

**SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICO PARA EQUIPOS DE AIRE  
ACONDICIONADO DE VENTANA**

**JOSEPH ELIAS BORJA HERNANDEZ**

**ADRIAN OCTAVIO NOSA GOMEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA  
2020**

**SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICO PARA EQUIPOS DE AIRE  
ACONDICIONADO DE VENTANA**

**JOSEPH ELIAS BORJA HERNANDEZ**

**ADRIAN OCTAVIO NOSA GOMEZ**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**ASESORES DISCIPLINARES:**

**ING. SAUL ANTONIO PÉREZ PÉREZ, MG.**

**ING. CARLOS DÍAZ SÁENZ, MSC.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA**

**2020**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

## **DEDICATORIA**

Dar gracias a Dios, primeramente, porque nos brindó sabiduría e inteligencia para llegar a superar cada prueba y dificultad que se nos ha presentado en el transcurso de la carrera, también agradecer a nuestros padres, porque nos dieron esa voz de aliento para nunca rendirnos y seguir adelante, además agradecer a los profesores por brindarnos sus conocimientos para formarnos como futuros ingenieros y con esto, tener los conocimientos necesarios para realizar este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE ECUACIONES.....	9
GLOSARIO.....	10
RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. ANTECEDENTES .....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....	19
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. MARCO DE REFERENCIA .....	20
3.1. ESTADO DEL ARTE.....	20
3.2. MARCO TEÓRICO.....	28
4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	41
4.1. METODOLOGÍA .....	41
4.2. TIPO DE ESTUDIO.....	47
4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO.....	48
5. PRESUPUESTO.....	50
5.1. PRESUPUESTO GENERAL.....	50
5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO .....	51
5.3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA .....	52
5.4. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS .....	52
6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
6.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	54
6.2. DISEÑO DISPOSITIVO FINAL .....	56
6.2.1. PROTOTIPO MEDICIÓN DE TEMPERATURA.....	56
6.2.2. PROTOTIPO CONTROL DEL AIRE ACONDICIONADO .....	57

6.3. MATERIALES .....	58
6.3.1. AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA OAW085C.....	58
6.3.2. ARDUINO UNO/MEGA.....	58
6.3.3. MÓDULO BLUETOOTH-HC05.....	58
6.3.4. VATÍMETRO MEDIDOR DE CONSUMO .....	59
6.3.5. TERMOSTATO XH-W1209 .....	59
6.3.6. ADAPTADOR 12V-1 A .....	59
6.3.7. TERMOCUPLA TIPO K.....	59
6.4. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	60
6.4.1. MUESTRA POBLACIONAL.....	67
6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	68
6.5.1. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO	71
6.5.2. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL	72
6.6. MANUAL DE USUARIO .....	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	75
BIBLIOGRAFÍA .....	76
ANEXOS .....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamiento aire acondicionado de ventana [54] .....	32
Figura 2. Termostato digital xh-w1209 [55]. .....	37
Figura 3. Condensador de un aire acondicionado [56]. .....	38
Figura 4. Evaporador de un aire acondicionado [57]. .....	39
Figura 5. Vatímetro medidor de consumo [58]. .....	40
Figura 6. Simulación de temperatura (SolidWorks) .....	43
Figura 7. Ubicación del AC de ventana (SolidWorks). .....	44
Figura 8. Circuito de sistema de medición de temperatura .....	45
Figura 9. Circuito de sistema de control del aire acondicionado .....	46
Figura 10. Vista superior del prototipo de medición de temperatura (propia autoría) .....	54
Figura 11. Vista isométrica del prototipo de medición de temperatura (propia autoría). .....	55
Figura 12. Vista superior del prototipo de control del aire (propia autoría). .....	55
Figura 13. Vista isométrica del prototipo de control del aire (propia autoría). .....	56
Figura 14. Consumo aire acondicionado .....	61
Figura 15. Consumo promedio .....	61
Figura 16. Caracterización del sensor .....	63
Figura 17. Consumo aire acondicionado (implementación del dispositivo mecatrónico). .....	65
Figura 18. Consumo promedio (implementación del dispositivo mecatrónico). .....	65
Figura 19. Consumo VS Temperatura (sin mejoras). .....	70
Figura 20. Consumo VS Temperatura (implementación del dispositivo mecatrónico). .....	70
Figura 21. Temperatura de confort. ....	71
Figura 22. Prototipo del dispositivo mecatronico .....	71
Figura 23. Medición de la temperatura inicial (implementación del dispositivo mecatrónico). .....	72
Figura 24. Medición de la temperatura final (set point) .....	73
Figura 25. Conexión de los dispositivos mecatrónicos .....	73

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aire acondicionado de ventana LG LW8016ER .....	42
Tabla 2. Aire acondicionado de ventana Frigidaire FFRA0811R1.....	42
Tabla 3. Aire acondicionado de ventana Olimpo OAW085C .....	42
Tabla 4. Cronograma – plan de trabajo.....	48
Tabla 5. Presupuesto general. ....	50
Tabla 6. Costo personal científico. ....	51
Tabla 7. Costo personal de apoyo.....	51
Tabla 8. Costo consultoría especializada.....	52
Tabla 9. Costo materiales e insumos. ....	52
Tabla 10. Costo trabajo de campo .....	53
Tabla 11. Costo equipos usados .....	53
Tabla 12. Dimensiones del dispositivo de medición de temperatura.....	57
Tabla 13. Dimensiones prototipo control del aire acondicionado .....	57
Tabla 14. Consumo del aire acondicionado de ventana sin mejoras .....	60
Tabla 15. Valor en \$ del consumo.....	60
Tabla 16. Caracterización del sensor del AC de ventana.....	61
Tabla 17. Consumo del aire acondicionado de ventana (implementación del dispositivo mecatrónico).....	64
Tabla 18. Valor en \$ del consumo (implementación del dispositivo mecatrónico). 64	
Tabla 19. Consumo supuesto del aire acondicionado de ventana (implementación del dispositivo mecatrónico). ....	66
Tabla 20. Valor en \$ del consumo supuesto (implementación del dispositivo mecatrónico).....	66
Tabla 21. Mediciones del dispositivo .....	67

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de capacidad .....	41
Ecuación 2. Cálculo de resistencia del termistor (para grados Celsius) .....	63
Ecuación 3. Cálculo de resistencia del termistor (para grados Fahrenheit) .....	64

## GLOSARIO

**TEMPERATURA:** La temperatura es una medida de qué tan caliente o frío es algo; específicamente, una medida de la energía cinética promedio de las partículas en un objeto, que es un tipo de energía asociada con el movimiento.

**INNALAMBRICO:** Es un sistema de comunicación eléctrica que no utiliza alambres conductores.

**ARDUINO:** Es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores.

**LA TRANSFERENCIA DE CALOR:** Es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura.

**EL EFECTO REFRIGERANTE:** Es el incremento de entalpia del refrigerante en el evaporador, en el cual, se extrae una cierta cantidad de calor del espacio a refrigerar mediante un enfriamiento por evaporación.

**EFICIENCIA ENERGETICA:** Se refiere a la utilización de tecnologías que requieren una menor cantidad de energía para conseguir el mismo rendimiento o realizar la misma función.

**CONFORT HIGROTÉRMICO:** bienestar que sentimos a nivel térmico cuando estamos a gusto en una habitación.

## RESUMEN

En el presente proyecto de grado se realizó un dispositivo capaz de monitorear la temperatura, en la zona que se necesita el confort de cualquier habitación, para recibir información real de forma inalámbrica al aire acondicionado de ventana, con el objetivo de trabajar solo lo necesario, ya que estos aires acondicionado tienen su sensor de temperatura dentro del equipo, es decir solo está midiendo la temperatura que pasa por él, y no la temperatura donde se desea, por ello estará enfriando hasta que la temperatura programada sea detectada por el sensor, y cuando esto ocurra la habitación estará con una temperatura mucho menor que donde se encuentre ubicado este electrodoméstico, generando un consumo alto, deficiente energéticamente y no dar confort en el espacio de la habitación que se requiera.

El propósito de este proyecto es reducir el alto consumo y que su eficiencia energética mejore, manteniendo al mismo tiempo un confort en el espacio que el usuario lo desee. Para ello inicialmente se realizó un estudio del consumo del aire acondicionado de ventana para tener un registro de los días en que se utilizó, después con ayuda de los dispositivos electrónicos disponibles en el mercado se llevó a cabo la construcción del dispositivo mecatrónico, se utilizó un termostato digital para tomar la medición en la zona de confort, modulo Bluetooth para enviar la información inalámbricamente y potenciómetros digitales, que dependiendo la temperatura, toma un valor específico gracias a que se caracterizó primeramente con el sensor de temperatura que tenía incorporado el electrodoméstico.

Al momento de comparar las gráficas y tablas, se comprobó que se reduce el consumo energético, aumentando su eficiencia y manteniendo la temperatura que se desea en la zona de confort, además asegurando que el dispositivo mecatrónico compacto y ligero.

**Palabras claves:** Termistor, Eficiencia energética, Consumo energético, Temperatura de confort.

## ABSTRACT

In the present grade project, a device capable of monitoring the temperature was created, in the area where the comfort of any room is needed, to receive real information wirelessly to window air conditioner, with the aim of working only as necessary, since these air conditioners have their temperature sensor inside the equipment, that is, it is only measuring the temperature that passes through it, and not the temperature where it is desired, so it will be cooling until the programmed temperature is detected by the sensor, and when this happens, the room will be at a much lower temperature than where this appliance is located, generating a high consumption, energy deficient and not giving comfort in the space of the room that is required.

The purpose of this project is to reduce high consumption and improve its energy efficiency, maintaining comfort in the space that the user wants. For this, initially a study was made of the consumption of a window air conditioner to keep a record of the days it was used, then with the help of electronic devices available on the market, the construction of the mechatronic device was carried out, a digital thermostat to take the measurement in the comfort zone, Bluetooth module to send the information wirelessly and digital potentiometers, which depending on the temperature, take a specific value thanks to the fact that it was first characterized with the temperature sensor that the appliance had incorporated.

When comparing the graphs and tables, was found that energy consumption was reduced; increasing its efficiency and maintaining the desired temperature in the comfort zone, also ensuring that the mechatronic device is compact and light.

**Keyword:** Thermistor, Energy efficiency, Energy consumption, Comfort temperature.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen muchos equipos que consumen demasiada energía, como son las neveras, computadoras, cafeteras, microondas, aires acondicionado, entre otros, y por ello, al compararlos con otros de la misma naturaleza, gastan energía de forma innecesaria, muchas empresas están en la búsqueda de que sus dispositivos sean eficientes energéticamente. La eficiencia energética lo que busca es lograr reducir el consumo energético manteniendo la calidad de vida, es decir, eliminar el desperdicio de energía [60].

