. Se observa en el osciloscopio cómo varía la salida con respecto a la frecuencia de entrada.

5.2.2 Factor de rechazo en modo común (CMRR)

1. Se realiza el montaje de un amplificador diferencia con ganancia 10.
2. Se polariza el amplificador.
3. Con ayuda de la fuente de voltaje se fijan 0.89 V que se aplican al amplificador de manera diferencial.
4. Se mide el voltaje a la salida del amplificador para calcular la ganancia de este.
5. Con ayuda de la fuente de voltaje se fijan 0.89 V que se aplican al amplificador en modo común.
6. Se mide el voltaje a la salida del amplificador para calcular la ganancia de este.
7. Con las respectivas fórmulas de CMRR y con los datos ya hallados, se procede a calcular el factor de rechazo en modo común.

5.2.3 Impedancia de entrada

1. Se implementa la configuración del amplificador requerido.
2. Se configura el multímetro para mediciones de voltaje.
3. Se polariza el circuito
4. Con ayuda de una fuente de voltaje se ajusta el valor equivalente al voltaje máximo que entrará al amplificador (voltaje que da el sensor)
5. Se pone una resistencia de valor conocido en serie a la entrada no inversora del amplificador.
6. Con las puntas del multímetro se mide el voltaje a la salida de la fuente previamente ajustada y se anota.
7. Con las puntas del multímetro se mide el voltaje a la entrada no inversora del amplificador y se anota.
8. Con las puntas del multímetro se mide el valor de la resistencia en serie utilizada y se anota.
9. Con los valores obtenidos de Voltajes y resistencia, se halla el valor de la impedancia de entrada.

5.2.4 Impedancia de salida

1. Se implementa la configuración del amplificador requerido.
2. Se configura el multímetro para mediciones de voltaje.
3. Con las puntas del multímetro se mide el voltaje a la salida del amplificador en “circuito abierto” y se anota dicho valor.
4. Se adiciona al montaje una resistencia de carga no superior a 1 k Ω .
5. Ahora con esta resistencia se tiene un “circuito cerrado” y nuevamente se utilizan las puntas del multímetro para medir el voltaje y anotar dicho valor.
6. Se configura el multímetro para mediciones de resistencia.
7. Con las puntas del multímetro se mide el valor de la resistencia de carga utilizada y se anota.
8. Con los valores obtenidos de Voltaje a circuito abierto, Voltaje a circuito cerrado y resistencia de carga, se halla el valor de la impedancia de salida del sensor.

5.3 Filtro

5.3.1 Análisis en frecuencia

1. Se monta en una protoboard el circuito correspondiente a la etapa de filtrado.
2. En la fuente del laboratorio se fijan ambas en 5V.
3. Se polariza el circuito teniendo en cuenta fuente positiva y negativa.
4. Se configura el generador de funciones para generar un barrido en frecuencia entre 1uHz a 100Hz (rango de frecuencias filtro pasa-bajos).
5. Se conecta el generador de funciones a la entrada del filtro a este mismo punto se conecta la punta del osciloscopio del canal 1.
6. La punta del canal 2 se conecta a la salida del filtro.
7. Se enciende tanto la fuente como el generador de funciones.
8. Se observa en el osciloscopio cómo varía la salida con respecto a la frecuencia de entrada.

5.3.2 Impedancia de entrada

1. Se implementa la configuración del filtro.
2. Se configura el multímetro para mediciones de voltaje.
3. Se polariza el circuito
4. Con ayuda de una fuente de voltaje se ajusta un valor de voltaje de entrada
5. Se pone una resistencia de valor conocido en serie a la entrada del filtro.
6. Con las puntas del multímetro se mide el voltaje a la salida de la fuente previamente ajustada y se anota.
7. Con las puntas del multímetro se mide el voltaje a la entrada del filtro y se anota.

8. Con las puntas del multímetro se mide el valor de la resistencia en serie utilizada y se anota.
9. Con los valores obtenidos de Voltajes y resistencia, se halla el valor de la impedancia de entrada.

5.3.3 Impedancia de salida

1. Se implementa la configuración del amplificador requerido.
2. Se configura el multímetro para mediciones de voltaje.
3. Con las puntas del multímetro se mide el voltaje a la salida del amplificador en “circuito abierto” y se anota dicho valor.
4. Se adiciona al montaje una resistencia de carga no superior a 1 k Ω .
5. Ahora con esta resistencia se tiene un “circuito cerrado” y nuevamente se utilizan las puntas del multímetro para medir el voltaje y anotar dicho valor.
6. Se configura el multímetro para mediciones de resistencia.
7. Con las puntas del multímetro se mide el valor de la resistencia de carga utilizada y se anota.
8. Con los valores obtenidos de Voltaje a circuito abierto, Voltaje a circuito cerrado y resistencia de carga, se halla el valor de la impedancia de salida del sensor.

5.4 Conmutación

1. Se polariza el circuito con la fuente de 12 V.
2. Se conecta la punta del osciloscopio del canal 1 al pin digital encargado de manejar el encendido y apagado del led interno del optoacoplador.
3. Se conecta la punta del osciloscopio del canal 2 a la salida del regulador de 5 voltios.
4. Se usa la opción de SINGLE SHOT del osciloscopio configurando el TRIGGER con flanco de subida.
5. Se enciende el circuito para que el código entre en funcionamiento.
6. Se verifica el correcto funcionamiento de la acción del pin digital sobre la polarización de la etapa de adquisición de datos.

5.5 Comunicación WiFi

Para comprobar la correcta comunicación WiFi del dispositivo con el servidor WEB (Ubidots), se realizaron dos pruebas diferentes; en la primera se probó el correcto envío de información Dispositivo – Servidor WEB y en la segunda se verificó la correcta recepción de información Servidor WEB – Dispositivo.

5.5.1 Envío de datos

Para comprobar la correcta comunicación para el envío de datos Dispositivo – Servidor WEB, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se conecta el microprocesador Nodemcu con el computador.
2. Se genera un código solamente de envío generando valores aleatorios para cada una de las variables para así corroborar el correcto funcionamiento del envío de datos sin tener un *delay* asociado que demore o modifique las pruebas.
3. Luego se procede a verificar las solicitudes http asociadas al Nodemcu.
4. Finalmente, se hace la comprobación entre los valores subidos con los almacenados en el servidor.

5.5.2 Recepción de datos

Para comprobar la correcta comunicación para el envío de datos Dispositivo – Servidor WEB, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se conecta el microprocesador Nodemcu con el computador.
2. Se envía un dato desde la aplicación hasta Ubidots para así corroborar el correcto funcionamiento de la recepción de datos.

3. Luego se procede a verificar las solicitudes http asociadas al Nodemcu para que así se pueda realizar la obtención de datos.
4. Finalmente, se hace la comprobación entre los valores enviados con los almacenados en Ubidots.

5.6 Control Humedad (Extractor)

1. Se polariza el dispositivo con la fuente de 12 V.
2. Se conecta la punta del osciloscopio del canal 1 al pin digital encargado de manejar el transistor.
3. Se conecta la punta del osciloscopio del canal 2 al colector del transistor.
4. A través de la aplicación se fija un nivel máximo de humedad que sea mayor al leído anteriormente para asegurar el encendido del extractor.
5. Se usa la opción de SINGLE SHOT del osciloscopio configurando el TRIGGER con flanco de bajada.
6. Se enciende el circuito para que el código entre en funcionamiento.
7. Se verifica el correcto funcionamiento de la acción del pin digital sobre el voltaje del colector el cual en saturación lleva este punto a tierra.

5.7 Comprobación funcionamiento DEA

Para comprobar el funcionamiento del dispositivo entre los rangos previamente establecidos se utilizó una incubadora ambiental con referencia HWS-70B para poder obtener así un ambiente controlado, tanto en temperatura como en humedad, para realizar diferentes mediciones con el dispositivo y tener certeza del valor de las variables ambientales de interés.

La incubadora ambiental tiene los mismos pasos de configuración para las pruebas, ya sean de temperatura o humedad, descendentes o ascendentes.

1. Se enciende la incubadora, mostrando así una pantalla inicial.
2. Se mantiene oprimido el botón SET; esto lleva al usuario a la ventana para configurar los ciclos y segmentos de las pruebas a realizar.
3. Se oprime otra vez el botón SET para comenzar a configurar el SEGMENTO 1 del CICLO 1.
4. Se ajusta el tiempo necesario para que la incubadora establezca los valores de temperatura y humedad seleccionados para el segmento, una vez hecho esto se oprime SET
5. Se ajusta la temperatura deseada en la incubadora, una vez hecho esto se oprime SET
6. Se ajusta el porcentaje de humedad relativo deseado en la incubadora.
7. Se oprime SET y así se tendrá acceso al siguiente segmento para configurar.
8. Se repite de los pasos del 4 al 7 hasta haber configurado los segmentos que sean necesarios para las pruebas. (Se pueden configurar un máximo de 30 segmentos por ciclo)
9. Una vez configurados todos los segmentos se mantiene oprimido por 4 segundos el botón SET, indicando así que se terminó de configurar la incubadora para las pruebas.
10. Se apaga la incubadora.
11. Se enciende el humidificador.
12. Se enciende la incubadora, iniciando al instante las pruebas del ciclo 1 con el segmento 1. Una vez se acabe el tiempo programado para cada segmento automáticamente seguirá con el siguiente segmento.
13. Al terminar de realizar las pruebas se debe apagar el humidificador y la incubadora ambiental.

Nota: El primer segmento debe tener mayor tiempo pues la incubadora toma más tiempo en estabilizarse.

Para obtener los datos del dispositivo DEA se programó para que almacenara en la nube la información registrada cada 4 segundos, obteniendo así una gran cantidad de datos para cada segmento de pruebas.

Al momento en el que se estabilizaba la incubadora se anotaba el dato de interés mostrado, posteriormente se descargaban los datos de la nube y se escogían 5 datos para arriba y 5 datos para abajo del valor mostrado

por la incubadora, para poder así tener un promedio de los datos medidos por el dispositivo DEA y poder compararlos con los de la incubadora.

5.7.1 Temperatura

Para las pruebas de temperatura se estableció un porcentaje de humedad relativa equivalente a 50 %RH, con este valor de humedad relativa constante se realizaron dos pruebas para la temperatura, una ascendente (de 28.0°C a 60.0°C) y otra descendente (de 60.0°C a 28.0°C) con pasos de 0.2°C y 2.5°C para cubrir el rango. Estas pruebas se desarrollaron con ayuda del incubadora de referencia HWS 70B.

5.7.2 Humedad

Para las pruebas de humedad se estableció una temperatura ambiente de 28.0°C, con este valor constante se realizaron dos pruebas para la humedad, una ascendente (de 45 %RH a 90 %RH) y otra descendente (de 90 %RH a 45 %RH). Cabe resaltar que en el rango de 45% – 60% de humedad relativa los datos se tomaron con cambios de 1 %RH, mientras que en el resto del intervalo se hicieron cambios del 3 %RH. Estas pruebas se desarrollaron con ayuda del incubadora de referencia HWS 70B.

5.8 Comprobación de la resolución

A continuación, se presentan los métodos utilizados para comprobar que el dispositivo DEA cumple con la resolución propuesta para cada sensor. Para comprobar la resolución propuesta del sensor de temperatura de 0.2°C se utilizó la incubadora ambiental HWS-70B, cuya resolución es de 0.1°C y para comprobar la resolución del sensor de humedad de 0.5 %RH, se realizaron las pruebas en un ambiente cerrado y se utilizó el sensor digital DHT22 cuya resolución es de 0.1 %RH

5.8.1 Temperatura

Para comprobar la resolución del sensor de temperatura del dispositivo, se configuró la incubadora ambiental para que en el rango de 28.0°C a 30.0°C tuviera un cambio de 0.2°C. Teniendo el valor promedio del dispositivo para cada cambio de temperatura generado por la incubadora ambiental se comparan en una gráfica los datos obtenidos por el dispositivo DEA y la incubadora HWS-70B.

5.8.1.1 Temperatura Baja

Debido a que el rango de funcionamiento del sensor de temperatura es de -5 a 100 °C y la cámara incubadora utilizada en la comprobación de funcionamiento del dispositivo, no alcanza por debajo de la temperatura ambiente, se diseñó un sistema en donde se probara el correcto funcionamiento del sensor a bajas temperaturas. Por lo cual, con ayuda de una nevera de poliestireno expandido, dos pilas de hielo y el sensor DHT22 se realizaron los siguientes pasos:

1. Se realizó el respectivo montaje del sistema colocando en un comienzo las dos pilas de hielo en la nevera de poliestireno expandido.
2. Con ayuda de cinta pegante se ubicaron, tanto el sensor del dispositivo DEA como el sensor DHT22, a la pared de la nevera de tal manera que quedaran ubicados a la misma distancia de la pila de hielo.
3. Se cierra la nevera para lograr un ambiente lo más posiblemente controlado.
4. Se procede a encender el dispositivo DEA y el sensor DHT22 conectándolo este segundo al puerto USB del computador.
5. Se abre el puerto serial de *Arduino* para visualizar los datos registrados por el sensor auxiliar (DHT22).
6. Se visualizan las medidas registradas tanto por el sensor auxiliar como el del dispositivo, esperando que se logre la estabilidad de ambos.
7. Una vez lograda la estabilidad, se registra la hora en donde se va a empezar a tomar los datos y de la misma manera la hora de finalización.
8. Se apagan ambos dispositivos.

- Una vez la prueba terminada, se procede a ingresar a Ubidots para descargar los datos registrados por el dispositivo DEA.

Se realizan tres veces desde los pasos 1 hasta el 7 cambiando para la segunda oportunidad la utilización de una sola pila y en una tercera ocasión la nevera vacía.

5.8.2 Humedad

Para realizar las pruebas en un ambiente cerrado se utilizó una nevera de poliestireno expandido con una pila de frío para poder disminuir la humedad relativa dentro de la nevera y así poder realizar las mediciones necesarias con el dispositivo y el DHT22, debido a que la incubadora HWS-70B tiene 1 %RH de resolución y esta no es suficiente. Los datos registrados por el DHT22 fueron exportados desde el monitor serial de *Arduino*. A continuación, se presentan los pasos utilizados para esta prueba:

- Introducir la pila de frío dentro de la nevera para que el ambiente interno de ésta se estabilice.
- Encender el dispositivo DEA y el sensor digital DHT22.
- Abrir el monitor serial de la interfaz de *Arduino*.
- Ubicar los dos sensores (DEA y DHT22) en la misma zona de la nevera.
- Se registran los datos obtenidos por el dispositivo DEA en Ubidots y por el DHT22 en el monitor serial para luego ser exportados.