La eficiencia energética nos brinda muchos beneficios, ya sea reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se reduce la demanda de importaciones de energía y reducen los costos a nivel doméstico y económico, además existen muchas oportunidades para mejorar la eficiencia en todos los sectores de la economía, como lo sería en los transportes industrias, edificios, entre otros [61] [62]. Con todo ello, se quiere implementar la eficiencia a los dispositivos de aire acondicionado de ventana, porque tienen un alto consumo energético, a comparación con otros, por ejemplo, el mini Split que consume menos que el de ventana, y como estos electrodomésticos suelen tenerlo las personas de escaso recursos, no se le es favorable y les afecta económicamente [63].

Ciertos aires modernos han reducido el consumo energético, ya sea que el sensor de temperatura se encuentre en una pantalla táctil la cual registra la temperatura fuera del electrodoméstico, y otros tienen la característica de controlar, a través de una placa electrónica, la frecuencia de la corriente eléctrica, que normalmente llega a las casas entre 50 y 60 hz, y que es capaz de controlar desde los 5 hz hasta los 120 hz (llegando a aumentar la capacidad del compresor hasta un 30% más), es decir, que al variar la frecuencia varía la velocidad de giro del compresor, logrando funcionar desde el 10% hasta el 100% de su capacidad [64].

Se mejorará la eficiencia y se reducirá el consumo, cambiando el lugar donde se toma la medición de temperatura, ubicándolo en la zona que mayor se requiera el confort, logrando a que trabaje lo necesario hasta que llegue a la temperatura que se desea, y así también asegurar la comodidad del usuario.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día los aires acondicionados de ventana han tenido un decaimiento en su venta en el mercado, ya que estos han sido superados por los sistemas de aires acondicionados inverter, debido a que estos prometen una alta eficiencia energética.

Los aires acondicionado de ventana poseen el sensor de temperatura en el interior del equipo, como consecuencia de esto, en momentos en los cuales la temperatura sea demasiado alta, se calentará más la zona donde se encuentra el electrodoméstico, por lo cual tendrá que enfriar más, esto genera un sobreesfuerzo en su funcionamiento lo que hace que se eleve el consumo eléctrico, además de esto hay una desventaja más relevante, la comodidad de las personas, ya que en el momento que el equipo empiece a trabajar, el área restante del recinto estará mucho más fría que el área en donde se encuentre, generando una incomodidad para las personas situadas en la habitación y obteniendo un mayor consumo energético el cual será significativo en la factura eléctrica.

El problema de los aires acondicionados sobre el alto consumo energético, se ha presentado en casos como el de Soledad Atlántico, debido a que los habitantes de Parque Bolívar se les exigió retirar los aires acondicionado. Mediante las misivas, Constructora Bolívar S.A. informó a los propietarios que “la carga eléctrica calculada y aprobada para el proyecto no contempla la instalación de ninguna clase de aire acondicionado” [6].

Esto no solo está afectando a nuestro alrededor, sino, a muchos otros países, por ejemplo, en América del Norte, específicamente en Estados Unidos, existen edificaciones antiguas, construidas alrededor de 1950, todas estas estructuras tienen aire acondicionado de ventana, y las personas que la habitan se están quejando por el ruido que estas producen. El dueño conoce que este tipo de aire acondicionado consume bastante, pero no tiene capital suficiente para cambiar esos equipos por otros con menor consumo y mucho más eficientes [5]. Por tal razón este estudio propone reducir el consumo energético para aminorar el problema que este

genera, además de aumentar su eficiencia en funcionamiento y que se mantenga el confort.

### **1.1. ANTECEDENTES**

En la actualidad, los aires acondicionados son uno de los electrodomésticos más importantes para el hogar y su uso ha tenido un gran incremento por el calentamiento global, sin embargo, estos tienen un consumo bastante alto de energía por lo cual se requiere de una optimización para que estos dispositivos sean mejores eficientemente, teniendo un menor consumo sin disminuir su capacidad de enfriamiento y contribuyendo al confort de las personas que estén ubicadas en el recinto. Posteriormente serán presentados ciertos estudios y noticias que demuestran el alto consumo energético de los aires acondicionados y la necesidad de que estos sean mejorados eficientemente.

#### **¿CUÁNTO CUESTA HACER FUNCIONAR UN AIRE ACONDICIONADO?**

Tim K. (2014). [1] El autor realizó un estudio en el cual menciona que los aires acondicionados son los responsables de más del 50% de la factura energética en Santa Clarita, California durante el verano, también realizó un estudio para determinar cuánto cuesta operar un aire acondicionado, teniendo en cuenta la cantidad de corriente que consume este dispositivo para generar la temperatura seleccionada, cuantos vatios consumen por hora dependiendo del tipo de aire acondicionado y también explica los cálculos necesarios para determinar el costo consumido por estos aires acondicionados.

#### **UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA CON MAYOR EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Climatastic (2018). [2] Esta noticia informa sobre la existencia de aires acondicionados con eficiencia energética cuya finalidad no solo es una decisión financiera prudente, sino que también contribuye en gran medida a reducir su huella de carbono.

De este modo se demuestra que, desde los inicios los AC de ventana tienen problemas con sus niveles de eficiencia energética, también dicen que, esto es un hecho bien conocido, que tienden a consumir una cantidad considerablemente alta de energía eléctrica, lo que aumenta los costos. Estudios recientes realizados por el Departamento de Energía muestran que cambiar a AC de ventanas con eficiencia energética puede ayudar a ahorrar hasta un 50% de los costos de energía.

### **¿EL AIRE ACONDICIONADO CENTRAL ES MÁS EFICIENTE QUE LAS UNIDADES DE VENTANA?**

Brian P. (2011). [3] Esta Noticia revela que, según un análisis del 2001, realizado por la Administración de Información de Energía, en los Estados Unidos, el aire acondicionado representa más del 15 por ciento del uso de energía del hogar promedio, alrededor de 183 mil millones de kilovatios-hora de electricidad, esto genera tanta electricidad, que produce alrededor de 119 millones de toneladas de dióxido de carbono, o aproximadamente la cantidad de CO<sub>2</sub> que arrojan 20 millones de automóviles cada año. Sorprendentemente, el porcentaje de hogares con aire central aumentó más del doble, del 27 al 55 por ciento, entre 1980 y 2001. También nos dice que una de las mayores razones por la cual los acondicionadores de aire de ventana tienen clasificaciones más bajas, es que es imposible colocar hardware muy avanzado en esa pequeña caja.

### **¿CUÁNTOS VATIOS USA UN AIRE ACONDICIONADO?**

Senica (2013). [4] En esta noticia, los autores dicen que el propietario promedio gasta alrededor de \$ 1,000 por año en costos de calefacción y refrigeración, o alrededor del 50 por ciento de sus facturas totales de energía. También comenta sobre una problemática en los tiempos cálidos, como Florida, el enfriamiento puede representar hasta el 70 por ciento de sus facturas de electricidad de verano.

## **¿POR QUÉ APROXIMADAMENTE UNA CUARTA PARTE DE LOS HOGARES DE LOS ESTADOS UNIDOS ESTÁN ATRAPADOS CON FEAS Y RUIDOSAS UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA?**

Sophie B. (2018). [5] Esta noticia afirma que el mercado del aire acondicionado es un gran negocio. Tanto es así, que, en América del Norte, se espera que alcance casi \$ 53 mil millones para 2020, pero en los Estados Unidos, los aires acondicionados de ventana no son tan comunes, excepto en las principales ciudades con edificios más antiguos, que no están equipados con aire central como el resto del país.

Según el Departamento de Edificios de Nueva York, alrededor del 75 por ciento de los edificios en los cinco distritos fueron construidos antes de 1960. El aire central se convirtió en la corriente principal más tarde en la década de 1960, según el Departamento de Energía de Estados Unidos. Como la modernización de un edificio antiguo con aire central es costosa y complicada, la mayoría de los edificios de Nueva York no se toman la molestia de hacer esa renovación.

## **AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA Y REVISIÓN DE LITERATURA**

Top10talks (2014). [6] Este estudio explica el funcionamiento de los aires acondicionados, este se enfoca en el aire acondicionado de ventana, el cual puede tener una capacidad de enfriamiento de 1.71, 3.42, 5.13 y 6.84 kW (0.5, 0.75, 1.0, 1.5 y 2.0 TR) y estos son adecuados para usarse en recintos entre 5 y 20 metros, sin embargo existía un problema con el tipo de refrigerante usado, ya que este generaba un aumento en el consumo de energía para estos aires, se realizaron estudios entre los años 2000 y 2010 para seleccionar un refrigerante que contribuyera a esto y tuviese un bajo impacto ambiental.

## **CONSUMO DE ENERGIA DE UN AIRE ACONDICIONADO**

Shodhganga (2013). [7] Los autores realizaron un análisis del consumo energético utilizado por aires acondicionados de ventana y por splits, mientras que los Split consumen un 1.56 KW por hora con 1.5 toneladas de refrigeración, los aires acondicionados de ventana consumen un 1.67 Kw por hora con la misma cantidad

de toneladas de refrigeración, el estudio explica que ese aumento en el consumo es debido a que la tecnología inverter se estabiliza y no fluctúa en su consumo de corriente, mientras que los aires acondicionados de ventana requieren de una alta corriente para iniciar el aire acondicionado [7].

## **CONSUMO DE ENERGÍA DEL AIRE ACONDICIONADO EN EL FUTURO EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO Y QUÉ SE PUEDE HACER AL RESPECTO: EL POTENCIAL DE EFICIENCIA EN EL SECTOR RESIDENCIAL**

McNeil, M. a., Letschert, V. E. (2007). [8] Los autores realizaron una investigación acerca del consumo de los aires acondicionados y en base a esto, realizar medidas para mejorar la eficiencia en el uso de estos para el sector residencial, el uso del aire acondicionado se ha incrementado en gran medida por el calentamiento global, esto puede verse claramente ya que en 1990 en hogares chinos menos del 1% poseía aire acondicionado, en 2003 esta cifra aumentó hasta un 62%, esto también puede verse en la India en la cual las compras de aires acondicionados están creciendo anualmente en un 20%.

## **AHORRO EN AIRE ACONDICIONADO Y ENFRIAMIENTO**

Michael B. (2015). [9] Este estudio menciona que en el hogar típico, el aire acondicionado consume un 16% de la electricidad consumida, de las cuales en las regiones cálidas puede presentarse incluso en un 60-70% de la factura eléctrica en verano, según Austin Energy, una compañía que suministra electricidad en Austin, Texas, este a su vez compara los gastos de energía de un aire acondicionado de ventana, los cuales son de 500 a 1440 vatios con los de una unidad central, la cual consume alrededor de 3500 vatios, enfriando bastante más que el aire acondicionado de ventana, con esto, el autor presenta consejos de ahorro energético para disminuir el costo de la factura eléctrica.

## **¿CUANTOS VATIOS CONSUME MI AIRE ACONDICIONADO?**

AC Southeast (2013). [10] Este estudio presenta el consumo de los aires acondicionados, el cual durante el tiempo de enfriamiento representa una gran parte

para la factura de energía, esta energía consumida requiere de muchos factores, tanto de aislamiento y dimensiones de la habitación, cómo del mantenimiento realizado al aire acondicionado, esto puede determinar la potencia consumida por el aire acondicionado según este estudio, el autor toma como punto de referencia un aire acondicionado central de 3 toneladas que consume alrededor de 3500 vatios/hora y a una unidad de ventana de 12.000 BTU que consume 1200 vatios/hora, también explica clasificaciones de eficiencia para estos aires acondicionados y recomendaciones en mantenimiento y reparación para disminuir el consumo de estos [10].

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué estrategias se deben realizar para la disminución del alto consumo energético que ocasionan los aires acondicionados de ventana?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE**

Desarrollar una mejora a los aires acondicionados de ventana que ayude a reducir su consumo energético, optimizando, reduciendo el valor de la factura eléctrica y garantizando la comodidad de las personas ya que se ofrecerá una temperatura estable en el recinto.

Esto beneficiará a las personas que utilicen este tipo de aires y al medio ambiente, en cuanto a la reducción de los gases tóxicos que este emite y el efecto invernadero que produce. Se contará con el presupuesto y la tecnología existente, los cuales serán microcontroladores y sensores de temperatura, con la utilización de estas, se facilitará el desarrollo del proyecto, posteriormente se realizará un análisis en el consumo energético del aire acondicionado con y sin las mejoras aplicadas para determinar la eficiencia del sistema.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema mecatrónico que permita la reducción del consumo energético en aires acondicionados de ventana.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar un estudio de aires acondicionados de ventana para su selección en cuanto a eficiencia.
2. Implementar un sistema de control que garantice una temperatura de confort en un recinto.
3. Evaluar el consumo energético de aires acondicionados de ventana, que determine la eficiencia del sistema mecatrónico.

## **3. MARCO DE REFERENCIA**

### **3.1. ESTADO DEL ARTE**

#### **ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN LA EDIFICACIÓN DEL BLOQUE "G" DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE**

Martínez Gómez, M. and Bolívar Hernández, L. (2014). [11] Este trabajo de grado realizó un estudio de eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado del Bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe mediante la simulación del comportamiento energético de la edificación y el análisis mediante la Termohigroanemometría de los equipos y sistemas.

Para dar una solución se supuso un sobredimensionamiento de los aires acondicionados, lo cual se demostró por medio de simulación del comportamiento

energético de la edificación, realizando cálculo de carga térmica por refrigeración mediante el programa Hidrofive de software Cype®, se tuvo en cuenta que los equipos estudiados cuentan con tecnologías obsoleta, ya que utilizan refrigerantes R-22, por ese motivo se recomendó equipos que trabajen con el refrigerantes R410A, que además es amigable con el medio ambiente y se mejora la eficiencia energética de los equipos.

Esta información aportó al proyecto, ya que brinda estrategias para mejorar la eficiencia energética, la reducción del consumo, también ciertos factores que afectan su funcionamiento, y puede ser necesario los cálculos de carga térmica que utilizan.

## **ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO Y CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE DESARROLLADO PARA UN EDIFICIO**

Mozammel, K. (2012). [12] En esta tesis se realizó el estudio del desempeño de un sistema de aire acondicionado, además cálculos sobre la carga de enfriamiento mediante un software desarrollado para un edificio.

Para desarrollar este software se tuvo pendiente el cálculo de la carga de enfriamiento, la carga de enfriamiento depende de la temperatura ambiente, es decir, si la temperatura ambiente es baja, entonces la demanda de enfriamiento es baja y si la temperatura ambiente es alta, entonces la demanda de carga de enfriamiento también es alta. Ya teniendo en cuenta todos estos factores, se ha desarrollado en cinco pasos; solar instantáneo, ganancia de calor por radiación para ventanas de vidrio, ganancia de calor de transmisión, calor interno, ventilación e infiltración y resultado total y muestra individual.

Esta tesis aportó al proyecto, porque posee cálculos necesarios para nuestro proyecto, las investigaciones con respecto a la temperatura.

## **MEJORA DEL RENDIMIENTO DE UN AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA USANDO UN ARREGLO DE CUELLO DE BOTELLA**

Naidu, S., Sukumar, S., & Rao, V. (2017). [13] En este artículo se realizó una mejora del rendimiento del aire acondicionado de ventana mediante el arreglo de cuello de botella. Para llevarlo a cabo se tuvo que preparar una plataforma de prueba con todos los accesorios necesarios. A través de este equipo de prueba, se hizo el análisis del rendimiento en el aire acondicionado, el cual es medido en coeficiente de rendimiento (COP) y determina la eficiencia energética del rendimiento de la calefacción, el análisis lo realizaron de la siguiente manera. Se calculó tanto el COP teórico como el COP real. Para aumentar el COP del aire acondicionado de ventana dado, se coloca una disposición de cuello de botella en la plataforma de prueba. A través de este experimento, encontramos que el COP obtenido sin la disposición del cuello de la botella es 1.72 y después de introducir la disposición del cuello de la botella cambia a 1.85.

Los cálculos realizados en este artículo ayudaron de gran manera a la realización del proyecto, por ejemplo, las diferentes cargas de calor que se pueden encontrar en un recinto o una habitación, ya que todos estos datos ocasionan la alta temperatura, también en como solucionan el problema, eso puede dar ideas a diferentes soluciones.

## **AIRE ACONDICIONADO DE BAJA ENERGÍA PARA CLIMAS CÁLIDOS**

Almutairi, H. (2012). [14] En esta tesis se realizó una investigación sobre soluciones para reducir el consumo de energía y las emisiones debido al aire acondicionado, seleccionando casas kuwaitíes como caso de estudio.

Para dar solución a este problema, se tuvo que verificar los factores de demanda energética, particularmente los factores que afectan el consumo de energía, investigar la demanda de energía de enfriamiento residencial en Kuwait, verificar el mejor estilo para reducir la carga de enfriamiento y el consumo de energía, examinar la viabilidad económica del sistema de agua fría impulsado por electricidad en comparación con el sistema de aire acondicionado predominante en las casas

kuwaitíes y por ultimo estudiar la aplicación de la central eléctrica de ciclo combinado que suministra electricidad y agua enfriada del enfriador de absorción para viviendas en Kuwait.

Esta tesis aportó información importante al momento de la investigación, ya que menciona los factores que producen el consumo de energía, ahorros significativos en energía y la reducción del CO<sub>2</sub>.

### **AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN EN EDIFICIOS QUE UTILIZAN MATERIAL DE CAMBIO DE FASE**

Daiber, J. (2011). [15] En esta tesis se realizó una comparación de la eficiencia energética de cuatro sistemas de ventilación diferentes mediante el uso de las herramientas de dinámica de fluidos computacional y transferencia de calor.

Para dar solución a esto se tuvo que considerar las dimensiones de una sala de oficina para analizar la eficiencia energética del sistema de ventilación variable (VAV), sistema VAV con enfriamiento radiante (sistema hidrónico), sistema de ventilación distribuida (DV) y sistema DV con enfriamiento radiante. El sistema VAV y el sistema VAV con enfriamiento radiante también se estudian con la inclusión de una capa de material de cambio de fase (PCM) en el tratamiento de la pared externa (que está hecha de una capa de vidrio y una cortina) para evaluar los efectos del PCM capa sobre la eficiencia energética de los dos sistemas de ventilación.

Esta tesis aportó conceptos claves para la investigación, por ejemplo, transferencia de calor, también sobre la importancia del espacio en donde se hará el estudio, este decir las dimensiones del recinto, habitación, etc.

### **DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DE UN AIRE ACONDICIONADO PORTÁTIL**

Jessica Dahlkvist (2013). [16] Esta tesis de maestría consiste en una optimización para los aires acondicionados portables, el propósito principal de este proyecto fue

el de estudiar las oportunidades factibles de los aires acondicionados portables, en este estudio se encontraron ciertas áreas problemáticas que trataron de solucionar realizando unas mejoras para estos.

Para solucionar esto se realizó un cambio en el compresor, debido a que el compresor actual de los aires acondicionados portables provoca demasiado ruido, este ruido se convierte en vibración el cual genera un aumento de presión en el aire acondicionado, lo cual conlleva al desgaste en el tiempo de vida del aire acondicionado, también propuso cambios en el intercambiador de calor, el cual presentaba fallos en su estructura, esto dificultaba el paso del aire e impedía el paso del líquido refrigerante, por lo cual el aire acondicionado debía sobre esforzarse y con esto, teniendo un aumento en su consumo energético, también realizó un cambio en el ventilador, esto para mejorar la eficiencia en la refrigeración del aire acondicionado y en el sistema de evaporación, el cual no era lo suficientemente óptimo, por último en la interfaz del usuario para poder obtener una mayor comodidad y facilidad de uso para el usuario.

Esta tesis de maestría fue de gran ayuda para el proyecto, ya que se proponen ciertas mejoras que luego de un análisis, podrían ser implementadas en los aires acondicionados de ventana para su optimización.

## **LOS SENSORES INTELIGENTES PERMITEN UN CONTROL INTELIGENTE DEL AIRE ACONDICIONADO**

Chin-Chi Cheng, Dasheng Lee (2014). [17] Este artículo consiste en un sistema de control inteligente implementado a aires acondicionados, este tiene objetivos de conservación de energía y protección del medio ambiente, además de mejorar el confort de las personas ya que se busca detectar la temperatura humana y la actividad durante el sueño, y con estos dos aspectos mencionados determinar cuál es la temperatura necesaria para una mayor comodidad, manteniendo la salud humana y disminuyendo el consumo energético.