6 RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos al realizar los protocolos de pruebas mencionados en el capítulo anterior; además, se presentan análisis de los mismos.

6.1 Sensor de Temperatura

6.1.1 Impedancia de salida sensor

En la Tabla 3. Se pueden observar los valores registrados; se puede observar que la impedancia de salida del sensor de temperatura LM35 es baja a comparación del valor de impedancia de entrada del amplificador (numeral 6.1.2.6).

Vabierto [V]	Vcerrado [V]	RL [Ω]	Zout [Ω]
0,234	0,250	45,750	2,928

Tabla 3. Impedancia de salida del sensor de temperatura.

6.1.2 Etapa de amplificación

6.1.2.1 Ganancia

A continuación, se presentan en la Tabla 4 los datos obtenidos.

Vin[V]	Vout[V]	Ganancia[]	Vin[V]	Vout[V]	Ganancia[]
-0,056	-0,251	4,482	0,455	2,040	4,484
-0,045	-0,204	4,533	0,506	2,266	4,478
-0,035	-0,159	4,543	0,555	2,487	4,481
-0,026	-0,115	4,423	0,606	2,713	4,477
-0,015	-0,068	4,533	0,656	2,940	4,482
-0,006	-0,026	4,333	0,706	3,161	4,477
0,006	0,026	4,333	0,756	3,384	4,476
0,015	0,068	4,533	0,805	3,607	4,481
0,026	0,115	4,423	0,855	3,830	4,480

0,035	0,159	4,543
0,045	0,204	4,533
0,056	0,251	4,482
0,106	0,475	4,481
0,156	0,699	4,481
0,206	0,923	4,481
0,256	1,147	4,480
0,305	1,367	4,482
0,356	1,594	4,478
0,406	1,820	4,483

0,906	4,061	4,482
0,955	4,278	4,480
1,006	4,504	4,477
1,056	4,695	4,446
1,105	4,696	4,250
1,115	4,696	4,211
1,151	4,696	4,080
1,181	4,697	3,978
1,210	4,697	3,882

Tabla 4. Ganancia amplificador de Temperatura

En la Figura 40, se puede observar la pendiente de la línea de tendencia de las medidas mostradas anteriormente corroborando la ganancia definida para la amplificación del sensor de temperatura. Los datos de la Tabla 4 que se encuentran resaltados no se graficaron debido a que se analizarán en el siguiente numeral.

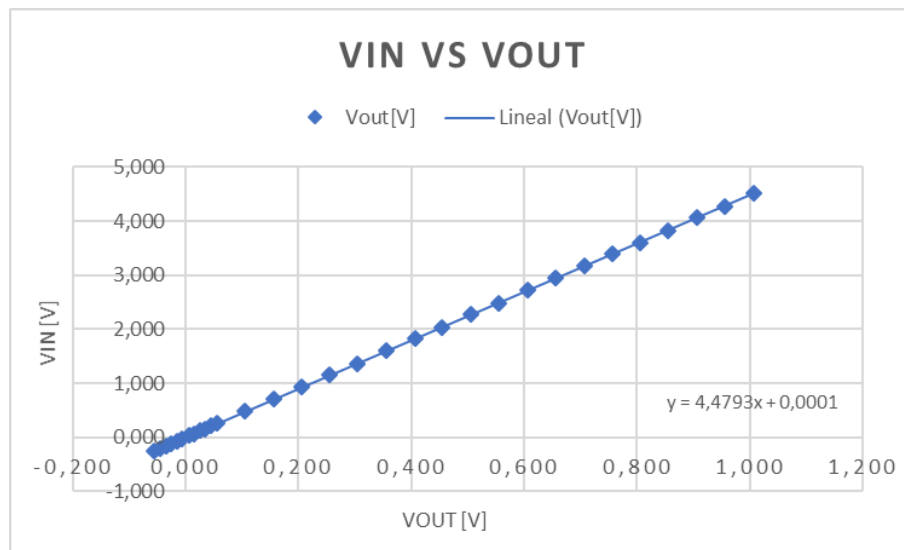


Figura 40. Ganancia sensor temperatura.

6.1.2.1.1 Ganancia máxima y zona no lineal

De los datos previamente presentados, se encuentra que cuando se supera el voltaje definido como máxima ganancia el transistor pierde su comportamiento lineal, como se puede observar en la Figura 41, la cual gráfica los datos mostrados en la Tabla 5.

Vin[V]	Vout[V]
0,706	3,161
0,756	3,384
0,805	3,607
0,855	3,830
0,906	4,061
0,955	4,278
1,006	4,504
1,056	4,695

1,105	4,696
1,115	4,696
1,151	4,696
1,181	4,697
1,210	4,697

Tabla 5. Ganancia para momento lineal y no lineal de temperatura.

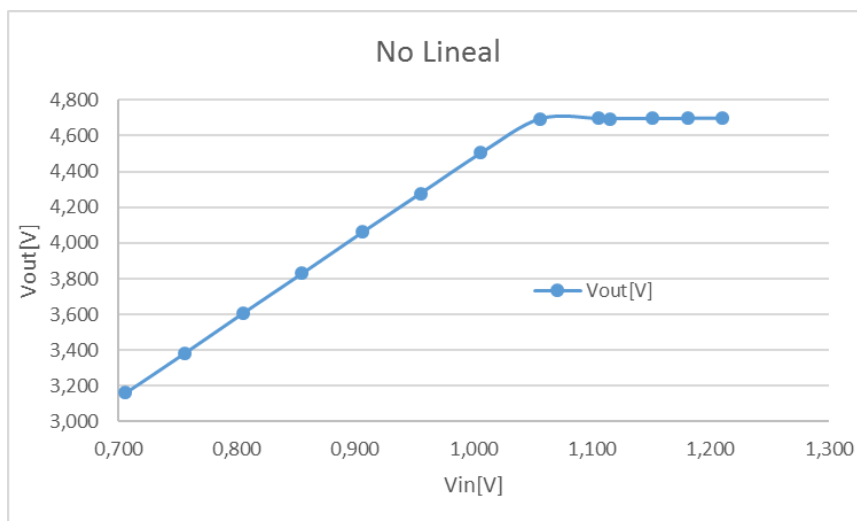


Figura 41. Ganancia momento lineal a no lineal.

6.1.2.2 Factor de rechazo a fuente de alimentación (PSRR)

En la Tabla 6 mostrada a continuación, se puede ver cómo la variación en la polarización del amplificador no modifica el comportamiento del circuito de manera relevante.

G[]	VIN [V]	VOUT [V]	V+ [V]	PSRR[dB]	PSRR[V]
4,5	1,005	4,488	5,017	-	-
	1,005	4,489	5,106	52,052	0,002
	1,005	4,489	4,917	53,064	0,002

Tabla 6. Medida PSRR Temperatura.

6.1.2.3 Análisis de distorsión

En la Tabla 7, mostrada a continuación, se presentan los porcentajes de distorsión del circuito a diferentes niveles de entrada.

Entrada [%]	Amplitud [Vpp]	Distorsión [%]	Analizador de distorsión
25	5,00E-01	0,012	





			
50	1,00	0,012	
75	1,50	12	
100	2,00	19	

Tabla 7. Mediciones de distorsión Temperatura.

Como se puede observar anteriormente, la configuración del amplificador del sensor de temperatura presenta una distorsión baja.

6.1.2.4 Piso de ruido

A continuación en la Figura 42, se presentan las gráficas del piso de ruido obtenidas de los datos importados y procesados en Matlab. Como se puede evidenciar, el nivel de ruido es menor al voltaje correspondiente a la resolución de 0.2°C de 9 mV, indicando de esa forma que la resolución del dispositivo no se ve afectada por el ruido.

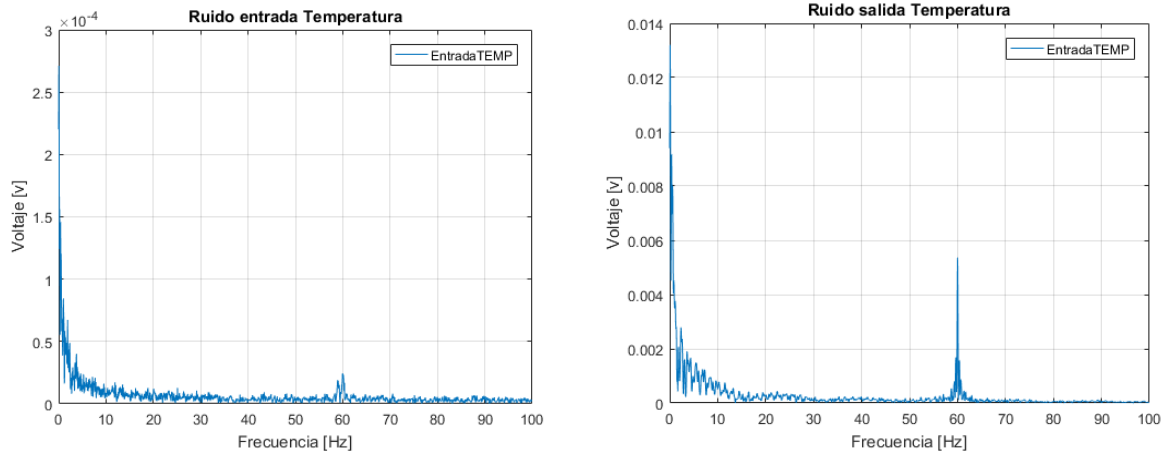


Figura 42. Piso de ruido del amplificador de Temperatura

6.1.2.5 Potencia

A continuación, se presenta la Tabla 8 correspondiente a la potencia consumida por el TLC2272 (amplificador-filtro). Las medidas corresponden al voltaje de polarización tanto positivo como negativo.

Voltaje [V]	Corriente [I]	Potencia[W]	
5,007	3,200E-03	1,600E-02	16,000 mW
-4,987	2,230E-03	-1,110E-02	11,100 mW
Total			27,100mW

Tabla 8. Potencia amplificador-filtro Temperatura.

6.1.2.6 Impedancia de entrada

A continuación en la Tabla 9, se muestran los resultados correspondientes a la medición de la impedancia de entrada del amplificador. V1 y V2 representan los voltajes medidos antes y después de la resistencia R la cual ayuda a medir dicha impedancia. Como se puede ver, este valor de impedancia de entrada es mucho mayor a la impedancia de salida del sensor de temperatura.

R [Ω]	V1 [V]	V2 [V]	I [A]	Z [Ω]
9950	1,008	1,007	1,00503E-07	10019650

Tabla 9. Impedancia de entrada amplificador.

6.1.2.7 Impedancia de salida

La Tabla 10 presenta los valores obtenidos para calcular la impedancia de salida del amplificador.

Vabierto [V]	Vcerrado [V]	RL [Ω]	Zout [Ω]
4,493	4,490	10000,000	6,459

Tabla 10. Impedancia de salida amplificador Temperatura.

6.2 Sensor de Humedad

6.2.1 Impedancia de salida sensor

En la Tabla 11. Se pueden observar los valores registrados; se puede observar que la impedancia de salida del sensor de temperatura LM35 es baja a comparación del valor de impedancia de entrada del amplificador (numeral 6.2.2.6).

Vabierto [V]	Vcerrado [V]	RL [Ω]	Zout [Ω]
2.36	6.67E-2	1000	35667

Tabla 11. Impedancia de salida sensor de humedad.

6.2.2 Etapa de Amplificación

6.2.2.1 Ganancia

A continuación, se presentan en la Tabla 12 los datos obtenidos.

Vin[V]	Vout[V]	Ganancia[]	Vin[V]	Vout[V]	Ganancia[]
0,015	0,018	1,187	2,006	2,370	1,181
0,036	0,042	1,188	2,506	2,961	1,182
0,045	0,054	1,189	3,006	3,552	1,182
0,066	0,078	1,182	3,506	4,143	1,182
0,074	0,088	1,189	3,606	4,261	1,182
0,085	0,100	1,176	3,706	4,380	1,182
0,106	0,125	1,184	3,756	4,439	1,182
0,205	0,243	1,185	3,801	4,499	1,184
0,305	0,360	1,180	4,005	4,637	1,158
0,405	0,479	1,183	4,206	4,634	1,102
0,505	0,597	1,182	4,306	4,637	1,077
1,006	1,189	1,182	4,406	4,636	1,052
1,506	1,780	1,182	4,506	4,636	1,029
			4,606	4,636	1,007

Tabla 12. Ganancia amplificador Humedad

En la Figura 43, se puede observar la pendiente de la línea de tendencia de las medidas mostradas anteriormente corroborando la ganancia definida para la amplificación del sensor de temperatura. Los datos de la Tabla 14 que se encuentran resaltados no se graficaron debido a que se analizarán en el siguiente numeral.

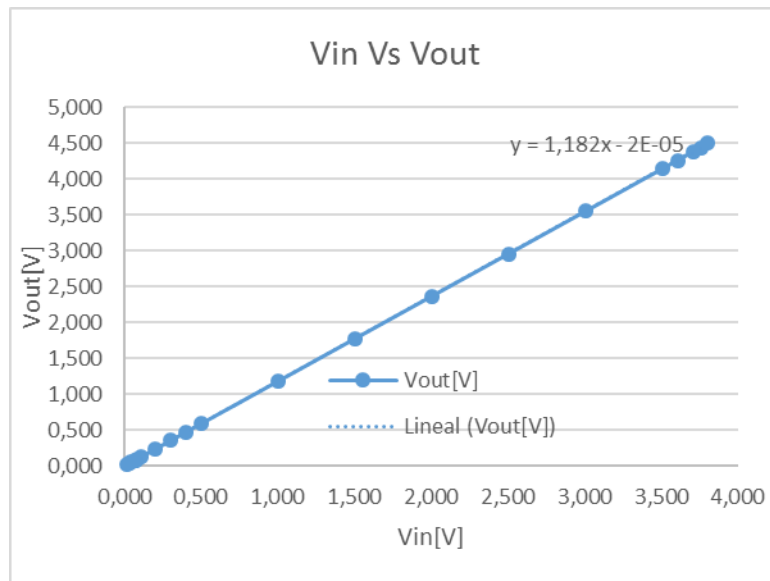


Figura 43. Ganancia sensor de humedad

6.2.2.1.1 Ganancia máxima y zona no lineal

De los datos previamente presentados, se encuentra que cuando se supera el voltaje definido como máxima ganancia el transistor pierde su comportamiento lineal, como se puede observar en la Figura 44, la cual grafica los datos mostrados en la Tabla 13.

Vin[V]	Vout[V]
3,706	4,380
3,756	4,439
3,801	4,499
4,005	4,637
4,206	4,634
4,306	4,637
4,406	4,636
4,506	4,636
4,606	4,636

Tabla 13. Ganancia para momento lineal y no lineal de humedad.

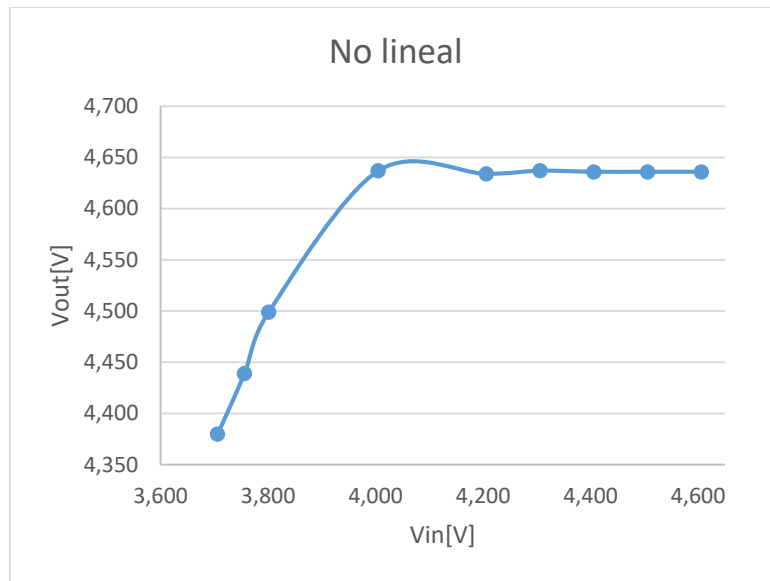


Figura 44. No linealidad.

6.2.2.2 Factor de rechazo a fuente de alimentación (PSRR)

En la Tabla 14 mostrada a continuación, se puede ver cómo la variación en la polarización del amplificador no modifica el comportamiento del circuito de manera relevante.

G []	VIN[V]	VOUT [V]	V+ [V]	PSRR [dB]	PSRR [V]
1,18	3,805	4,507	5,007	-	-
	3,805	4,504	5,106	31,807	0,025
	3,805	4,503	4,916	28,577	0,037

Tabla 14. Medida PSRR Humedad

6.2.2.3 Análisis de distorsión

En la Tabla 15, mostrada a continuación, se presentan los porcentajes de distorsión del circuito a diferentes niveles de entrada.

Entrada [%]	Amplitud [Vp]	Distorsión [%]	Analizador de distorsión
25%	0,95	0,016	




50%	1,90	0,008	
75%	2,85	0,008	
100%	3,80	0,010	

Tabla 15. Mediciones de distorsión Humedad

Como se puede observar anteriormente, la configuración del amplificador del sensor de humedad presenta una distorsión baja.

6.2.2.4 Piso de ruido

A continuación en la Figura 45, se presentan las gráficas del piso de ruido obtenidas de los datos importados y procesados en *Matlab*. Como se puede evidenciar, el nivel de ruido es menor al voltaje correspondiente a la resolución de 0.5 %RH de 17.76 mV, indicando de esa forma que la resolución del dispositivo no se ve afectada por el ruido.

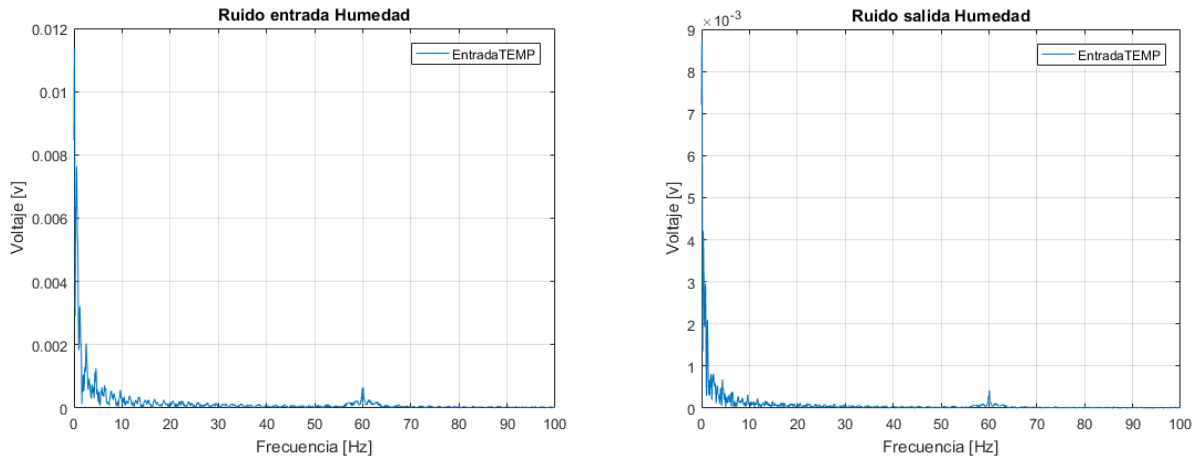


Figura 45. Piso de ruido del amplificador de Humedad

6.2.2.5 Potencia

A continuación, se presenta la Tabla 16 correspondiente a la potencia consumida por el TLC2272 (amplificador-filtro). Las medidas corresponden al voltaje de polarización tanto positivo como negativo.

Voltaje [V]	Corriente [I]	Potencia [W]	
5,007	2,52E-03	1,26E-02	12,6mW
-4,987	2,07E-03	-1,03E-02	10,3mW
Total			22,9mW

Tabla 16. Potencia amplificador-filtro Humedad

6.2.2.6 Impedancia de entrada

A continuación en la Tabla 17, se muestran los resultados correspondientes a la medición de la impedancia de entrada del amplificador. V1 y V2 representan los voltajes medidos antes y después de la resistencia R la cual ayuda a medir dicha impedancia. Como se puede ver, este valor de impedancia de entrada es mucho mayor a la impedancia de salida del sensor de humedad.

R [Ω]	V1 [V]	V2 [V]	I [A]	Z [Ω]
9950	1,008	1,007	1,00503E-07	10019650

Tabla 17. Impedancia de entrada amplificador Humedad.

6.2.2.7 Impedancia de salida

La Tabla 18 presenta los valores obtenidos para calcular la impedancia de salida del amplificador.

Vabierto [V]	Vcerrado [V]	RL [Ω]	Zout [Ω]
1,1935	1,1923	510	0,513

Tabla 18. Impedancia de salida amplificador Humedad.

6.3 Amplificador

6.3.1 Ganancia en modo común (CMRR)

A continuación, se presentan en la Tabla 19 y Tabla 20 la ganancia diferencial y en modo común respectivamente medido del amplificador TLC2272

Ganancia Diferencial		
Vout [V]	Vin [V]	Ad []

8,63	0,89	9,69
------	------	-------------

Tabla 19. Ganancia diferencial

Ganancia en Modo Común		
Vout [V]	Vin [V]	Acm []

0,0019	0,89	2,13 E-3
--------	------	----------

Tabla 20. Ganancia en modo común

$$CMRR = 73.14 \text{ dB}$$

De los datos amostrados en las tablas se calcula el CMRR experimental del amplificador, el cual tiene un valor cercano al brindado por el *datasheet* de 80 dB

6.3.2 Análisis en frecuencia

A continuación, en la Tabla 21, se muestran los valores obtenidos del barrido de frecuencia realizado al amplificador.

RESPUESTA FRECUENCIA, Vin=2,09 Vpp	
Frecuencia [Hz]	Vout [Vpp]
1,E+00	2,11
1,E+01	2,08
2,E+01	2,08
3,E+01	2,08
4,E+01	2,08
5,E+01	2,08
6,E+01	2,08

7,E+01	2,08
8,E+01	2,08
9,E+01	2,08
1,E+02	2,08
1,E+03	2,08
1,E+04	2,25
1,E+05	2,25
1,E+06	1,04
1,E+07	0,19
3,E+07	0,43

Tabla 21. Respuesta en frecuencia del filtro

Los datos anteriores se muestran en la Figura 46, donde se puede comprobar que la respuesta en frecuencia del amplificador corresponde a la presentada por el *datasheet* en la figura 19 [26].

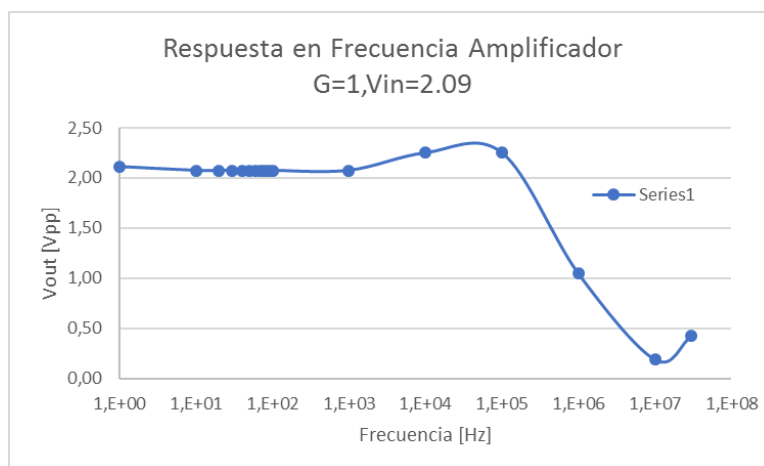


Figura 46. Respuesta en frecuencia del filtro.

6.4 Filtro

6.4.1 Análisis en frecuencia

En la Figura 47 se presenta el comportamiento del filtro en la señal de color amarillo ante una rampa de frecuencia en la señal de color verde. Se puede verificar que el filtro es un pasa-bajo pues permite el paso de frecuencias muy bajas debido a que la señal de interés del dispositivo son niveles de DC.

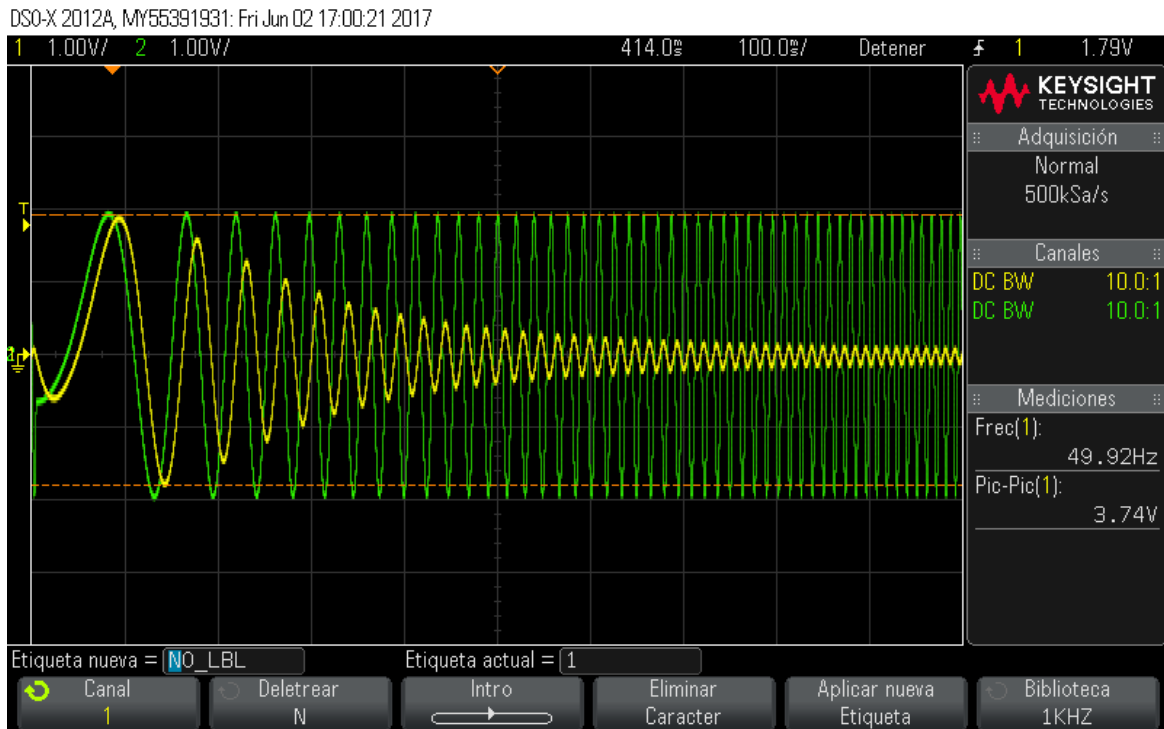


Figura 47. Respuesta en frecuencia del filtro.

6.4.2 Factor de rechazo a fuente de alimentación (PSRR)

En la Tabla 22 mostrada a continuación, se puede ver cómo la variación en la polarización del filtro no modifica el comportamiento de este de manera relevante.

G []	VIN [V]	VOU [V]	V+ [V]	PSRR [dB]	PSRR [V]
0,89	1,008	0,897	5,007	-	-
	1,008	0,899	5,106	32,879	0,022
	1,008	0,896	4,916	38,168	0,012

Tabla 22. Resultados PSRR

6.4.3 Impedancia de entrada

A continuación en la Tabla 23, se muestran los resultados correspondientes a la medición de la impedancia de entrada del filtro. V1 y V2 representan los voltajes medidos antes y después de la resistencia R la cual ayuda a medir dicha impedancia. Como se puede ver, este valor de impedancia de entrada es mucho mayor a la impedancia de salida del amplificador.

R [Ω]	V1 [V]	V2 [V]	I [A]	Z [Ω]
9950	1,008	1,007	1,00503E-07	10019650

Tabla 23. Impedancia de entrada del filtro

6.4.4 Impedancia de salida

La Tabla 24 presenta los valores obtenidos para calcular la impedancia de salida del amplificador.

Vabierto [V]	Vcerrado [V]	RL [Ω]	Zout [Ω]
1,0086	1,0083	510	0,152

Tabla 24. Impedancia de salida del filtro

6.5 Conmutación

A continuación en la Figura 48, se observa en la señal verde que el optoacoplador ha conmutado, por lo tanto, se observan los 5 voltios dados por el L78S05 que alimentan al circuito; cuando el optoacoplador se encuentra apagado este voltaje es aproximadamente cero. En la señal amarilla se ve el voltaje entregado por el pin 3V3 del Nodemcu el cual es la señal que enciende el optoacoplador.