Para cumplir este objetivo, se realizó una mejora que consiste en agregarle una inteligencia al aire acondicionado, con el fin de mejorar su sistema de control mediante un celular o un dispositivo ubicado en el cuerpo humano, se enfocaron en una mayor medida en este último, desarrollaron manillas con un circuito integrado cuya función fue la de medir la temperatura del cuerpo humano y de esta manera controlar la temperatura de refrigeración del aire acondicionado, además de mantener la vida humana gracias a una temperatura estable, este sistema de control presentaba errores menores que  $0.1^{\circ}\text{C}$ , mejorando también el compresor, este se activa un 48.4% menos que un control encendido-apagado que son los comúnmente usados en los aires acondicionados, esto se puede ver reflejado en un ahorro energético.

Este artículo ayudó al proyecto ya que este sistema de control podría funcionar como una variante o mejora para el sistema de control que se piensa implementar para los aires acondicionados de ventana.

## **UN AIRE ACONDICIONADO INTELIGENTE EN CASA INTELIGENTE**

Ozkan H, Aybar A. (2016). [18] En este trabajo se propone un esquema inteligente de aire acondicionado y se presenta su respectiva adaptación a Smart Home, como propósito principal de este trabajo se busca proporcionar un ahorro significativo en la factura eléctrica y una mejora en la comodidad del usuario.

Propusieron un esquema inteligente de aire acondicionado, conectado al sistema Smart Home, en el cual en este caso podrá controlarse el aire acondicionado mediante un celular, en el desarrollo de esto se explican y comparan los principios y funcionamientos del acondicionador de aire convencional con los del aire acondicionado inteligente propuesto, luego se desarrolla el modelo de red con el fin de observar el funcionamiento del aire acondicionado inteligente, para el control de este aire acondicionado inteligente se utiliza un software llamado Keysight VEE 9.3, los esquemas realizados por este demuestran un ahorro significativo en el consumo

del aire acondicionado inteligente, además de mejorar la comodidad de los usuarios que operen en el recinto.

Este trabajo fue útil para el proyecto ya que utilizan un método de control diferente al usual, controlan el funcionamiento del aire acondicionado con un celular y además, el programa que usaron podrá ser bastante útil para demostrar el ahorro generado por las mejoras que serán implementadas en los aires acondicionados de ventana.

### **AHORRO DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN**

Carlos Alberto Orozco (2004). [19] Este artículo realiza un análisis del ahorro de energía y eficiencia energética en los diferentes tipos de aire acondicionado de ventana, el propósito principal de este fueron las necesidades del confort térmico y calidad del aire interno, teniendo en cuenta las normas de eficiencia energética establecidas en Colombia.

El autor hace énfasis en que la eficiencia energética es una herramienta para mejorar la productividad y la competitividad de las empresas, con esto, basándose en el marco legal normativo en Colombia en esta, se busca promover el uso racional y eficiente de la energía y promueve el uso de las energías alternativas, por esta razón, se realizó un análisis de eficiencia energética para los aires acondicionados existentes hasta la fecha (2004), en esta también se hizo énfasis en la eficiencia energética sugerida por el etiquetado RETIQ de cada aire acondicionado, en la cual se demostró que los aires acondicionados de ventana son un poco más eficientes que un aire acondicionado con una etiqueta tipo E.

Este artículo nos fue útil para el proyecto, ya que el autor realiza una comparación de eficiencia energética entre cada aire acondicionado existente, con esto, se podrá tener un punto inicial del aire acondicionado de ventana para que luego de las mejoras se verifique que tan eficiente sea y a qué etiquetado se supere en eficiencia, teniendo en cuenta que inicialmente son más eficientes que los de tipo E.

## **DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA UN RENDIMIENTO DE CONTROL ÓPTIMO EN HONG KONG**

Ho-Wai Fuk (2010). [20] En esta tesis de maestría se realizaron estudios para la optimización del control del sistema de aire acondicionado con el objetivo principal de mejorar su rendimiento en Hong Kong, el estudio también investiga previamente la optimización de sistemas por lo cual su aplicación en Hong Kong es prometedora. Ellos se basaron en ciertos datos típicos sobre la configuración de la planta, obtenidos de una encuesta sobre sistemas de aire acondicionado y control en esta región.

Este estudio se basa en simulaciones enfocado en la optimización de los sistemas de aire acondicionado aplicado en Hong Kong, pero todo esto de acuerdo con los datos de la encuesta, lo cual es prometedora y flexible. Esta encuesta lo que muestra principalmente, son los sistemas de control de aire acondicionado y sus estrategias, ya que no se consideran bien en la etapa de diseño y su configuración no se abordan adecuadamente, por ello existen oportunidades de optimización en el diseño del sistema de a / c y estrategias de control para los sistemas de a / c utilizados en Hong Kong.

Por otro lado, también investigaron los parámetros que pueden afectar el rendimiento de control de los sistemas de aire acondicionado realizados experimentalmente, desarrollaron y sugirieron estrategias para aplicar los hallazgos en la optimización de un sistema de aire acondicionado para controlar el rendimiento mediante simulación. Este estudio proporciona una plataforma para un mayor estudio de simulación de optimización tanto en metodologías como en estrategias de control para el diseño y operación de sistemas de aire acondicionado.

Esta tesis de maestría fue conveniente para el proyecto ya que recopila y propone sistemas de control para aire acondicionado, en el que destaca estrategias, etapas de diseño y configuración para estos, los cuales podrán ser de gran utilidad en la optimización de los aires acondicionados de ventana.

## **3.2. MARCO TEÓRICO**

### **3.2.1. Termodinámica**

La temperatura es una medida objetiva de qué tan caliente o frío es un objeto. Se puede medir con un termómetro o un calorímetro. Es un medio para determinar la energía interna contenida dentro de un sistema dado. La temperatura es diferente del calor, aunque los dos conceptos están vinculados. La temperatura es una medida de la energía interna de un sistema, mientras que el calor mide cómo se transfiere la energía de un sistema (o cuerpo) a otro, o cómo las temperaturas en un sistema aumentan o disminuyen por la interacción con otro [21].

La termodinámica es una rama de la física que se ocupa de la energía y el trabajo de un sistema. La termodinámica se ocupa solo de la respuesta a gran escala de un sistema que podemos observar y medir en experimentos, La ley cero de la termodinámica implica algunas definiciones simples de equilibrio termodinámico. El equilibrio termodinámico conduce a la definición a gran escala de la temperatura, a diferencia de la definición a pequeña escala relacionada con la energía cinética de las moléculas [22]. Esta teoría fue útil para el proyecto debido a que la segunda ley de la termodinámica nos hace recordar, como se comportan el calor, ya que este fluye naturalmente de los cuerpos más calientes a los más fríos. Solo puede transferir calor de un cuerpo más frío a un cuerpo más cálido a través de algún tipo de trabajo externo.

La transferencia de calor es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor. Los tres modos para transmitir calor son: conducción, convección y radiación [23].

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas.

La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres. La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos.

Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor [24].

El calor sensible es la cantidad de calor que es capaz de absorber o ceder un cuerpo sin que se produzca un cambio de fase. La energía se mueve a través de la atmósfera utilizando calor latente y sensible que actúa sobre la atmósfera para impulsar el movimiento de las moléculas de aire que crean movimientos de viento y verticales. Cuando a un cuerpo se le suministra calor sensible en este aumenta su temperatura. El calor sensible que posee un cuerpo es evidenciado por la temperatura de este, el calor sensible del cuerpo aumenta según aumenta la temperatura, sin embargo, no todos los cuerpos cambian su temperatura con la misma proporción, esta variación está determinada por el calor específico, el cual es la cantidad de calor necesaria que hay que suministrar a un cuerpo para que su temperatura aumente, este es medido en  $\text{cal.g.}^{\circ}\text{C}$  o  $\text{J.kg.K}$  [25].

El calor de cambio de estado es la energía requerida por una sustancia para cambiar su fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización), al cambiar de gaseoso a líquido y de líquido a sólido se libera la misma cantidad de energía. Estos cambios de estado son producidos a una temperatura constante para cada presión, cuando un líquido pasa al estado

gaseoso, esta toma calor latente, durante este proceso la temperatura permanece estable, cuando un sistema absorbe o cede calor puede experimentar un cambio en la temperatura, esto es llamado calor sensible o que experimente un cambio de fase a una temperatura constante, lo cual se conoce como calor latente. Este cambio de fase es utilizado en el proceso de refrigeración del aire acondicionado, en el cual se produce evaporación y condensación del refrigerante y del aire absorbido para así enfriarlo y generar la refrigeración [26].

La condensación es el cambio de la materia de una sustancia a una fase más densa, es decir, es el cambio de fase de una sustancia gaseosa a su fase líquida, esto ocurre cuando el vapor se enfría, aunque también puede ocurrir cuando se comprime, aumentando su presión o se somete a una combinación de refrigeración y compresión, al vapor que ha cambiado de fase se le llama condensado, el dispositivo que realiza esta acción es el condensador, el cual es una parte importante del aire acondicionado ya que con esto, se realiza el intercambio de calor necesario para producir la refrigeración en la salida del sistema [27].

La evaporación es el cambio de fase de una sustancia líquida a un estado de vapor o gas, este proceso es inverso al de condensación y tiene una gran utilidad para el proceso de refrigeración en los aires acondicionados, este proceso ocurre cuando hay un intenso movimiento térmico en las moléculas del líquido, esto puede ocurrir por variaciones en la presión o por un calor añadido que genere la transición de fase con esto, las moléculas escapan del líquido como vapor, durante este proceso al ser las partículas con mayor velocidad las que escapan del líquido, pierde energía cinética provocando una disminución en su temperatura. Este ciclo en refrigeración se lleva a cabo en la región de saturación en el cual coexisten el líquido y el vapor refrigerante, cediendo calor para un enfriamiento de los fluidos [28].

La entalpia es la cantidad de calor intercambiado en una transformación isobárica, es decir, a una presión constante, el cambio de entalpia suele asociarse a la energía recibida por el sistema en forma de calor, esta cantidad puede ser medida por

calorímetros, esta entalpia suele decirse que abarca la energía interna del sistema con la energía almacenada en el medio ambiente del sistema en el cual, disminuyendo su volumen la entalpia integra una porción de energía la cual se extrae en forma de calor del sistema, frecuentemente la entalpia es útil en los análisis de procesos de refrigeración ya que cuando se estudian estos ciclos se realiza un diagrama presión-entalpia para el refrigerante y con esto, se obtiene una ventaja en el cálculo de la cantidad de calor extraído y cedido en el proceso a una presión constante el cual equivale a la diferencia de entalpia entre el estado final e inicial, esto presenta una gran utilidad para el proceso de refrigeración para la selección del refrigerante [29].