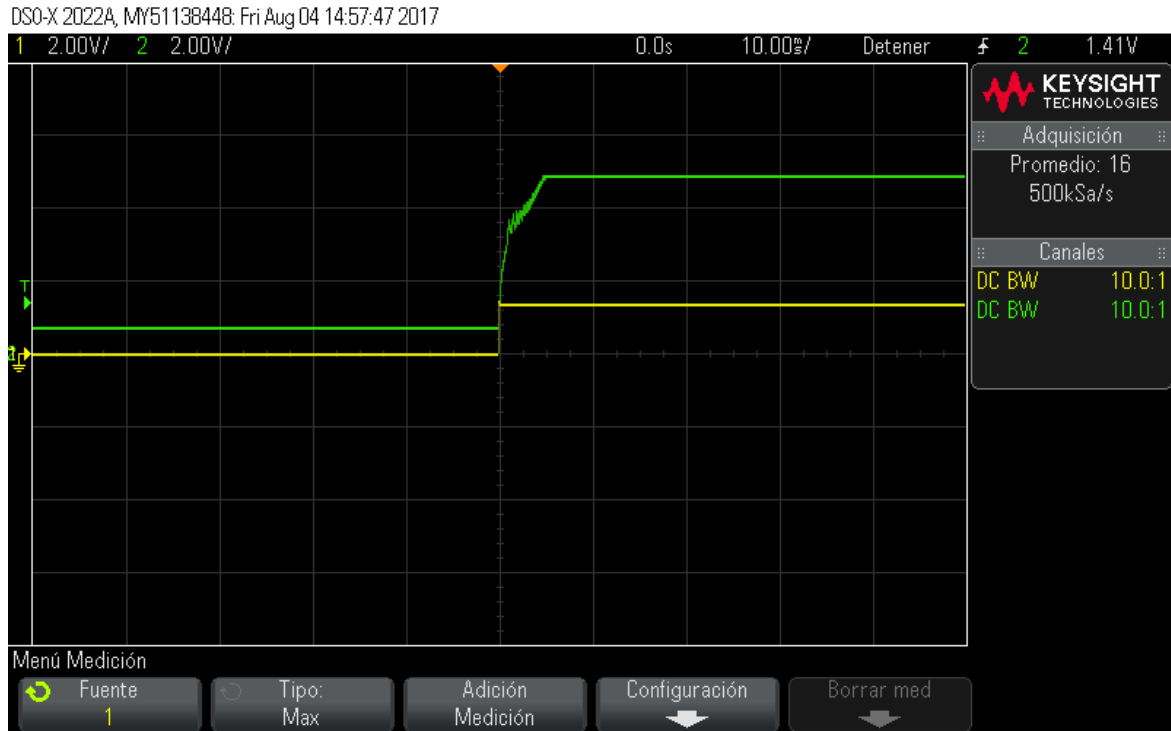


Figura 48. Conmutación.

6.6 Disipador

Midiendo la corriente que consume el extractor (ver anexo 8), se procede a verificar si es necesario utilizar un disipador para el TIP142. Teniendo en cuenta el *datasheet* del TIP142 (ver Anexo 2). Se sabe que la resistencia correspondiente a juntura-ambiente $\theta_{ja} = 35.7 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Sabiendo que la corriente del colector es en promedio $I_c = 0.8267$ (ver Tabla 25) y con un voltaje de polarización de 12 V se calcula la potencia.

Promedio	0,82672 A
Desviación	0,00383

Tabla 25. Corriente a la entrada del extractor.

$$P = (0.826) * (12) = 9.920 \approx 10W \quad (8)$$

Conociendo la potencia y la resistencia juntura ambiente se calcula la temperatura máxima que alcanzaría el transistor sin un disipador (si se sabe que la temperatura máxima que soporta el transistor es de 150°C).

$$T_{jam\acute{a}x} = 35.7^\circ\text{C} * 10 W = 357^\circ\text{C} \quad (9)$$

Por lo tanto, este valor supera la temperatura que puede soportar el transistor por lo tanto se procede a calcular el disipador necesario.

Asumiendo la máxima temperatura de operación del TIP en la juntura como 100°C se aplica la siguiente fórmula

$$\theta_{m\acute{a}x} = \frac{100^\circ\text{C}}{10 W} = 10 \frac{^\circ\text{C}}{W} \quad (10)$$

Sabiendo esto se tiene que el valor de la resistencia térmica del disipador debe ser menor a $10 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$.

6.7 Comunicación Wifi

6.7.1 Envío de datos

Como se puede observar en la Figura 49 a continuación, se encuentra que el servidor Ubidots acepta correctamente la solicitud *http* permitiendo que los datos sean almacenados en una base. En la Figura 50, se muestra la correcta recepción y muestreo de estos datos en la aplicación móvil.

```
Posting your variables:  
POST /api/v1.6/collections/values/?force=true HTTP/1.1  
Host: things.ubidots.com  
User-Agent: UbidotsESP8266/1.1  
X-Auth-Token: w0Ent7UteFQIxJea0oKlVWXTgYlAeq  
Connection: close  
Content-Type: application/json  
Content-Length: 177  
  
[{"variable": "591cee3d762542581bb98deb", "value": 72.0000}, {"variable": "591cb5647625427d93d1d706", "value": 48.0000}, {"variable": "591cb5647625427d93d1d707", "value": 77.0000}]
```

Figura 49. Respuesta Ubidots.

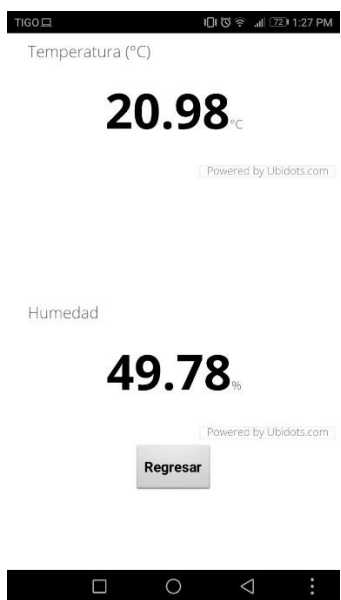
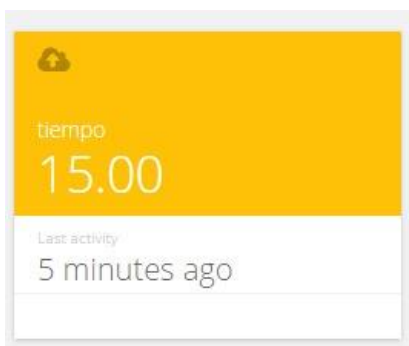


Figura 50. Verificación envío de datos.

6.7.2 Recepción de datos

A continuación, en la Figura 51, se muestra el valor de la variable enviada a través de la aplicación y así mismo la recepción de esta en Ubidots la cual es almacenada en una nueva variable.




```

Getting your variable:
15
Posting your variables:
POST /api/v1.6/collections/values/?force=true HTTP/1.1
Host: things.ubidots.com
User-Agent:UbidotsESP8266/1.1
X-Auth-Token: woEnt7UTeFQIxJea0oKlVWXtgY1Aeq
Connection: close
Content-Type: application/json
Content-Length: 176

```

Figura 51. Verificación recepción de datos.

6.8 Control humedad (Extractor)

Como se puede observar en la Figura 52, la señal amarilla se activa cuando se tiene un porcentaje de humedad mayor al registrado por el usuario, lo cual hace que el extractor se prenda. Esta señal verde se observa en el colector del TIP142, por lo tanto, cuando el extractor está apagado en este punto van a ver 12 V (Polarización) y cuando el extractor se enciende en este punto se tienen cero voltios aproximadamente.

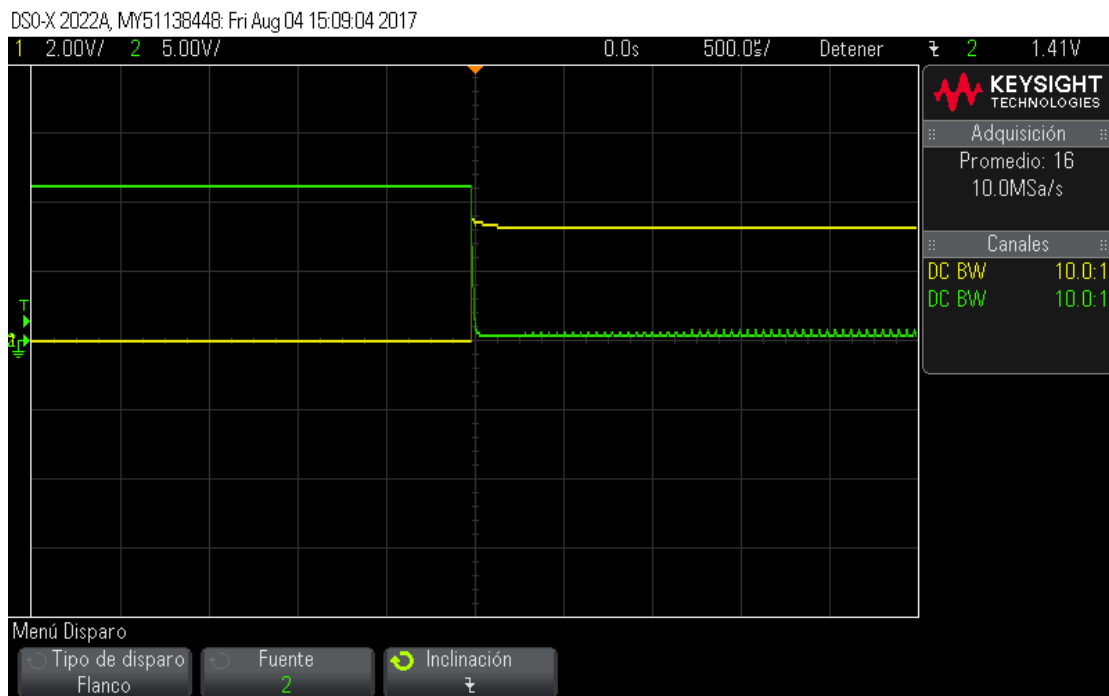


Figura 52. Funcionamiento extractor.

6.9 Comprobación funcionamiento DEA

A continuación en esta sección se presentan datos y gráficas correspondientes a los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas para comprobar el correcto funcionamiento del dispositivo DEA.

6.9.1 Temperatura

Las pruebas de temperatura se realizaron en dos ciclos o etapas diferentes. La primera: “Ascendente”, en donde se hizo el registro de dato desde el menor valor de temperatura, al mayor y la segunda: “Descendente”, en donde se realizó la obtención de datos de manera inversa. A continuación se ahonda más sobre estos dos ciclos.

6.9.1.1 Ascendente

Para esta prueba, se compararon los valores de la cámara con los datos que se iban registrando en el dispositivo, estos valores se obtuvieron a partir de Ubidots y los de la cámara fueron los que se fijaron en los segmentos que se iba a medir, es decir, los que quedaron previamente programados en la incubadora. Se realizó un promedio de once valores alrededor de los datos de interés, es decir, los programados en un principio, cuando se lograba una estabilidad en cada uno de estos valores. Posteriormente se halló una diferencia porcentual entre los valores de la incubadora y el promedio de DEA y se obtuvo la desviación estándar entre los datos promedio registrado por DEA, ver Tabla 26.

Nota: Para más detalles sobre estos datos obtenidos dirigirse a la carpeta anexos en el archivo "Pruebas Temp unión".

HWS-70B [°C]	Promedio DEA [°C]	Diferencia %	Desviación estándar
28	28,14	0,51%	0,105
28,2	28,25	0,18%	0,181
28,4	28,41	0,05%	0,109
28,6	28,65	0,18%	0,033
28,8	28,84	0,15%	0,110
29	29,25	0,84%	0,195
29,2	29,30	0,34%	0,092
29,4	29,35	0,16%	0,177
29,6	29,64	0,13%	0,090
29,8	29,82	0,06%	0,105
30	30,14	0,46%	0,253
32,5	32,54	0,13%	0,105
35	35,08	0,22%	0,166
37,5	37,53	0,08%	0,269
40	40,23	0,57%	0,269
42,5	42,99	1,14%	0,196
45	45,51	1,11%	0,190
47,5	47,81	0,66%	0,185
50	50,67	1,32%	0,273
52,5	53,02	0,98%	0,221
55	55,73	1,30%	0,247
57,5	58,40	1,53%	0,250
60	60,93	1,53%	0,196

Tabla 26. Datos temperatura ascendente

La Figura 53 corresponde a los valores de la incubadora y el promedio de DEA mostrados anteriormente en la Tabla 26.

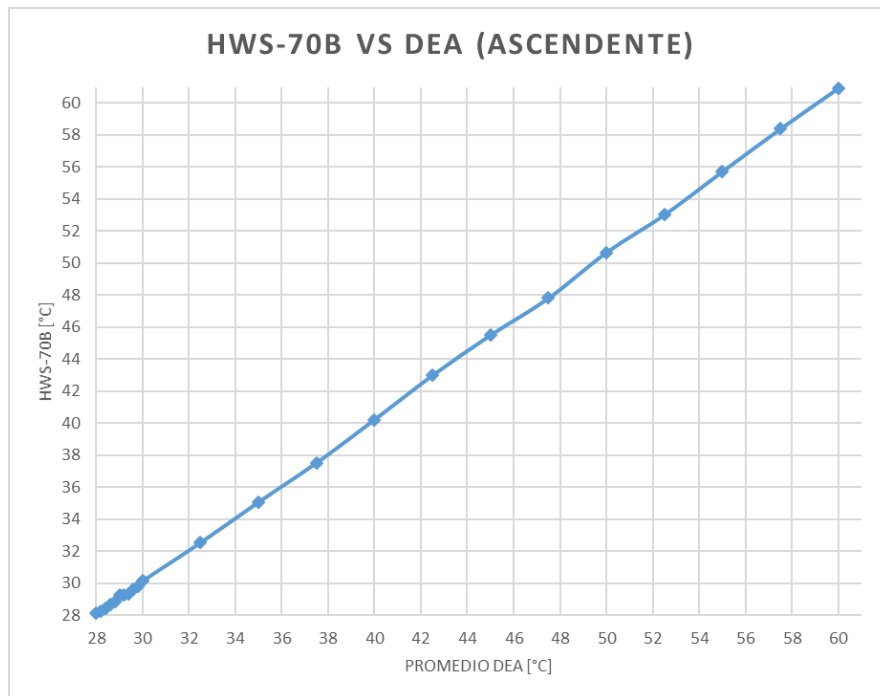


Figura 53. Temperatura ascendente

6.9.1.2 Descendente

En esta ocasión se llevó a cabo el mismo procedimiento descrito anteriormente para la prueba “Ascendente” pero esta vez tomando los datos desde una temperatura mayor a una menor. Los datos obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 27 y la Figura 54.