El efecto refrigerante es el incremento de entalpia del refrigerante en el evaporador, en el cual, se extrae una cierta cantidad de calor del espacio a refrigerar mediante un enfriamiento por evaporación, este efecto es muy útil para determinar la cantidad de refrigerante necesario para un enfriamiento en la evaporación, generando un subenfriamiento al inicio del ciclo, este proceso es importante para la refrigeración de un sistema. Por otra parte, el efecto refrigerante también es usado para realizar un balance entre la capacidad de refrigeración que tiene el ciclo con la cantidad de trabajo que debe ser invertida para lograr la refrigeración, el cual es un trabajo realizado durante la compresión y con esto, se define el coeficiente de rendimiento, este indica la eficiencia del proceso de refrigeración [30].

La compresión es el proceso por el cual se aumenta la presión y la temperatura en un vapor para sobrecalentarlo, de este modo, se realiza el cambio de estado del gas sobrecalentado, este necesita eliminar una cantidad de calor equivalente al trabajo necesario para aplicar este proceso, aumentando la temperatura del gas con el fin de volverlo a su estado líquido y calentarlo. Este proceso en los aires

acondicionados ocurre en el compresor, el cual cumple la función contraria a la válvula de expansión y este, al requerir de un mayor trabajo por un motor para aumentar la presión y temperatura del vapor, es el proceso que genera un mayor consumo en un sistema de refrigeración [31].

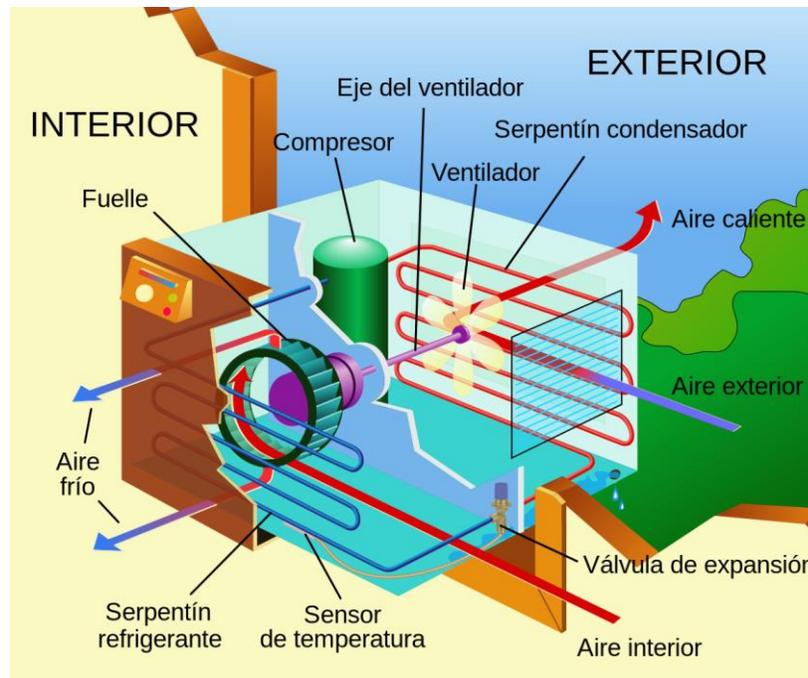


Figura 1. Funcionamiento aire acondicionado de ventana [54]

La presión es una magnitud física que mide la fuerza en dirección perpendicular a la unidad de superficie, esta presión se comporta de una manera similar en los líquidos en la cual actúa de manera perpendicular a las paredes del recipiente que lo contiene y varía según la profundidad de este de esta manera, la presión siempre se dirige al exterior del fluido el cual resulta en una compresión para el fluido. En el proceso de refrigeración, se aplica una presión elevada y una presión baja, haciendo circular un fluido a una presión elevada por una tubería, esta disminuye su presión al pasar por el evaporador, a su vez el fluido es enfriado y se retira el calor en el lugar en donde se aplica la refrigeración, luego, aumenta nuevamente su presión al ser comprimido por un compresor para elevar su temperatura y cambiar su estado a líquido a alta presión, para posteriormente ser expandido y con esto, retirar el calor del fluido [32].

### **3.2.2. Factores eléctricos y climáticos**

La potencia térmica es la cantidad de calor máxima que puede liberar un equipo funcionando a su tensión necesaria, a su vez, la energía térmica también describe que tan rápido se produce el calor, para la mayoría de sistemas que consumen energía la potencia térmica es la rapidez en la que la fuente de energía se convierte en calor por ejemplo, en el caso de un motor la potencia térmica sería con qué rapidez el combustible se convierte en calor, esta acción es importante para lograr un trabajo útil, además también es utilizada para una medida de salida, como el calor radiante emitido por el sol, esta potencia térmica es medida en W. En una planta de energía, su eficiencia térmica es determinada por cuanto trabajo útil puede lograr por la cantidad de combustible que tuvo que quemar, está en su mayoría, en las centrales eléctricas existentes es de un 33%, por lo cual la potencia térmica de entrada es 3 veces mayor que la potencia eléctrica de salida [33].

La potencia eléctrica es la relación de transferencia de energía por unidad de tiempo, esto es la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo definido, la potencia eléctrica determina la velocidad a la cual se consume o se suministra energía en los circuitos eléctricos y electrónicos, esta potencia es medida en vatios (W) el cual representa un suministro de energía de un Joule por segundo. Los dispositivos que consumen esta potencia eléctrica, utilizan la energía eléctrica para convertirla a una utilidad, como calor, luz, movimiento, sonido, o para el caso del proyecto, activar un mecanismo para la refrigeración en un recinto [34].

Para calcular el consumo energético del aire acondicionado se utiliza el factor de potencia, FP o  $\cos\phi$  (coseno fi) de un circuito de corriente alterna se calcula como el cociente entre la potencia activa P y la potencia aparente S. Este factor de potencia existe ya que la potencia reactiva no produce un trabajo físico directo en los equipos, esto se necesita para producir el flujo electromagnético el cual pone en funcionamiento elementos como: motores, transformadores, equipos de refrigeración, entre otros. Cuando la cantidad de equipos aumenta el requerimiento de potencia reactiva también aumenta, esto produce una disminución bastante alta del factor de potencia, esto se ve en su mayoría por la presencia de muchos equipos

de refrigeración o un gran número de motores. El factor de potencia puede ser medido usando una resistencia y un amperímetro de la siguiente manera:

1. Conecta en paralelo la resistencia con la carga que quieres medir el factor de potencia.
2. Anota los valores RMS de la corriente que entrega la fuente, la corriente que pasa por la resistencia y la corriente que pasa por la carga ¡Listo!
3. Ahora resuelve tu problema como un análisis vectorial y aplicando las leyes de Kirchoff suponiendo que el ángulo del voltaje es cero y calcula el ángulo.

Esta teoría será de gran apoyo para el proyecto ya que con el cálculo del factor de potencia se podrá determinar el consumo energético de los componentes del aire acondicionado y así realizar mejoras para disminuirlo y que sea relevante para la factura eléctrica [35].

Con respecto al consumo energético, que es uno de los factores que actualmente más afecta, cabe resaltar la energía como tal, ya que esta magnitud física que se presenta bajo diversas formas, también involucrada en todos los procesos de cambio de estado físico, se transforma y se transmite, depende del sistema de referencia y fijado éste se conserva. Dicho esto, todo cuerpo es capaz de poseer energía, esto gracias a su movimiento, a su composición química, posición, temperatura, masa y a algunas otras propiedades [36].

Por otro lado, dentro de los aires acondicionados, más exactamente en la parte del sistema de refrigeración por compresión, la cual una de las energías que se presentan es la energía mecánica, que por medio de esta se comprime un gas refrigerante, forzando mecánicamente la circulación del refrigerante en el circuito cerrado dividido en dos zonas, una de alta presión y una de baja presión, primero fluye a la zona de baja presión, el evaporador y posteriormente cede el fluido a la zona de alta presión, el condensador, de esta manera el fluido refrigerante absorbe el calor del ambiente y se produce la refrigeración [37].

Con lo anterior, se puede decir que la ley de la conservación de energía tiene mucha relación con el tema a tratar. La mayoría de personas que conocen este tema, saben que esta ley establece que la energía no puede crearse ni destruirse, solo convertirse de una forma de energía a otra, esto quiere decir que un sistema siempre tiene la misma cantidad de energía, a menos que se agregue desde el exterior. Esto es la mayoría de veces confuso, en el caso de las fuerzas no conservativas, donde la energía se convierte de energía mecánica en energía térmica, pero la energía en general sigue siendo la misma. La única forma de usar energía es transformar la energía de una forma a otra [38].

El trabajo, cuya unidad de medida en el sistema internacional es joule, en la física, esta tiene una relación muy cercana con las transformaciones que sufren los cuerpos. De entre todas ellas, una de las más evidentes y cómodas de estudiar es la de las transformaciones mecánicas, que vendrían siendo las transformaciones en el estado de movimiento de un cuerpo, en pocas palabras el trabajo es como la fuerza que se aplica sobre un cuerpo para desplazarlo de un punto a otro. Al aplicar fuerza se libera y se transfiere energía potencial a ese cuerpo y se vence una resistencia [39].

Las leyes de Kirchhoff junto con la ley de ohm son las tres leyes básicas para el análisis de circuitos en electricidad y electrónica, con ellas se puede entender el comportamiento de los tres parámetros más utilizados en estas áreas que son la resistencia, el voltaje y la corriente. Para el caso de las leyes de Kirchhoff estas fueron dos leyes planteadas por el físico Gustav Kirchhoff en las cuales describe el comportamiento del voltaje y la corriente en los circuitos eléctricos [40].

Con referente a cómo afecta la temperatura en ciertos casos, está el coeficiente de temperatura, puesto a que la resistencia eléctrica de un conductor tal como un hilo de cobre es dependiente de los procesos de colisiones en el interior del cable, se espera que la resistencia se incremente con la temperatura, ya que habrá más colisiones. el enfoque intuitivo de la dependencia de la temperatura, lleva a esperar

una variación relativa de la resistencia, que sea proporcional al cambio de temperaturas [41].

La dependencia de la temperatura de la resistividad a temperaturas ambiente, se caracteriza por un incremento lineal con la temperatura. El examen microscópico de la conductividad muestra que es proporcional al camino libre medio entre colisiones, y para temperaturas superiores a 15 K, está limitado por las vibraciones térmicas de los átomos, es decir, A temperaturas extremadamente bajas, el camino medio de los electrones, está dominado por las impurezas o defectos en el material y viene a ser casi constante con la temperatura. Con la suficiente pureza, algunos metales muestran una transición a un estado de superconductividad [42].