Nota: Para más detalles sobre estos datos obtenidos dirigirse a la carpeta anexos en el archivo “Pruebas TEMP unión”.

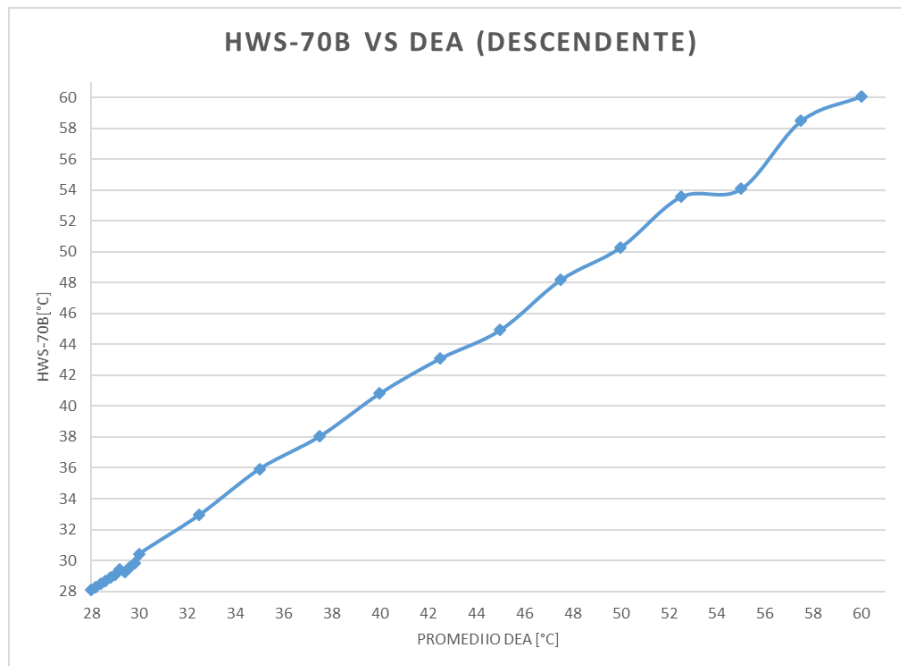


Figura 54. Temperatura descendente

HWS-70B [°C]	Promedio DEA [°C]	Diferencia %	Desviación Estándar
60	60,08	0,14%	0,26
57,5	58,49	1,69%	0,02
55	54,07	1,72%	2,19
52,5	53,56	2,07%	0,22
50	50,28	0,56%	0,20
47,5	48,17	1,40%	0,31
45	44,93	0,17%	0,17
42,5	43,08	1,34%	0,30
40	40,83	2,04%	0,29
37,5	38,05	1,45%	0,38
35	35,94	2,60%	0,33
32,5	32,96	1,39%	0,23
30	30,43	1,42%	0,16
29,8	29,84	0,14%	0,15
29,6	29,57	0,10%	0,20
29,4	29,27	0,46%	0,20
29,2	29,40	0,68%	0,21
29	29,08	0,26%	0,21
28,8	28,88	0,29%	0,22
28,6	28,68	0,29%	0,19
28,4	28,50	0,36%	0,19
28,2	28,27	0,24%	0,19
28	28,09	0,32%	0,19

Tabla 27. Temperatura descendente

6.9.1.3 Histéresis

En la Figura 55, se observa la comparación de los procesos descritos anteriormente: “Ascendente y Descendente”, es decir, cuando hay una subida y bajada de temperatura y estos son registrados tanto por el dispositivo DEA como por la incubadora. Se observa que ambos sensores funcionan de manera lineal y tienen registros de valores muy cercanos entre ellos tanto en subida como en bajada, lo que asegura el correcto funcionamiento del dispositivo.

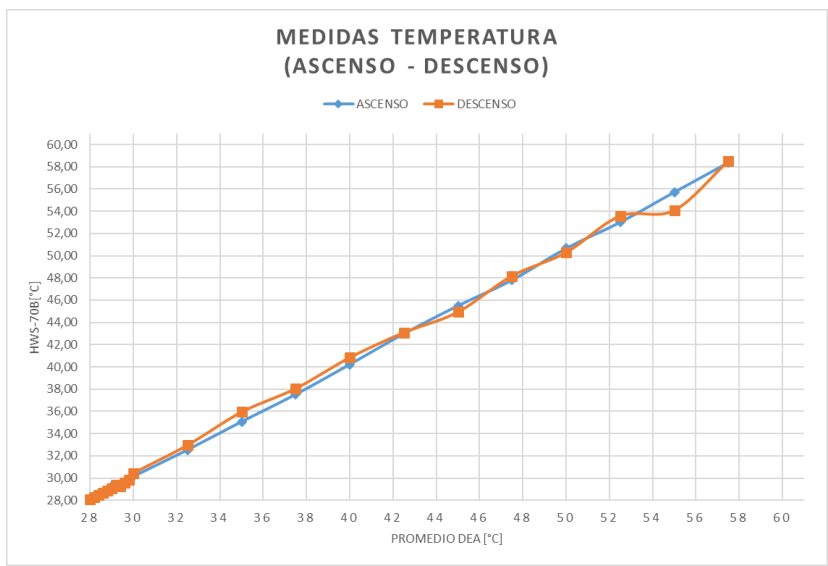


Figura 55. Histéresis de temperatura

6.9.1.4 Temperatura baja

Se realizó el procedimiento descrito previamente en la sección 5.8.1.1 en donde en la Tabla 28 se presenta el promedio de los valores tomados durante las tres pruebas realizadas para bajas temperaturas y en la Figura 56 se muestran estos datos observando la cercanía de los valores registrados tanto por el dispositivo DEA como por el sensor auxiliar DHT22.

EXPERIMENTO	DEA [°C]	DHT22 °C]
1	1,7	1,7
2	7,2	7,4
3	21,3	21,4

Tabla 28. Temperatura baja

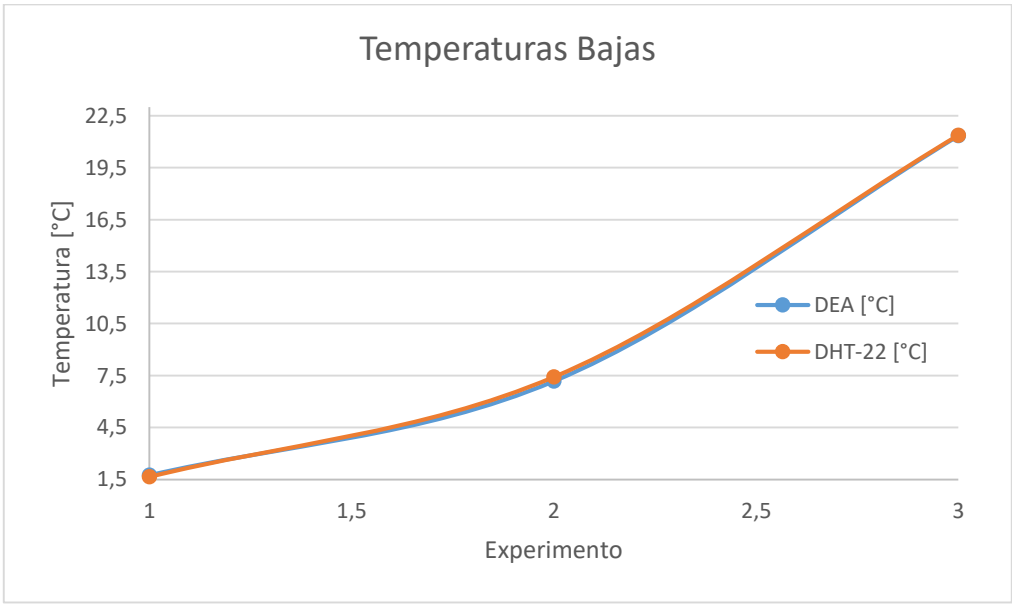


Figura 56. Temperaturas bajas.

6.9.2 Humedad

Las pruebas de humedad se realizaron en dos ciclos o etapas diferentes al igual que las pruebas de temperatura. La primera: “Ascendente”, en donde se hizo el registro de dato desde el menor valor de humedad, al mayor y la segunda: “Descendente”, en donde se realizó la obtención de datos de manera inversa. A continuación se ahonda más sobre estos dos ciclos.

6.9.2.1 Ascendente

Para esta prueba, se compararon los valores de la cámara con los valores que se iban registrando en el dispositivo, estos valores se obtuvieron a partir de Ubidots y los de la cámara fueron los que se fijaron en los segmentos que se iba a medir, es decir, los que quedaron previamente programados en la incubadora. Se realizó un promedio alrededor de los valores de interés, es decir, los programados en un principio, cuando se lograba una estabilidad en cada uno de estos valores. Posteriormente se halló una diferencia porcentual entre los valores de la incubadora y el promedio de DEA y se obtuvo la desviación estándar entre los datos promedio registrado por DEA, ver Tabla 29.

Nota: Para más detalles sobre estos datos obtenidos dirigirse a la carpeta anexos en el archivo “Pruebas HUM unión”.

HWS-70B [%RH]	Promedio DEA [%RH]	Diferencia %	Desviación Estándar
45	48,77	7,73%	1,40
46	49,87	7,76%	2,07
47	50,56	7,04%	2,30
48	52,10	7,87%	2,23
49	55,02	10,94%	0,89
50	56,34	11,26%	0,55
51	57,13	10,72%	0,47
52	57,84	10,10%	0,16
53	58,00	8,61%	0,10
54	58,16	7,15%	0,15
55	59,82	8,06%	0,97
56	61,21	8,51%	0,39
57	61,79	7,74%	0,34
58	62,54	7,26%	0,17
59	64,12	7,99%	0,62
60	64,57	7,08%	0,52
63	68,23	7,67%	0,52
66	70,13	5,89%	0,05
69	71,13	3,00%	0,16
72	72,51	0,70%	0,40
75	75,62	0,81%	0,13
78	80,49	3,10%	4,22
81	89,19	9,18%	3,64
84	90,30	6,98%	3,83
87	91,36	4,77%	3,95
90	92,51	2,71%	3,76

Tabla 29. Humedad ascendente.

La Figura 57 corresponde a los valores de la incubadora y el promedio de DEA, mostrados anteriormente en la Tabla 29.

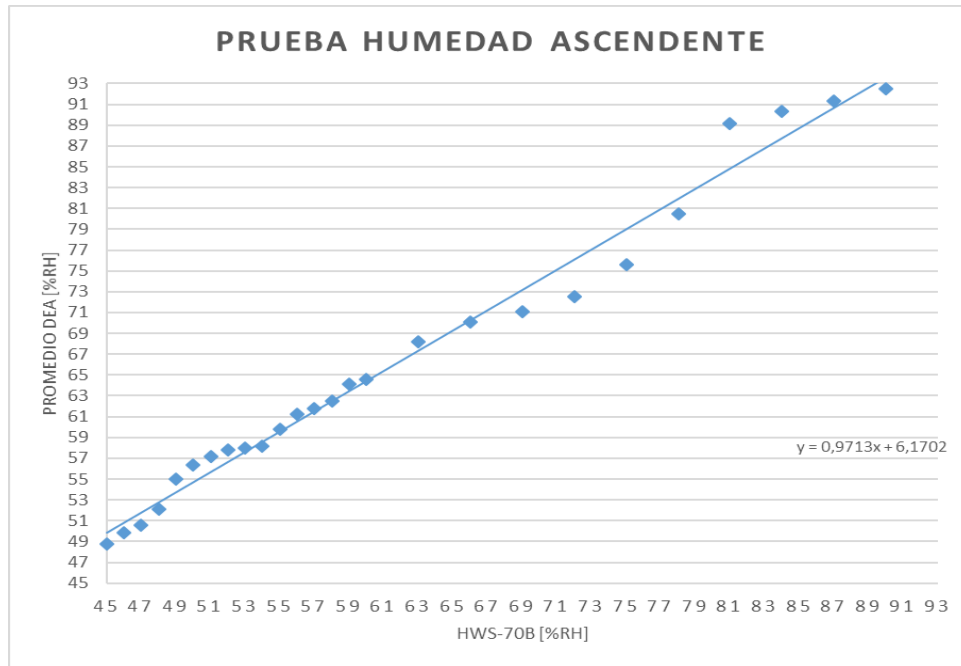


Figura 57. Prueba humedad ascendente.

6.9.2.2 Descendente

En esta ocasión se llevó a cabo el mismo procedimiento descrito anteriormente para la prueba “Ascendente” pero esta vez tomando los datos desde una humedad mayor a una menor. Los datos obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 30 y la Figura 58.

Nota: Para más detalles sobre estos datos obtenidos dirigirse a la carpeta anexos en el archivo “Pruebas HUM unión”.

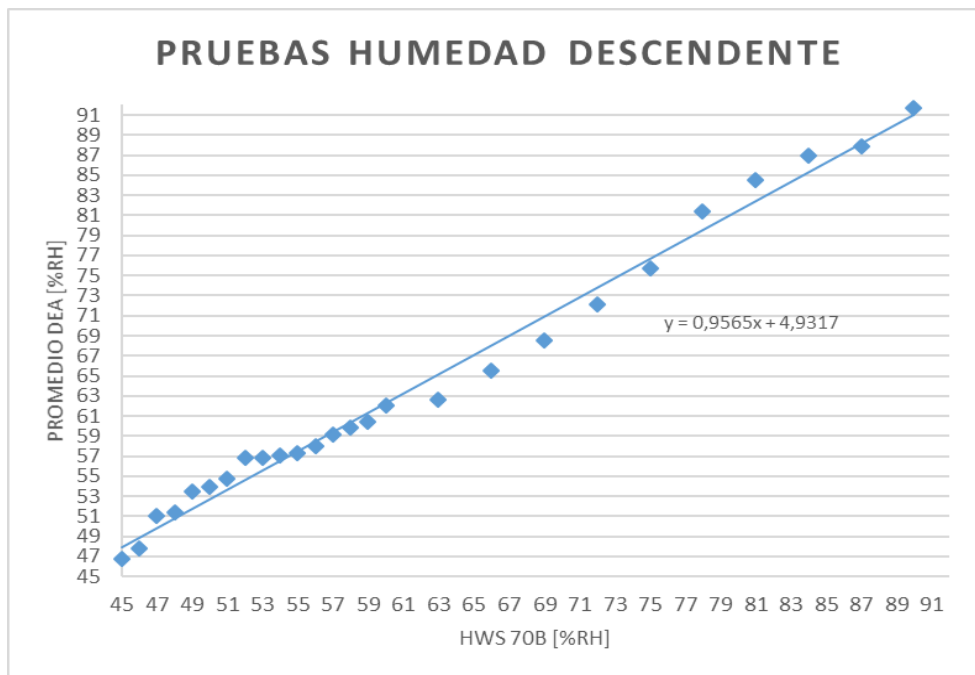


Figura 58. Prueba humedad descendente.