La humedad relativa es uno de los factores más mencionados en la industria, en relación a los procesos de manufactura y ensayo de estabilidad de los productos, en pocas palabras es el porcentaje de agua que se encuentra en el aire en forma de vapor en relación a una temperatura específica.

Cuando se habla de microclimas o climas de espacios cerrados como laboratorios o fábricas es muy la mayoría de veces normal, que los estados del aire y la temperatura se vean afectados por el tema de la calefacción. Si se estudia un entorno cerrado, como, por ejemplo, un local para el almacenamiento de productos apreciaremos que la temperatura incide drásticamente en los niveles porcentuales de humedad relativa.

La cantidad máxima de vapor de agua que puede absorber el aire depende de la temperatura, y, en consecuencia, de ello depende también su nivel de saturación [43].

Con referencia de la humedad tenemos el diagrama psicrómetro o también conocido como carta psicrométrica que es un gráfico integrado por familias de curvas, trazadas a partir de las ecuaciones de estado que relacionan los parámetros que caracterizan la mezcla aire-vapor de agua. Para poder determinar todos los parámetros del aire húmedo, se necesitan conocer previamente, al menos tres de ellos. Es decir que tiene su aplicación en el estudio de las condiciones de humedad y temperatura del

aire interior, por ejemplo, determinar la cantidad de calor que hay que aplicar en un espacio interior para alcanzar cierta temperatura y humedad relativa [44].

El punto de rocío es la temperatura a la cual el aire está saturado con vapor de agua, que es el estado gaseoso del agua. El punto de rocío puede calcularse directamente con los datos de temperatura y humedad relativa existentes en un momento dado. Esos datos pueden provenir de los informes meteorológicos emitidos radialmente, o registrados por instrumental.

También está estrechamente relacionado con la humedad relativa, que es la relación entre la presión del vapor de agua en una parcela de aire en relación con la presión de saturación del vapor de agua en esa misma parcela de aire a una temperatura específica. La humedad relativa (HR) se expresa como un porcentaje. La humedad relativa es del 100 por ciento cuando el punto de rocío y la temperatura son los mismos. Si la temperatura baja más, se producirá condensación y comenzará a formarse agua líquida [45].

### 3.2.3. Teoría electrónica



Figura 2. Termostato digital xh-w1209 [55].

Un sensor de temperatura es un dispositivo, generalmente un RTD (detector de temperatura de resistencia) o un termopar, que recopila los datos sobre la temperatura de una fuente en particular y los convierte en una forma comprensible para un dispositivo o un observador [46]. A medida que el aire pasa por el sensor, lee la temperatura y compara esa lectura con la configuración del termostato. Si el

aire es más cálido que la configuración deseada, el sensor activará el compresor o, en otras palabras, comenzará a enfriar el interior del edificio. También funciona en reversa si el aire que pasa por el sensor es más bajo, o a la misma temperatura establecida en su termostato. Si esto sucede, apagará el compresor. Esta es la función principal del sensor del termostato [47]. Para el proyecto se utilizará un termostato digital XH-W1209, este posee un termistor NTC, esto hace que al disminuir la temperatura aumente su resistencia y con esto medir la temperatura del lugar, además, cuenta con una pantalla en la cual se facilita la continua visualización de la temperatura en el lugar en donde esté ubicado.



*Figura 3. Condensador de un aire acondicionado [56].*

El condensador es un intercambiador térmico el cual pretende que el fluido que lo recorre pase a fase líquida desde su fase gaseosa mediante enfriamiento, con esto, la sustancia libera el calor latente y lo transfiere al entorno, el tamaño del condensador depende de la necesidad. Los condensadores se emplean en las plantas de refrigeración para condensar el gas refrigerante y de esta forma realizar el proceso de refrigeración. Todos los condensadores tienen algo en común, esto es el de eliminar el calor, una vez este es suficientemente eliminado se produce la licuefacción. El condensador cumple una función importante en el ciclo térmico, ya que previene el escape de la turbina de vapor y evacua el calor latente al exterior mediante un fluido [48].



*Figura 4. Evaporador de un aire acondicionado [57].*

El evaporador funciona de la manera contraria al condensador, en este componente el líquido refrigerante se convierte en gas, absorbiendo el calor del aire del recinto. Este cumple una función muy importante en el ciclo de refrigeración, ya que cuando el refrigerante llega al evaporador, su presión es reducida, lo que hace que se disipe su contenido de calor y lo haga mucho más frío que el aire que fluye a su alrededor, esto hace que el refrigerante absorba el calor del aire caliente y alcance rápidamente su bajo punto de ebullición, el refrigerante se vaporiza y absorbe la mayor cantidad de calor, luego el evaporador transporta este calor como un gas a bajo presión mediante una manguera hacia el compresor, donde se repite el ciclo de refrigeración [49].

El Serpentín o tubo refrigerante la mayoría de veces es un tubo que frecuentemente es elaborado en bronce, y además conduce el calor con más facilidad, tiene forma de espiral cuyo objetivo es regular las temperaturas de algunos compuestos químicos, bien sea para enfriar o calentar. Es decir, el serpentín es capaz de intercambiar las temperaturas de los compuestos con los que entra en contacto, por lo tanto, puede transformar la temperatura del mismo, de frío a caliente o viceversa [50].



Figura 5. Vatímetro medidor de consumo [58].

Un vatímetro es un dispositivo utilizado para medir la potencia eléctrica de un circuito eléctrico, este dispositivo está compuesto por bobinas las cuales al ser expuestas a corriente generan un campo electromagnético moviendo una aguja sobre una escala para especificar la potencia medida [51]. Específicamente para el proyecto se utilizará un vatímetro digital que mide voltaje, potencia, corriente, frecuencia y factor de potencia, estos factores serán útiles para determinar el consumo del aire acondicionado.



Figura 6. Termistor NTC [59].

Un termistor es un sensor resistivo de temperatura, su funcionamiento consiste en una gran variación de su resistividad en proporción a un cambio pequeño en la temperatura, existen dos tipos de termistor: NTC (Negative Temperature Coefficient), estos al aumentar la temperatura disminuye su resistencia y al disminuir la temperatura aumenta su resistencia, este tipo de termistores son usualmente usados en aires acondicionados, como es el caso del aire acondicionado de ventana estudiado. PTC (Positive Temperature Coefficient), este funciona de manera

contraria al NTC, al presentar un aumento en la temperatura tiene un gran aumento en su resistencia, en caso contrario, disminuye su resistencia [52].

## 4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

### 4.1. METODOLOGÍA

#### CÁLCULO DE CAPACIDAD DEL AIRE ACONDICIONADO

Para calcular la capacidad de BTU del aire acondicionado requerido para la habitación, se utilizó la siguiente ecuación:

$$C = 230\left(\frac{btu}{h * m^3}\right) * V(m^3) + (\#PyE * 476\left(\frac{Btu}{h}\right))$$

*Ecuación 1*

Para la ecuación anteriormente mostrada se utiliza el valor 230 por ser un factor calculado para América Latina con una temperatura máxima de 40°C. La variable V es el volumen del área en el que el aire acondicionado será instalado. #PyE es la sumatoria entre el número de personas y de electrodomésticos instalados en el área. Por último, el valor 476 es debido a los factores de ganancia y pérdida aportados por cada persona o electrodomésticos [53].

Inicialmente, se realizó una selección para los posibles equipos a utilizar, se tuvieron en cuenta distintas marcas de aire acondicionado de ventana tales como LG, frigidaire y Olimpo, ya que estos tienen un mayor catalogo en aires acondicionados de ventana, teniendo en cuenta que debido a las necesidades de la habitación se requería que el aire fuese de 8000 BTU. Este estudio fue realizado comprobando la cantidad de dispositivos disponibles en las respectivas páginas de las casas fabricantes, para posteriormente mediante una salida de campo revisar la disponibilidad de dispositivos de las marcas mencionadas en la ciudad, verificando que la marca de Olimpo tiene un mayor catalogo en la ciudad que las otras marcas propuestas. Sin embargo, también se hizo la comparación entre tres aires acondicionados de ventana de estas marcas con el objetivo de comprobar y seleccionar el que tenga un mayor consumo:

Tabla 1. Aire acondicionado de ventana LG LW8016ER

PERFORMANCE		ELECTRICAL RATINGS	
BTU Performance	8000	Voltage/60Hz	115
CEER	12.0	Watts	660
EER	12.1	Rated Amps	6.2
Refrigerant	R32		

Tabla 2. Aire acondicionado de ventana Frigidaire FFRA0811R1

PERFORMANCE		ELECTRICAL RATINGS	
BTU Performance	8000	Voltage/60Hz	115
CEER	10.9	Watts	735
EER	10.9	Rated Amps	6.5
Refrigerant	R410a		

Tabla 3. Aire acondicionado de ventana Olimpo OAW085C

PERFORMANCE		ELECTRICAL RATINGS	
BTU Performance	8000	Voltage/60Hz	110
EER	10.8	Rated Amps	6.4
Refrigerant	R410a		

Teniendo en cuenta las especificaciones eléctricas y de rendimiento mostradas anteriormente, el aire acondicionado menos eficiente es el de la marca olimpo, ya que este tiene un índice de eficiencia energética (EER) más bajo que los otros dos, por lo cual, este tendrá un consumo mayor que los demás, sólo se toma en cuenta este valor ya que los factores eléctricos son similares además, el refrigerante que usa este modelo de aire acondicionado (R410A) es más contaminante que el modelo de LG, por lo que desarrollar una mejora para este modelo tendrá un mejor impacto ambiental.

Posteriormente, se procedió a la instalación de este aire acondicionado en el recinto seleccionado que requería una capacidad de enfriamiento de 8000 btu/h para su medición de consumo energético sin las mejoras implementadas para tener un punto base para luego comparar resultados con el dispositivo mejorado.

## PERFIL DE TEMPERATURA

Después, con ayuda de un termostato digital mostrado en la **Figura 2**, se tomó diferentes mediciones, para conocer qué lugar se dispersa una alta temperatura.

Conociendo la temperatura del lugar de estudio, se creó un programa CAD con medidas reales, para introducir los datos obtenidos y simularlo en el software SolidWorks, con la intención de poder apreciarlo de forma visual el comportamiento, figura 6.