HWS-70B [%RH]	PROMEDIO DEA [%RH]	Diferencia %	Desviación Estándar
90	91,70	1,85%	1,88
87	87,87	0,99%	0,44
84	86,91	3,35%	0,79
81	84,49	4,13%	1,33
78	81,36	4,13%	1,93
75	75,75	0,99%	1,30
72	72,16	0,23%	1,68
69	68,48	0,76%	1,83
66	65,47	0,80%	1,29
63	62,59	0,66%	0,91
60	62,04	3,29%	1,08
59	60,46	2,41%	0,68
58	59,79	3,00%	0,09
57	59,20	3,72%	0,43
56	58,00	3,45%	0,47
55	57,29	4,00%	0,20
54	57,03	5,31%	0,16
53	56,88	6,81%	0,09
52	56,79	8,43%	0,39
51	54,70	6,76%	0,14
50	53,98	7,38%	1,90
49	53,53	8,46%	0,55
48	51,38	6,58%	0,87
47	51,01	7,86%	0,96
46	47,86	3,88%	0,94
45	46,72	3,68%	1,49

Tabla 30. Humedad Descendente.

6.9.2.3 *Histéresis*

En la Figura 59, se observa la comparación de los procesos descritos anteriormente: “Ascendente y Descendente”, es decir, cuando hay una subida y bajada de humedad y estos son registrados tanto por el dispositivo DEA como por la incubadora. Se observa una proximidad entre los valores registrados por ambos dispositivos tanto en subida como en bajada, lo que asegura el correcto funcionamiento del dispositivo teniendo en cuenta los errores de cada uno.

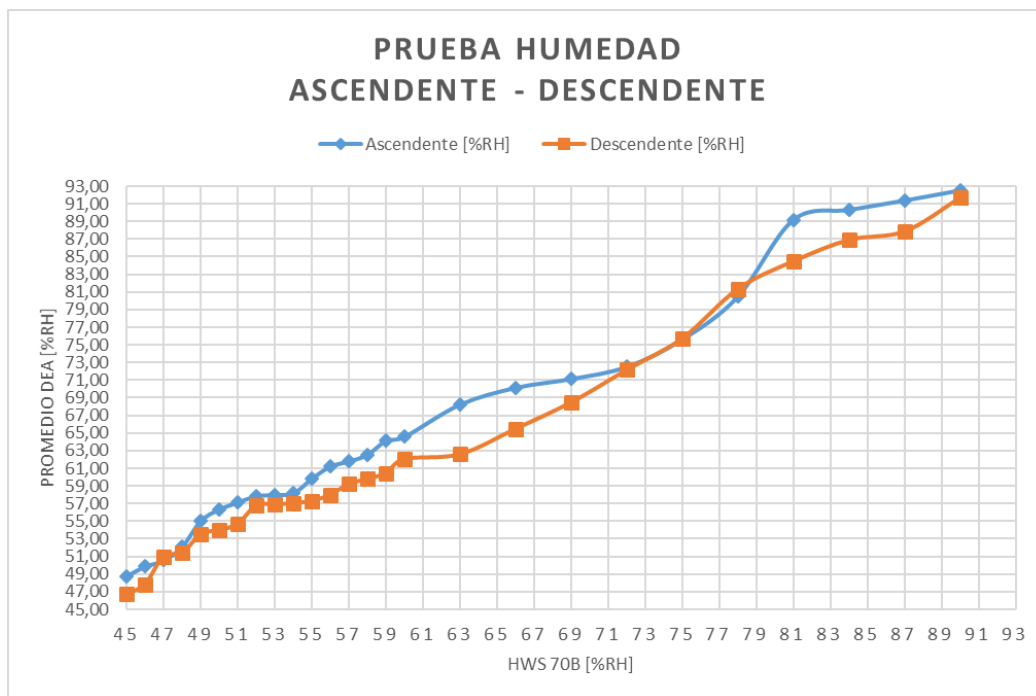


Figura 59. Prueba humedad ascendente – descendente.

6.10 Comprobación resolución

Los resultados de las pruebas que se muestran a continuación se realizaron utilizando como patrón de comparación el sensor DHT22 el cual cuenta con una resolución más baja que los sensores empleados en el dispositivo DEA, pudiendo realizar así la correcta comprobación. A continuación en las Figuras 60 y 61 se muestran los resultados obtenidos para temperatura y humedad.

6.10.1 Temperatura

Para asegurar el cumplimiento de la resolución del dispositivo DEA, se realizaron cambios de 0.2 °C en la incubadora, observando la respuesta del sensor de temperatura empleado en el dispositivo. En la Figura 60 se pueden ver las respuestas de estos dos dispositivos realizando cambios de esta dimensión viendo el cumplimiento de la resolución para este sensor debido a la proximidad de la respuesta de ambos dispositivos.

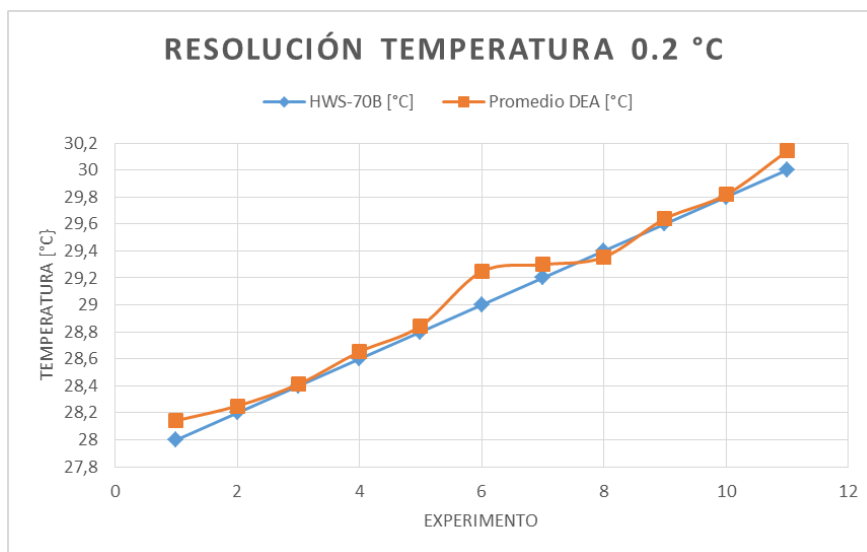


Figura 60. Resolución Temperatura.

6.10.2 Humedad

En el caso del sensor de humedad del dispositivo DEA, se realizó la respectiva comprobación con respecto al sensor de referencia DHT22. Este segundo presenta una variación de aproximadamente 0.5 % RH cuando el dispositivo registra un mismo cambio de 0.5 % RH durante el mismo rango de tiempo lo cual es mostrado a continuación en la Figura 61. En la Figura 62 se muestra la diferencia entre los valores promediados y los entregados por el sensor DHT22 para facilitar el análisis y la comprobación de la resolución que como se puede ver entre la parte superior e inferior de la gráfica es menor o igual al 0.5 % RH.

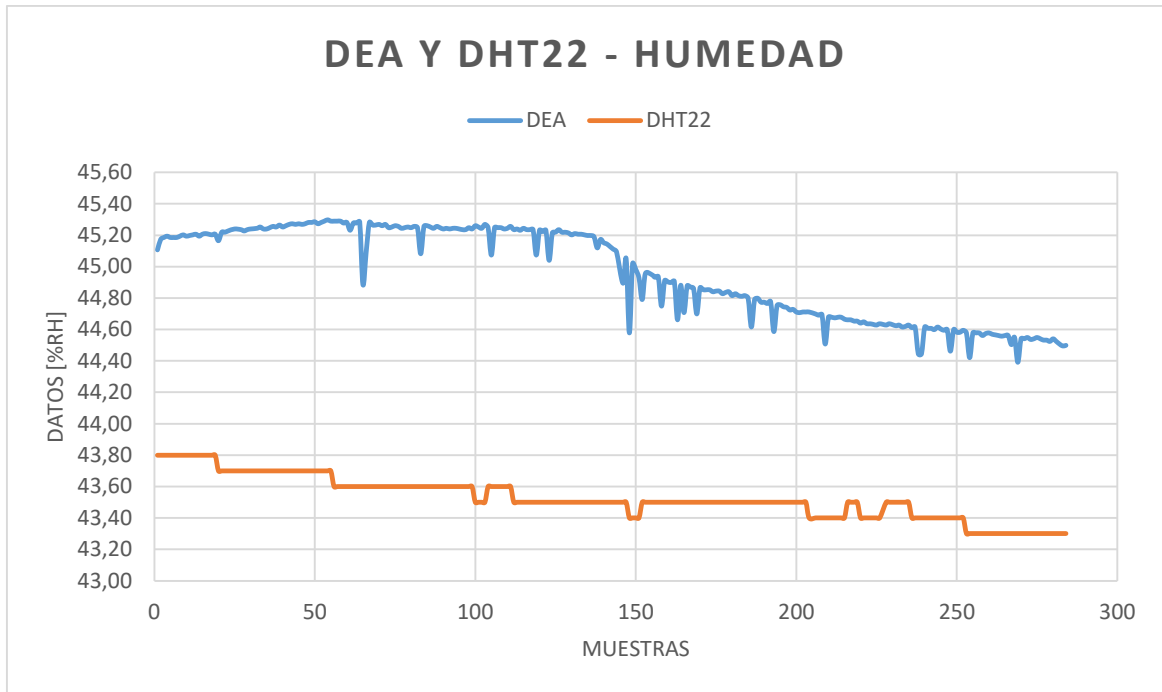


Figura 61. Resolución humedad.

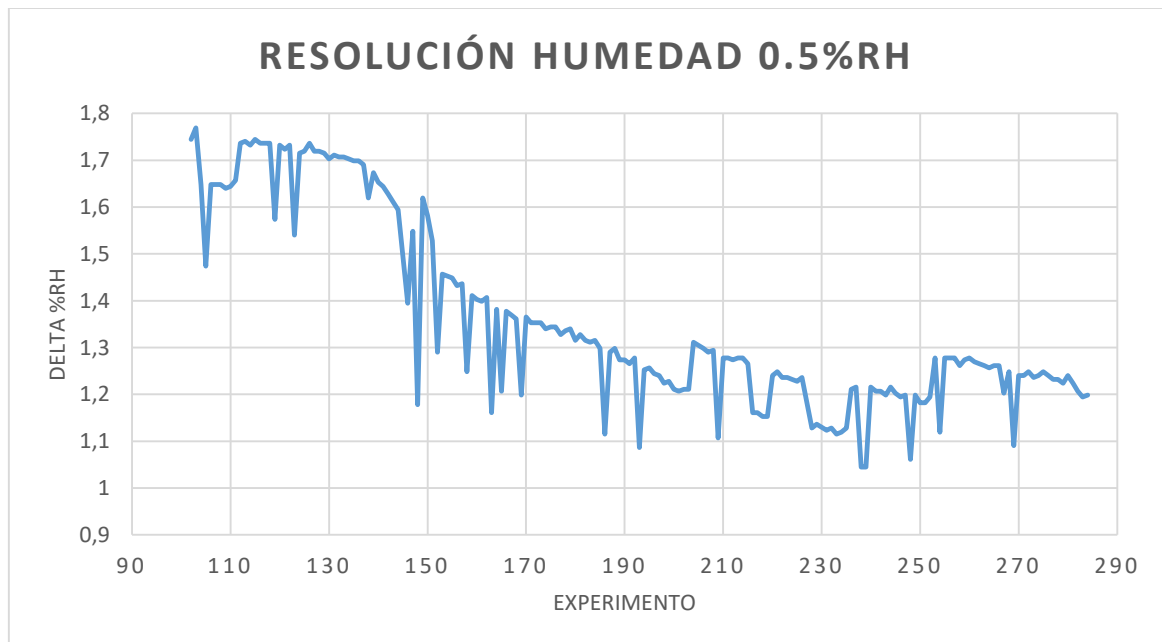


Figura 62. Delta Vs experimento.

7 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se cumplió el diseño esperado del dispositivo; se pudo comprobar la resolución de los sensores corroborando las mediciones del dispositivo DEA con otros dispositivos como la incubadora ambiental y el DHT22 ya que estos cuentan con una mayor resolución.

Se cumplieron las especificaciones de diseño requeridas para las etapas de adaptación, amplificación, filtrado, conversión analógica-digital, procesamiento y transmisión para cada uno de los sensores.

Para el desarrollo de dispositivos y aplicaciones de IoT es indispensable que en el proceso de selección del microprocesador se tenga en cuenta la forma en la que el dispositivo vaya a estar conectado a la nube; del mismo modo, es importante que el servidor a escoger permita en sus firewalls el acceso a dispositivos dedicados a IoT y a demás que tenga herramientas apropiadas para visualización de los resultados.

Para la solución planteada en este trabajo de grado, el controlador ON-OFF implementado resulta ser adecuado, debido a que por los requerimientos del sistema no es necesario la implementación de un controlador más robusto. Se evidenció en el ambiente cerrado en el que se realizaron las pruebas que el actuador utilizado es capaz de regular la humedad relativa del ambiente.

Se pudieron validar las etapas de diseño para el dispositivo y el funcionamiento del mismo gracias a la elaboración y ejecución de protocolos de pruebas. Estos buscaban verificar las especificaciones y caracterizar el comportamiento del dispositivo DEA.

Inicialmente se implementó un relé como mecanismo de conmutación para el dispositivo; sin embargo, este requería un alto consumo energético debido a que es un dispositivo electro-mecánico introduce ruido al circuito; razón por la cual se optó por el uso de un optoacoplador, cuyo principio de funcionamiento es parecido al del relé, pero su consumo energético se disminuye y cumple requerimientos del dispositivo

La implementación de una plataforma IoT en el trabajo de grado, da un valor agregado al dispositivo. El hecho de tener acceso a la información suministrada por el dispositivo DEA en cualquier lugar que cuente con conexión a internet y tener la posibilidad de controlar el actuador es una gran ventaja y herramienta futurista.

Se propone el diseño de un sistema propio de adaptación de la línea al voltaje de polarización del dispositivo (12 V); de igual manera, el diseño de una base de datos personal sin la dependencia de servidores de terceros.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] “La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud”, P. Manuel, O. Francisca, A. Mireya, 2006. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. [En línea]. Disponible: http://www.bvs.sld.cu/revistas/hie/vol44_2_06/hie08206.htm#cargo. [Consultado: 01-05-2017].
- [2] "Tratamiento de COV, emisiones de compuestos orgánicos volátiles", Condorchem Envitech: Ingeniería ambiental para el sector industrial, 2009. [En línea]. Disponible: <http://blog.condorchem.com/depuracion-de-emisiones-cov/>. [Consultado: 21-Ago-2016].
- [3] "Emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades", Eusko Jaurlaritza – Gobierno Vasco, 2012. [En línea]. Disponible: http://www.habe.euskadi.eus/s23-4728/es/contenidos/faq/cov/es_faq/disolventes_organicos.html. [Consultado: 21-Ago-2016]
- [4] "Resolución 6982 de 2011", N. Juan – Secretario Distrital de Ambiente, 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45334>. [Consultado: 21-Ago-2016].
- [5] "Compuestos orgánicos volátiles (COV)", ISTAS CCOO, 2010. [En línea]. Disponible: <http://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=621>. [Consultado: 21-Ago-2016].
- [6] “Diagnóstico Ambiental de Chiclana de la frontera”, Capítulo 16: calidad del aire. [En Línea]. Disponible: <http://files.chiclana.es/diag/ambiental/16%20Calidad%20del%20Aire.pdf>. [Consultado: 04-May-2017]
- [7] “Area Metropolitana,” [En línea]. Disponible: <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/ica.aspx>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [8] “Metrogas” [En línea]. Disponible: <http://www.metrogas.com.ar/consejosmonoxido/pdf/monoxido.pdf>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [9] G. O. Reyes, “Evaluación de la contaminación por monóxido de carbono en bogotá”, *Ingeniería e Investigación*, n° 2, pp. 80-84, 2011.
- [10] “concepto definicion”, 27 Junio 2015. [En línea]. Disponible: <http://conceptodefinicion.de/temperatura/>. [Consultado: 05 Mayo 2017].
- [11] Sensor de Temperatura, [En línea]. Disponible: <http://medirtemperatura.com/sensor-temperatura.php>. [Consultado: 04 Mayo 2017].
- [12] Sensor de humedad. 16 Septiembre 2014. [En línea]. Disponible: https://www.ecured.cu/Sensor_de_Humedad. [Consultado: 04 Mayo 2017].
- [13] J. Esteves y M. Biarnes, “E Instruments”, [En línea]. Disponible: <http://www.e-inst.com/voc-pid-technology/>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [14] “Hipertextual”, 20 Junio 2015. [En línea]. Disponible: <https://hipertextual.com/2015/06/internet-of-things>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [15] “Muy interesante”, [En línea]. Disponible: <http://www.muyinteresante.es/curiosidades/preguntas-respuestas/ique-es-una-red-wi-fi>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [16] M. Hernández Guevara, A. Felipe Chacón, "Diseño de un sistema de adquisición de variables de polución para una red de monitoreo de la calidad del aire", Pontificia Universidad Javeriana, 2016.
- [17] “Red de monitoreo y medición de la calidad del aire en la universidad”. Parra J., 2016. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- [18] “Texas Instrument”, Agosto 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [19] Texas Instruments, “Texas Instruments” Diciembre 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [20] Honeywell, «Honeywell,» Enero 2007. [En línea]. Disponible: <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-hih4010-4020-4021-series-product-sheets-009020-1-en.pdf>. [Último acceso: 20 Mayo 2017].
- [21] «AMS,» 27 Julio 2015. [En línea]. Disponible: <http://ams.com/eng/Products/Environmental-Sensors/Gas-Sensors/AS-MLV-P2>. [Último acceso: 15 Mayo 2017].
- [22] “Specification for LCD Module 1602A-1,”, [En línea]. Disponible: <https://www.openhacks.com/uploadsproductos/eone-1602a1.pdf>. [Consultado: 20 Mayo 2017].

- [23] Nidec American Corporation, "Nidecpg", [En línea]. Disponible: <http://www.nidecpg.com/fanpdfs/ta450dc7.pdf>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [24] Intersil, "Intersil", 2005. [En línea]. Disponible: <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/icl7/icl7660.pdf>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [25] J. Rodrigo, "PANAMAHITEK", 25 Octubre 2016. [En línea]. Disponible: <http://panamahitek.com/esp8266-y-nodemcu-la-nueva-generacion/>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [26] Texas Instruments, "Texas Instruments", Mayo 2014. [En línea]. Disponible: <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/28892/TI/TLC2272/21/1/TLC2272.html>. [Consultado: 20 Mayo 2017].
- [27] «Sparkfun,» Febrero 2003. [En línea]. Disponible: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/2N3904.pdf>. [Último acceso: 16 Mayo 2017].
- [28] "Calidad del aire interior en edificios de uso público". M Isabel, B. Virgilio, G. Almuneda. Documentos de sanidad ambiental, primera edición, página 22, 2010. [En Línea]. Disponible: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadernam e1=Content-disposition&blobheadername2=cadena&blobheadervalue1=filename%3DCalidad+del+aire+interior+n+edificios+de+uso+p%3BAblico++Comunidad+de+Madrid.pdf&blobheadervalue2=language%3 Des%26site%3DPortalSalud&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1310840216582&ss binary=true>. [Consultado: 04-May-2017]
- [29] "Servicios para webmasters", Miarroba.es, 2g017. [En línea]. Disponible: <http://miarroba.es/>. [Consultado: 20- Mayo- 2017]
- [30] <https://ubidots.com/> "IoT platform | Internet of Things | Ubidots", Ubidots.com, 2017 [En línea]. Disponible: <https://ubidots.com/>. [Consultado: 22- Mayo- 2017]
- [31] <https://thingspeak.com> "IoT Analytics - ThingSpeak", Thingspeak.com, 2017. [En línea]. Disponible: <https://thingspeak.com>. [Consultado: 22- Mayo- 2017]
- [32] "Air Quality Sensors Archives – BAPI" BAPI, 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.bapihvac.com/products/air-quality-sensors/>. [Consultado: 08-Ago-2016].
- [33] "Building value in air", PN 475407 Vari-Green® Control Indoor Air Quality–VOC, 2016. [En línea]. Disponible: http://www.greenheck.com/media/pdf/manuals/475407VOC_iom.pdf. [Consultado: 20-Mayo-2016].
- [34] «Electornilab,» [En línea]. Disponible: <https://electronilab.co/wp-content/uploads/2014/05/LM35.jpg>. [Último acceso: 27 Mayo 2017].
- [35] «Digikey,» [En línea]. Disponible: <https://media.digikey.com/Photos/Honeywell%20Photos/HH-4010-001.jpg>. [Último acceso: 1 Mayo 2017].
- [36] «Digikey,» [En línea]. Disponible: <https://media.digikey.com/Photos/AMS-Taos%20USA%20Photos/AS-MLV-P2.JPG>. [Último acceso: 20 Mayo 2017].
- [37] "20x4 White on Blue Character LCD with Backlight", Gravitech.us, 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.gravitech.us/20chblcd.html> [Consultado: 02- Jun- 2017]
- [38] «Nidec,» [En línea]. Disponible: http://www.esaitech.com/images/detailed/77/Nidec_B35502-35_TA450DC_D8794_9.6Watts_12Volts_DC_4050Rpm_0.20Amp_3-Pin_Ball_Bearing_Cooling_Fan.jpg. [Último acceso: 27 Mayo 2017].
- [39] «Nodemcu,» [En línea]. Disponible: <https://es.aliexpress.com/w/wholesale-usb-wifi-module.html>. [Último acceso: 15 Mayo 2017].
- [40] "10PCS NEW L78S05CV IC REG LDO 5V 2A TO-220 78S05 L78S05 k85 | eBay", eBay, 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.ebay.ca/itm/10PCS-NEW-L78S05CV-IC-REG-LDO-5V-2A-TO-220-78S05-L78S05-k85-/222220273632> [Consultado: 30- Mayo- 2017]
- [41] «Texas Instrument,» Abril 1997. [En línea]. Disponible: <http://www.ti.com/product/LMC7660>. [Último acceso: 15 Mayo 2017].
- [42] C. CANALES, "CONVERSOR ANALOGO DIGITAL ADS1115 16-BIT - 4 CANALES \$ 20000.0", MACTRONICA, 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.mactronica.com.co/conversor-analogo-digital-ads1115-16bit-canales-84911153xJM>. [Consultado: 30-Mayon- 2017]

- [43] "TLC2272 Dual, Low-Noise, Rail-To-Rail Operational Amplifier | TI.com", Ti.com, 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.ti.com/product/TLC2272>. [Consultado: 30- Mayo- 2017]
- [44] "5x Transistor Darlington TIP142 TO-220 - La Tienda del Tecnófilo", Tecnofilo.es, 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.tecnofilo.es/tienda/componentes/162-5x-transistor-darlington-tip142-to-220.html>. [Consultado: 30- Mayo- 2017]
- [45] "Types of Temperature Sensors and Their working Principles | Features", ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students, 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/>. [Consultado: 01- Jun- 2017]
- [46] "Causas de la contaminación ambiental - Twenergy", Twenergy.com, 2017. [En línea]. Disponible: <https://twenergy.com/a/causas-de-la-contaminacion-ambiental-587>. [Consultado: 02- Jun- 2017]
- [47] Calidad del aire 3.0: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosEn línea/EnciclopediaOIT/tomo2/45.pdf> ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, "CONTROL AMBIENTAL EN INTERIORES", 1992 [En línea]. Disponible: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosEn línea/EnciclopediaOIT/tomo2/45.pdf>. [Consultado: 30- Mayo- 2017]
- [48] «Alincdn,» [En línea]. Disponible: <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB14qixNpXXXXcvXFXXq6xXFXXp/AC-220V-Led-switching-power-supply-AC-DC-font-b-adapter-b-font-12V-3A-36W.jpg>. [Último acceso: 14 Mayo 2017].
- [49] Mospec Semiconductor, "TIP142", Taiwan, 1995 [En línea]. Disponible: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2772/MOSPEC/TIP142.html>. [Consultado: 31-Mayo- 2017]
- [50] Draeger.com, 2017. [En línea]. Disponible: https://www.draeger.com/es_es/Applications/Products/Mobile-Gas-Detection/Multi-Gas-Detection-Devices/X-am-5600. [Consultado: 31-Julio-2017]
- [51] Transmisor de temperatura y humedad – RHT- Air [En línea] Disponible: http://www.novus.com.br/catalogos/layout_folheto.asp?ProdutoID=719908. [Consultado: 14-Agosto - 2017].
- [52] Airalia.es, 2016. Los efectos de la humedad excesiva en la salud. [En línea]. Disponible: <https://www.airalia.es/blog/los-efectos-de-la-humedad-excesiva-en-la-salud/> [Consultado: 14-Agosto - 2017].
- [53] Uhma Consultoría en salud SAPI de CV, 2016. El impacto potencial sobre la salud de los empleados [En línea]. Disponible: <https://www.uhmasalud.com/bid/285662/salud-laboral-la-temperatura-en-el-trabajo> [Consultado: 14- Agosto- 2017].
- [54] Robotshop, 2017. Humidity and temperature sensor – DHT22 [En línea]. Disponible: <http://www.robotshop.com/en/humidity-temperature-sensor-dht22.html> [Consultado: 14- Agosto- 2017]
- [55] Meterman., "Model IR610", washington, Infrared Thermometer, 2002 [En línea]. Disponible: http://www.testequip.com/sale/catalogs/MMAN/0/MMAN_IR610.pdf. [Consultado: 01- Jun- 2017].
- [56] TBem. 4N25, Optoacoplador Aislador con saída de Transistor. [En línea]. Disponible: <http://teslabem.com/optoacoplador-4n25.html> [Consultado: 01- Jun- 2017].

9 ANEXOS

9.1 Anexo 1: LM35

SNIS159G –AUGUST 1999–REVISED AUGUST 2016

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full -55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 V to 30 V
- Less than 60-μA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only ±¼°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

3 Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¼°C over a full -55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 μA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a -55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a -40°C to 110°C range (-10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm × 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm

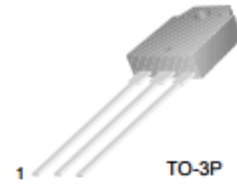
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.



TIP140/141/142

Monolithic Construction With Built In Base-Emitter Shunt Resistors

- High DC Current Gain : $h_{FE} = 1000$ @ $V_{CE} = 4V, I_C = 5A$ (Min.)
- Industrial Use
- Complement to TIP145/146/147

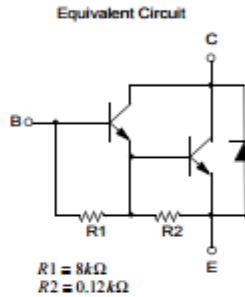


TO-3P
1.Base 2.Collector 3.Emitter

NPN Epitaxial Silicon Darlington Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: TIP140	60 V
		: TIP141	80 V
		: TIP142	100 V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: TIP140	60 V
		: TIP141	80 V
		: TIP142	100 V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	10	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	15	A
I_B	Base Current (DC)	0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ C$)	125	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ C$



Electrical Characteristics $T_C=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units		
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 30mA, I_B = 0$	60			V		
						: TIP140	80	V
						: TIP141	100	V
						: TIP142		
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 30V, I_B = 0$			2	mA		
						: TIP140	2	mA
						: TIP141	2	mA
						: TIP142	2	mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 60V, I_E = 0$			1	mA		
						: TIP140	1	mA
						: TIP141	1	mA
						: TIP142	1	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{BE} = 5V, I_C = 0$			2	mA		
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = 4V, I_C = 5A$	1000					
		$V_{CE} = 4V, I_C = 10A$	500					
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 5A, I_B = 10mA$			2	V		
		$I_C = 10A, I_B = 40mA$			3	V		
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10A, I_B = 40mA$			3.5	V		
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 4V, I_C = 10A$			3	V		
t_D	Delay Time	$V_{CC} = 30V, I_C = 5A$		0.15		μs		
t_R	Rise Time	$I_{B1} = 20mA, I_{B2} = -20mA$		0.55		μs		
t_{STG}	Storage Time	$R_L = 6\Omega$		2.5		μs		
t_F	Fall Time			2.5		μs		

TIP140/141/142

ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I²C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator

1 Features

- Ultra-Small X2QFN Package:
2 mm × 1.5 mm × 0.4 mm
- Wide Supply Range: 2.0 V to 5.5 V
- Low Current Consumption: 150 μ A
(Continuous-Conversion Mode)
- Programmable Data Rate:
8 SPS to 860 SPS
- Single-Cycle Settling
- Internal Low-Drift Voltage Reference
- Internal Oscillator
- I²C Interface: Four Pin-Selectable Addresses
- Four Single-Ended or Two Differential Inputs
(ADS1115)
- Programmable Comparator (ADS1114 and
ADS1115)
- Operating Temperature Range:
–40°C to +125°C

2 Applications

- Portable Instrumentation
- Battery Voltage and Current Monitoring
- Temperature Measurement Systems
- Consumer Electronics
- Factory Automation and Process Control

3 Description

The ADS1113, ADS1114, and ADS1115 devices (ADS111x) are precision, low-power, 16-bit, I²C-compatible, analog-to-digital converters (ADCs) offered in an ultra-small, leadless, X2QFN-10 package, and a VSSOP-10 package. The ADS111x devices incorporate a low-drift voltage reference and an oscillator. The ADS1114 and ADS1115 also incorporate a programmable gain amplifier (PGA) and a digital comparator. These features, along with a wide operating supply range, make the ADS111x well suited for power- and space-constrained, sensor measurement applications.