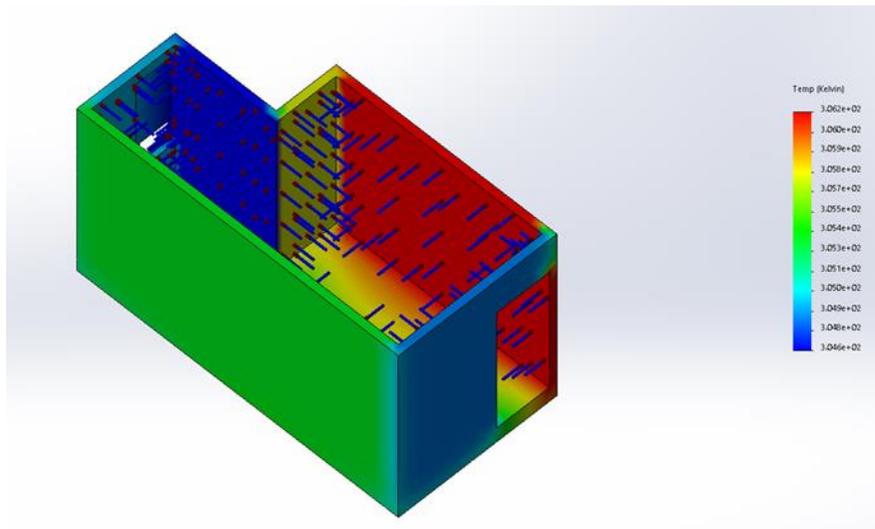
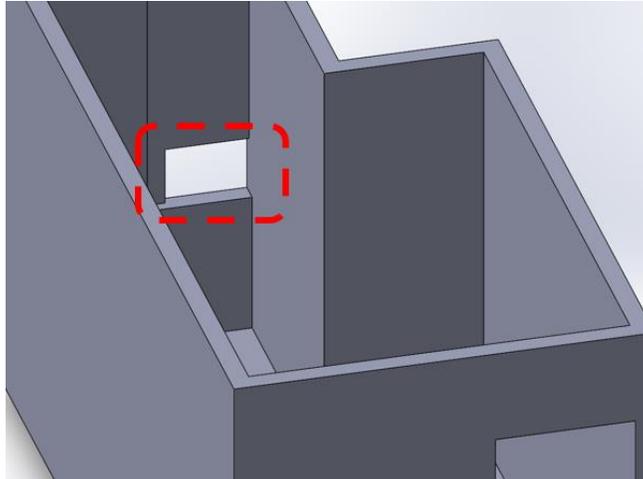


Figura 6. Simulación de temperatura (SolidWorks)



*Figura 7. Ubicación del AC de ventana (SolidWorks).*

Como se puede observar la zona con alta temperatura, también es el lugar donde se requiere la temperatura de confort, ya que es donde se encuentra la cama, además la temperatura más alta en grados Centígrados fue en promedio de 33,0 °C, lugar donde se encuentra de color rojo, como se ve en la **Figura 6**.

Posterior a esto, se determinó el sistema de control para el dispositivo que garantice una temperatura de confort en el recinto seleccionado, teniendo en cuenta las zonas en el recinto que requieren una temperatura de confort, analizando los elementos que generen calor en el recinto, realizando un perfil de temperatura, determinando el tipo de control a utilizar y colocando un sensor en la zona de confort del recinto, con el fin de tomar una medición más precisa de la temperatura para el funcionamiento del aire acondicionado, verificando y monitoreando el funcionamiento del sistema de control planteado.

## SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control de este proyecto está compuesto por dos circuitos, uno para la medición de temperatura en la zona de confort del recinto y otro para el control del aire acondicionado, formando un sistema de control de lazo cerrado de tipo SISO (una entrada y una salida), teniendo como entrada del sistema la temperatura y como salida el control del aire acondicionado mediante la modificación del valor de la resistencia de los potenciómetros digitales.

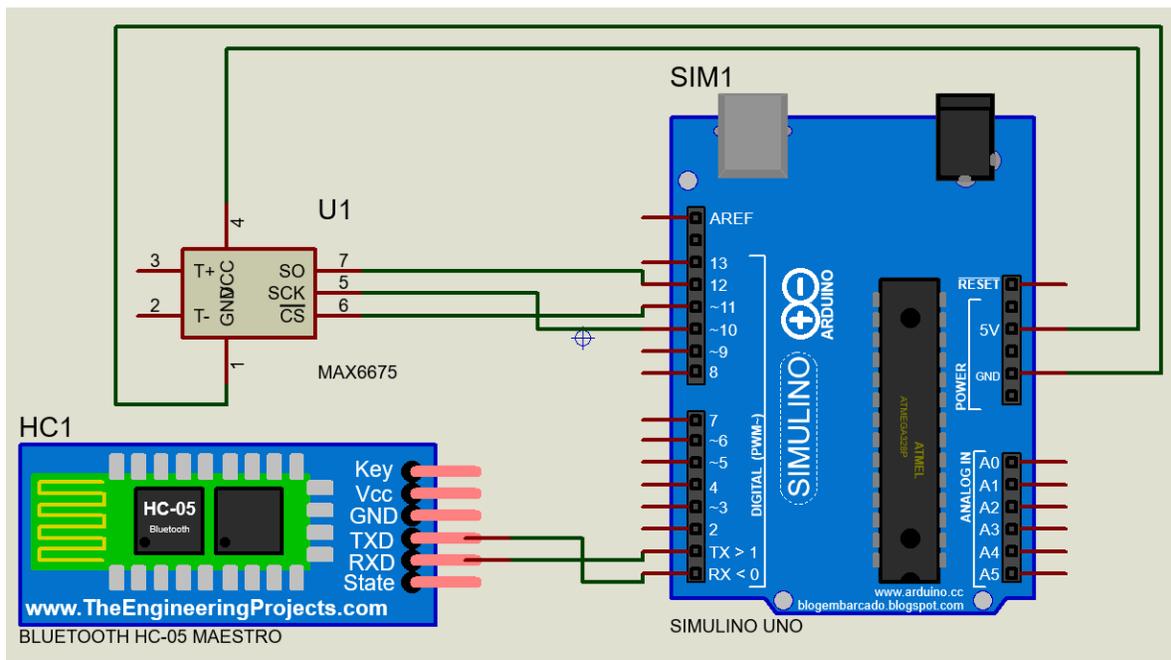


Figura 8. Circuito de sistema de medición de temperatura

Este circuito está compuesto por un Bluetooth hc 05 programado como maestro y por un módulo MAX6675, el cual va conectado con una termocupla tipo K. El propósito de este módulo es que el Arduino pueda leer los datos medidos por la termocupla, para este sistema se usó un Arduino UNO, cuya programación consiste en enviar la temperatura medida por la termocupla al sistema de control del aire utilizando el módulo Bluetooth hc-05 maestro.

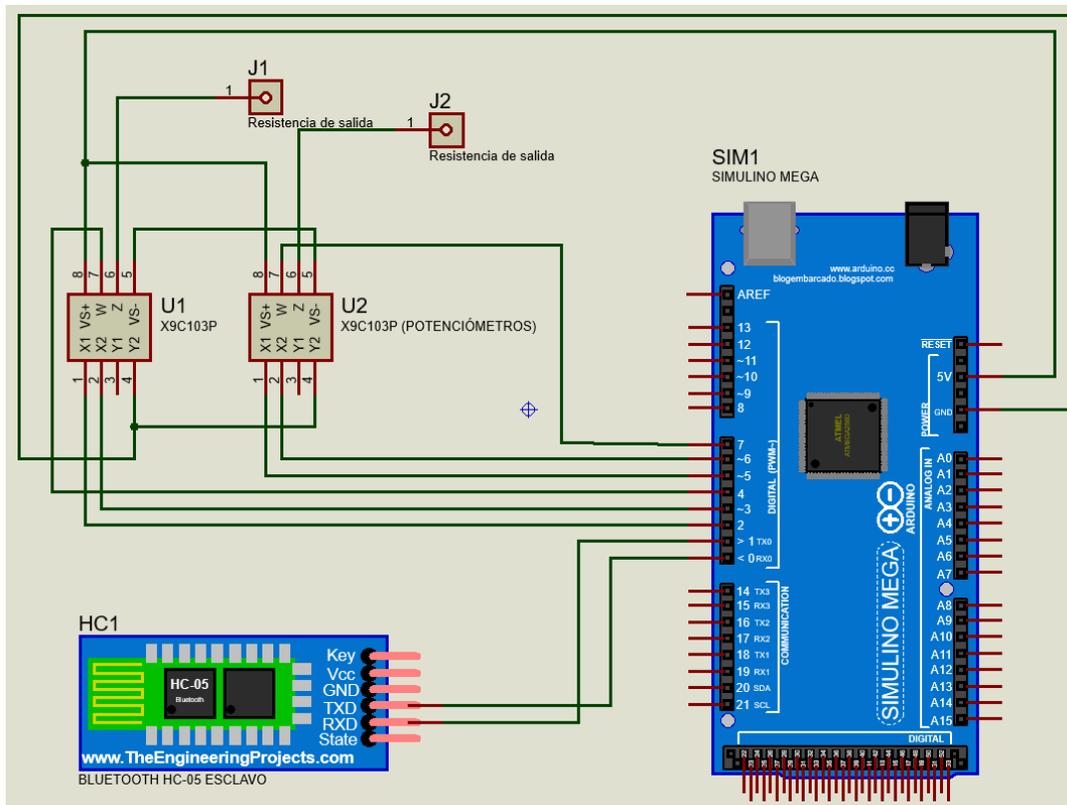


Figura 9. Circuito de sistema de control del aire acondicionado

Este circuito está compuesto por un módulo Bluetooth hc-05 programado como esclavo y por dos potenciómetros digitales X9C103P, estos potenciómetros tienen una resistencia máxima de 10kΩ y como se puede observar en la **Tabla 16**, por debajo de los 25°C se requiere una resistencia mayor a los 10kΩ, por este motivo fueron conectados en serie para obtener la resistencia necesaria para la temperatura medida, para este sistema se utiliza un Arduino MEGA, ya que estos potenciómetros necesitan de pines PWM para su correcto funcionamiento y este tipo de Arduino tiene los pines necesarios para esto, la programación de este sistema consiste en recibir la temperatura usando el Bluetooth hc-05 configurado como esclavo, para posteriormente subir o bajar la resistencia de los potenciómetros dependiendo del set point programado anteriormente, de manera que, si la temperatura medida es mayor al set point se encienda el compresor del aire acondicionado para empezar a enfriar y si la temperatura medida es menor al setpoint-1 se apague el compresor y se coloque el aire acondicionado en modo

ventilador, de esta manera se obtiene una histéresis de 1°C al sistema, con el fin de aumentar el tiempo en que el compresor permanece apagado y así, disminuir el consumo energético.