The ADS111x perform conversions at data rates up to 860 samples per second (SPS). The PGA offers input ranges from ± 256 mV to ± 6.144 V, allowing precise large- and small-signal measurements. The ADS1115 features an input multiplexer (MUX) that allows two differential or four single-ended input measurements. Use the digital comparator in the ADS1114 and ADS1115 for under- and overvoltage detection.

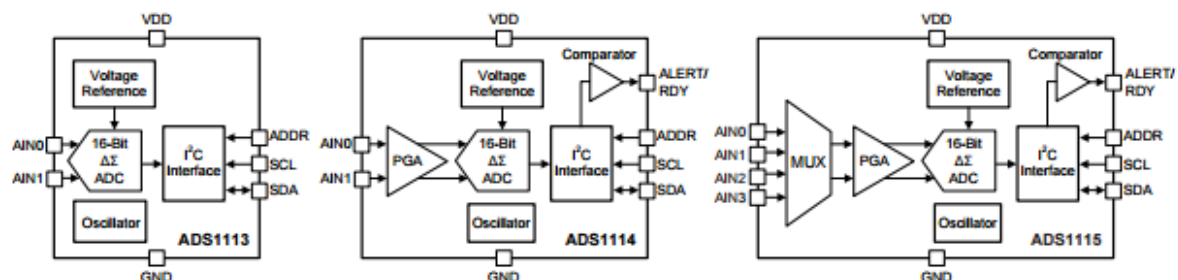
The ADS111x operate in either continuous-conversion mode or single-shot mode. The devices are automatically powered down after one conversion in single-shot mode; therefore, power consumption is significantly reduced during idle periods.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
ADS111x	X2QFN (10)	1.50 mm × 2.00 mm
	VSSOP (10)	3.00 mm × 3.00 mm

(1) For all available packages, see the package option addendum at the end of the data sheet.

Simplified Block Diagrams



9.4 Anexo 4: TLC2272

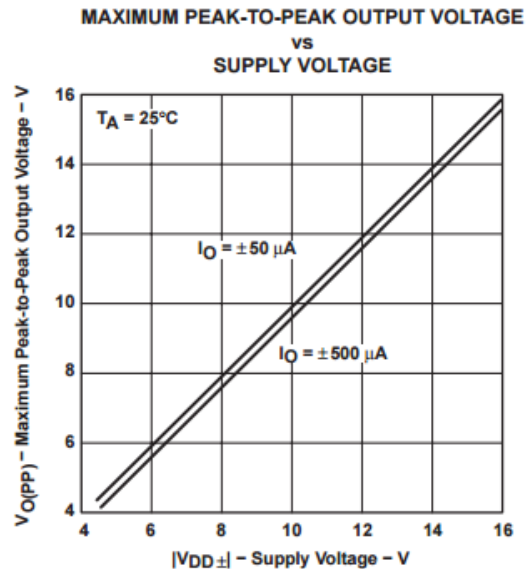
TLC227x, TLC227xA Advanced LinCMOS™ RAIL-TO-RAIL OPERATIONAL AMPLIFIERS SLOS190G – FEBRUARY 1997 – REVISED MAY 2004

- Output Swing Includes Both Supply Rails
- Low Noise . . . 9 nV/√Hz Typ at f = 1 kHz
- Low Input Bias Current . . . 1 pA Typ
- Fully Specified for Both Single-Supply and Split-Supply Operation
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Negative Rail
- High-Gain Bandwidth . . . 2.2 MHz Typ
- High Slew Rate . . . 3.6 V/μs Typ
- Low Input Offset Voltage
950 μV Max at T_A = 25°C
- Macromodel Included
- Performance Upgrades for the TS272, TS274, TLC272, and TLC274
- Available in Q-Temp Automotive HighRel Automotive Applications Configuration Control / Print Support Qualification to Automotive Standards

description

The TLC2272 and TLC2274 are dual and quadruple operational amplifiers from Texas Instruments. Both devices exhibit rail-to-rail output performance for increased dynamic range in single- or split-supply applications. The TLC227x family offers 2 MHz of bandwidth and 3 V/μs of slew rate for higher speed applications. These devices offer comparable ac performance while having better noise, input offset voltage, and power dissipation than existing CMOS operational amplifiers. The TLC227x has a noise voltage of 9 nV/√Hz, two times lower than competitive solutions.

The TLC227x, exhibiting high input impedance and low noise, is excellent for small-signal conditioning for high-impedance sources, such as piezoelectric transducers. Because of the micro-power dissipation levels, these devices work well in hand-held monitoring and remote-sensing applications. In addition, the rail-to-rail output feature, with single- or split-supplies, makes this family a great choice when interfacing with analog-to-digital converters (ADCs). For precision applications, the TLC227xA family is available with a maximum input offset voltage of 950 μV. This family is fully characterized at 5 V and ±5 V.



9.5 Anexo 5: Datos pruebas

<https://www.dropbox.com/sh/k61lhjk8tixyixe/AABo8sHHrIKKOzQ9civHWWvoa?dl=0>

9.6 Anexo 6: Bloques de AppInventor

9.6.1 Bloques Control Extractor

```
when Button1.Click
do
  set Web1.RequestHeaders to
    make a list
    make a list
    Content-Type
    application/json
  call Web1.PostText
  text [{"ON":1}]

when Button3.Click
do
  set Web1.RequestHeaders to
    make a list
    make a list
    Content-Type
    application/json
  call Web1.PostText
  text [{"ON":0}]

when Button4.Click
do
  set Web1.RequestHeaders to
    make a list
    make a list
    Content-Type
    application/json
  call Web1.PostText
  text
  join
  join [{"RH":
  TextBox1.Text
  }]
}

when Button2.Click
do
  close screen
```

9.6.2 Bloques Pantalla Principal

```
initialize global web to 0

when Button4.Click
do
  if
    tiempo.Text >= 8 and tiempo.Text <= 60
  then
    set Web1.RequestHeaders to
      make a list
      make a list
      Content-Type
      application/json
    call Web1.PostText
    text
    join
    join [{"Tiempo":
    tiempo.Text
    }]
    call Notifier1.ShowDialog
    message Tiempo de muestra actualizado
    title Actualizado
    buttonText Ok
  else if
    tiempo.Text < 8 or tiempo.Text > 60
  then
    call Notifier1.ShowDialog
    message Tiempo de muestreo por seguridad debe ser entre ...
    title ADVERTENCIA
    buttonText Ok
  set tiempo.Text to

when Button5.Click
do
  open another screen screenName FANCONTROL

when Button2.Click
do
  open another screen screenName Temperatura

when Button6.Click
do
  open another screen screenName Medidas

when Button1.Click
do
  open another screen screenName Humedad
```

9.7 Anexo 7: Programación Microcontrolador

```
#include <UbidotsMicroESP8266.h>
#include <SoftwareSerial.h>
```

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
Adafruit_ADS1115 ads(0x48);
const float multiplier = 0.1875F;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // DEFINIR
I2CPANTALLA
byte N[8] = {B01110, B01010, B01110, B00000, B00000, B00000, B00000, B00000,};
//CREACION CARACTER PARA GRADOS

#define WIFISSID "TG1637"
#define PASS "12345678"

#define TOKEN "woEnt7UTeFQIxJea0oKlVWXTgY1Aeq"
#define ID "591ce4a37625425829b3dc2f" // Tiempo
#define ID_1 "591cee3d762542581bb98deb" // Temperatura
#define ID_2 "591cb5647625427d93d1d706" // Humedad
#define ID_4 "592095b5762542541d446105" // ON/OFF
#define ID_5 "5982127bc03f970bf715c3ef" // Nivel de Humedad

Ubidots client(TOKEN);
int tiempo = 8000; //tiempo por default
float RH = 100; //Porcentaje de humedad máximo predeterminado
float Temp = 0;
float Hum = 0;
int onoff = 0;
int16_t adc0, adc1, adc2, adc3;

void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(14, OUTPUT);
  pinMode(15, OUTPUT);
  lcd.begin(20, 4); //
  lcd.backlight(); // Enable or Turn On the backlight
  lcd.createChar (0, N);
  lcd.clear();
  lcd.home();
  lcd.setCursor ( 0, 1 );
  lcd.print("      DEA INC");
  lcd.setCursor ( 0, 2 );
  lcd.print("      TG1637");
  lcd.setCursor ( 0, 3 );
  lcd.print("      2017");
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  client.wifiConnection(WIFISSID, PASS);
  ads.begin();
}

void loop() {
  envio();
  pantalla(Temp, Hum);

  tiempo = recep() * 1000;
  if (tiempo < 8000) {
    tiempo = 8000;
  }
}

```

```

    motorapp();
    Limpiar();
    delay(tiempo - 8000);
}

void envio() {
    digitalWrite(15, HIGH);
    delay(200);
    adc0 = ads.readADC_SingleEnded(2); //temp
    adc3 = ads.readADC_SingleEnded(3); //hum2

    digitalWrite(15, LOW);
    Temp = adc0 * multiplier / 1000 * 22.22; 4.5 * 22.22 = 100°C
    Hum = adc3 * multiplier / 1000 * 22.22; 4.5 * 22.22 = 100 % RH

    client.add(ID_1, Temp);
    client.add(ID_2, Hum);
    client.sendAll(false);
}

int recep() {
    tiempo = client.getValue(ID);
    return tiempo;
}

//FUNCION PANTALLA LCD
void pantalla(float Temp, float Hum)
{ lcd.clear();
  lcd.print("    DEA TG1637");
  lcd.setCursor ( 0, 1 );          // 2nd renglon
  lcd.print("RH:");
  lcd.print(Hum);
  lcd.print("% ");
  lcd.setCursor ( 0, 2 );          // 2nd renglon
  lcd.print("T:");
  lcd.print(Temp);
  lcd.write (byte (0));
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor ( 17, 3 );
  lcd.print(tiempo / 1000);
  lcd.print("s");
}

//Funcion activar motor
void motorapp() {
    onoff = client.getValue(ID_4);
    while (onoff == 1)
    {
        onoff = client.getValue(ID_4);
        digitalWrite(14, HIGH); //Motor
        digitalWrite(15, HIGH); //Sensores
        delay(200);
        adc0 = ads.readADC_SingleEnded(2);
        adc3 = ads.readADC_SingleEnded(3);
        Temp = ((adc0 * multiplier) / 1000) * 22.22;
        Hum = ((adc3 * multiplier) / 1000) * 22.22;
    }
}

```

```

    client.add(ID_1, Temp);
    client.add(ID_2, Hum);
    client.sendAll(false);
    pantalla(Temp, Hum);
};
digitalWrite(14, LOW); //Motor
digitalWrite(15, LOW); //sensores
return;
};

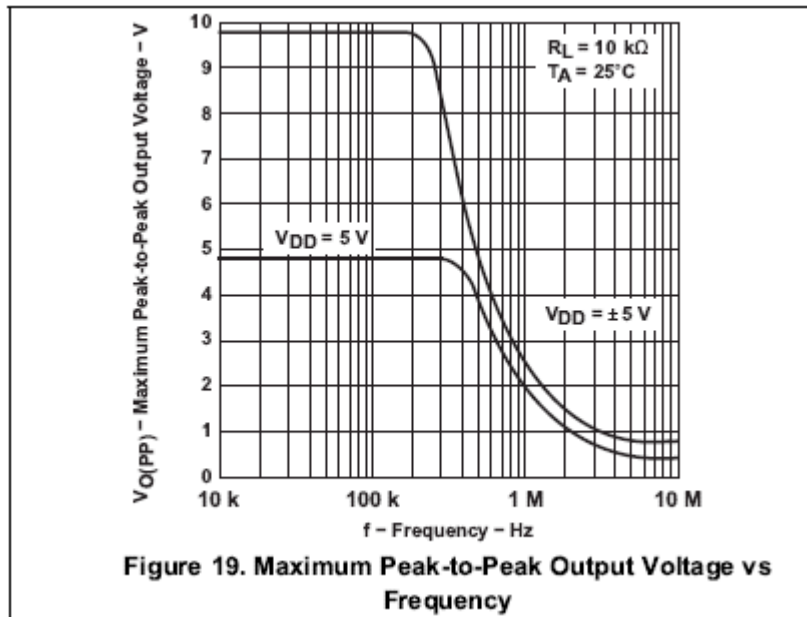
void Limpiar() {
    RH = client.getValue(ID_5);
    if (Hum > RH) {
        digitalWrite(14, HIGH); //Motor
        digitalWrite(15, HIGH); //Sensores
        delay(200);
        while (Hum > RH) {
            adc0 = ads.readADC_SingleEnded(2);
            adc3 = ads.readADC_SingleEnded(3);
            Temp = ((adc0 * multiplier) / 1000) * 22.22;
            Hum = ((adc3 * multiplier) / 1000) * 22.22;
            client.add(ID_1, Temp);
            client.add(ID_2, Hum);
            client.sendAll(false);
            pantalla(Temp, Hum);
        };
    };
    digitalWrite(14, LOW); //Motor
    digitalWrite(15, LOW); //sensores
    return;
};
};

```

9.8 Anexo 8: Medida Corriente Colector

Corriente Colector
0.83369
0.82749
0.83156
0.8278
0.82723
0.82717
0.82323
0.82082
0.81915
0.82552
0.82773
0.82984
0.82607
0.82674

9.9 Anexo 9: Respuesta en frecuencia del TLC2272



9.10 Anexo 10: Esquemático