Por último, se realizaron mediciones del consumo energético del aire acondicionado luego de haber implementado las mejoras, con el fin de comparar resultados, para verificar si hay una temperatura de confort en las zonas requeridas y determinar el ahorro obtenido con estas mejoras.

#### **4.2. TIPO DE ESTUDIO**

Estudio descriptivo. Ya que el propósito del proyecto es intervenir en las condiciones de los aires acondicionados para que, de esta manera, sea posible la mejora de estos en su eficiencia energética como en la temperatura del recinto, obteniendo así una temperatura de confort para las áreas de trabajo del recinto. Se propuso un tipo de estudio descriptivo debido a la necesidad de un análisis en los aires acondicionados de ventana para determinar qué aspectos generan su alto consumo energético, determinando posibles mejoras para la eficiencia de este tipo de dispositivos y evaluando el consumo obtenido con el fin de obtener la eficiencia del sistema desarrollado.

### 4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO

Tabla 4. Cronograma – plan de trabajo

		<b>Universidad Autónoma del Caribe</b> <b>Proyecto de Grado - Ingeniería Mecatrónica</b> <b>PLAN DE TRABAJO</b>				
Componentes	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración (Días)		
<b>OBJETIVO 1</b>	<b>Realizar un estudio de aires acondicionados de ventana para su selección en cuanto a eficiencia</b>	<b>8/08/2019</b>	<b>8/11/2019</b>	<b>90</b>		
<b>Entregable # 1</b>	<b>Aire acondicionado de ventana seleccionado</b>	<b>8/08/2019</b>	<b>13/09/2019</b>	<b>35</b>		
Actividad 1	Estudiar el mercado de aires acondicionados de ventana con el fin de determinar los más vendidos con respecto a la casa fabricante.	8/08/2019	17/08/2019	9		
Actividad 2	Revisar que aire acondicionado de ventana es el mejor deficientemente, teniendo en cuenta consumo, tipo de refrigerante, eficiencia energética (etiqueta) y factor de potencia.	18/08/2019	1/09/2019	13		
Actividad 3	Seleccionar el aire acondicionado de ventana.	2/09/2019	13/09/2019	11		
<b>Entregable # 2:</b>	<b>Consumo energético del aire acondicionado seleccionado</b>	<b>14/09/2019</b>	<b>8/11/2019</b>	<b>55</b>		
Actividad 4	Determinar qué factores generan su alto consumo energético	14/09/2019	4/10/2019	20		
Actividad 5	Medir el factor de potencia/consumo del aire acondicionado.	5/10/2019	8/11/2019	35		
<b>OBJETIVO 2</b>	<b>Implementar un sistema de control que garantice una temperatura de confort en un recinto.</b>	<b>9/11/2019</b>	<b>19/01/2020</b>	<b>70</b>		
<b>Entregable # 3</b>	<b>Temperatura requerida en el recinto</b>	<b>9/11/2019</b>	<b>20/12/2019</b>	<b>40</b>		
Actividad 6	Encontrar la zona que se requiere tener la temperatura de confort en el recinto.	9/11/2019	12/11/2019	3		
Actividad 7	Analizar qué elementos generan calor dentro del recinto.	13/11/2019	20/11/2019	7		
Actividad 8	Realizar un perfil de temperatura en el recinto.	21/11/2019	1/12/2019	10		
Actividad 9	Colocar un sensor que mida la temperatura del lugar de confort	2/12/2019	20/12/2019	20		
<b>Entregable # 4</b>	<b>Sistema de control</b>	<b>21/12/2019</b>	<b>22/01/2020</b>	<b>30</b>		
Actividad 10	Determinar sistema de control.	21/12/2019	27/12/2019	6		
Actividad 11	Implementar el sistema de control.	28/12/2019	9/01/2020	12		
Actividad 12	Verificar y monitorear el funcionamiento del sistema de control.	10/01/2020	22/01/2020	12		

<b>OBJETIVO 3</b>	<b>Evaluar el consumo energético de aires acondicionados de ventana, que determine la eficiencia del sistema mecatrónico.</b>	<b>23/01/2020</b>	<b>24/03/2020</b>	<b>60</b>
<b>Entregable # 5</b>	<b>Evaluación de las mejoras implementadas al aire acondicionado seleccionado</b>	<b>23/01/2020</b>	<b>24/03/2020</b>	<b>60</b>
Actividad 13	Medir el factor de potencia/consumo del aire acondicionado.	23/01/2020	12/03/2020	50
Actividad 14	Realizar una medición de la temperatura en el recinto.	13/03/2020	19/03/2020	6
Actividad 15	Verificar si hay una temperatura de confort en las zonas de trabajo en el recinto.	20/03/2020	24/03/2020	4

## 5. PRESUPUESTO

### 5.1. PRESUPUESTO GENERAL

*Tabla 5. Presupuesto general.*

 <b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE</b> <small>Barranquilla, Atlántico</small>	<b>FORMATO DE PRESUPUESTO PARA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN CONVOCATORIAS INTERNAS</b>				GI-02-PR- 03-F02
					Versión 1
					12/06/2019
<b>PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO</b>					
<b>RUBROS</b>	<b>Fuentes de Financiamiento</b>				<b>Total</b>
	<b>Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia</b>	<b>INVESTIGADORES</b>	<b>Otras fuentes Externas</b>	<b>Contrapartida UAC</b>	
1. Personal Científico	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0	\$ 2.986.624	\$ 2.986.624
2. Personal de Apoyo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0	\$ 571.136	\$ 571.136
3. Consultaría especializada y Servicios Técnicos externos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0	\$ 0	\$ 0
4. Materiales e Insumos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 931.000	\$ 0	\$ 931.000
5. Trabajo de Campo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0	\$ 0	\$ 0
6. Equipos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 6.000.000	\$ 0	\$ 6.000.000
7. Bibliografía	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0	\$ 0	\$ 0
8. Material de difusión y Promoción de resultados	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 1.000.000	\$ 0	\$ 1.000.000
9. Viajes	\$ 0	\$ 0	\$ 2.000.000	\$ 0	\$ 2.000.000
<b>TOTAL PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 9.931.000</b>	<b>\$ 3.557.760</b>	<b>\$ 13.488.760</b>

## 5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO

El presupuesto invertido en este rubro consiste en el costo del tiempo empleado por el personal de investigación vinculados a este proyecto, que incluye a los directores y a los auxiliares de investigación.

Tabla 6. Costo personal científico.

1. PERSONAL CIENTIFICO										
Nombres y Apellidos	Tipo de Contrato	Función dentro del Proyecto	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Saul Antonio Perez Perez	Titular	Investigador Principal	\$ 46.666	4	16	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 2.986.624	\$ 2.986.624
2. Carlos Díaz Sáenz	Asociado	Co-Investigador	\$ 33.911	4	16	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 2.986.624	\$ 2.986.624
SUB-TOTAL						\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 5.973.248	\$ 5.973.248

Tabla 7. Costo personal de apoyo.

2. PERSONAL DE APOYO										
Nombres y Apellidos	Tipo de Vinculación	Función dentro del Proyecto	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL	
1. Estudiante 1	Practicante	Auxiliar de Investigación	\$ 2.231	8	16	\$ 0	\$ 0	\$ 285.568	\$ 285.568	
2. Estudiante 2	Practicante	Auxiliar de Investigación	\$ 2.231	8	16	\$ 0	\$ 0	\$ 285.568	\$ 285.568	
SUB-TOTAL						\$ 0	\$ 0	\$ 571.136	\$ 571.136	

### 5.3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA

Tabla 8. Costo consultoría especializada.

3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA Y SERVICIOS TECNICOS EXTERNOS				
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento		
		Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	SUB-TOTAL
1. Verificación y testeo de los materiales	Verificar el funcionamiento del sensor, potenciómetros, medidor de consumo y del aire acondicionado.	\$ 0	\$ 0	\$ 0
SUB-TOTAL		\$ 0	\$ 0	\$ 0

### 5.4. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

El presupuesto dedicado a esta sección incluye el costo estimado para cada uno de los componentes y materiales necesarios para el desarrollo del proyecto.

Tabla 9. Costo materiales e insumos.

4. MATERIALES E INSUMOS					
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento			
		Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Aire acondicionado	Obtener una temperatura optima en el recinto.	\$ 0	\$ 700.000	\$ 0	\$ 700.000
2. Termostato digital	Medición de la temperatura en el recinto.	\$ 0	\$ 25.000	\$ 0	\$ 25.000
3. Monitor de consumo energético y sistema de control	Medición del factor de potencia y control de la temperatura requerida en el recinto	\$ 0	\$ 90.000	\$ 0	\$ 90.000

4. Potenciómetros digitales	Simulación del termistor para el sensor del aire acondicionado	\$ 0	\$ 20.000	\$ 0	\$ 20.000
5. Adaptadores 9v – 1 A	Alimentación de los sistemas embebidos.	\$ 0	\$ 24.000	\$ 0	\$ 24.000
6. Modulo Bluetooth	Comunicación entre los sistemas embebidos.	\$ 0	\$ 12.000	\$ 0	\$ 12.000
7. Arduino uno	Control del aire acondicionado	\$ 0	\$ 60.000	\$ 0	\$ 60.000
SUB-TOTAL		\$ 0	\$ 931.000	\$ 0	\$ 931.000

Tabla 10. Costo trabajo de campo

5. TRABAJO DE CAMPO									
Descripción	Justificación	No. De días	No. De personas	Costo/día de esta día por persona	Transporte por persona (ida/vuelta)	Fuentes de Financiamiento			
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Estudio de mercado de los aires acondicionados.	Selección de marca de aire acondicionado más vendido en la ciudad.	21	2	\$0	\$6.000	\$ 0	\$12.000	\$ 0	\$12.000
SUB-TOTAL						\$ 0	\$12.000	\$ 0	\$12.000

Tabla 11. Costo equipos usados

6. EQUIPOS						
Descripción	Justificación	Cantidad	Fuentes de Financiamiento			
			Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Computadoras	Programación de la red de sensores	2	\$ 0	\$6.000.000	\$ 0	\$6.000.000
SUB-TOTAL			\$ 0	\$6.000.000	\$ 0	\$6.000.000

## 6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO

El prototipo presentado posteriormente estará compuesto por un Arduino uno, una termocupla tipo K y un módulo Bluetooth configurado como emisor, este prototipo fue el encargado de medir la temperatura y enviarle la señal obtenida a otro Arduino que realice el control al aire acondicionado, el prototipo presentado estará ubicado en la zona de la habitación que requiera de una temperatura de confort.

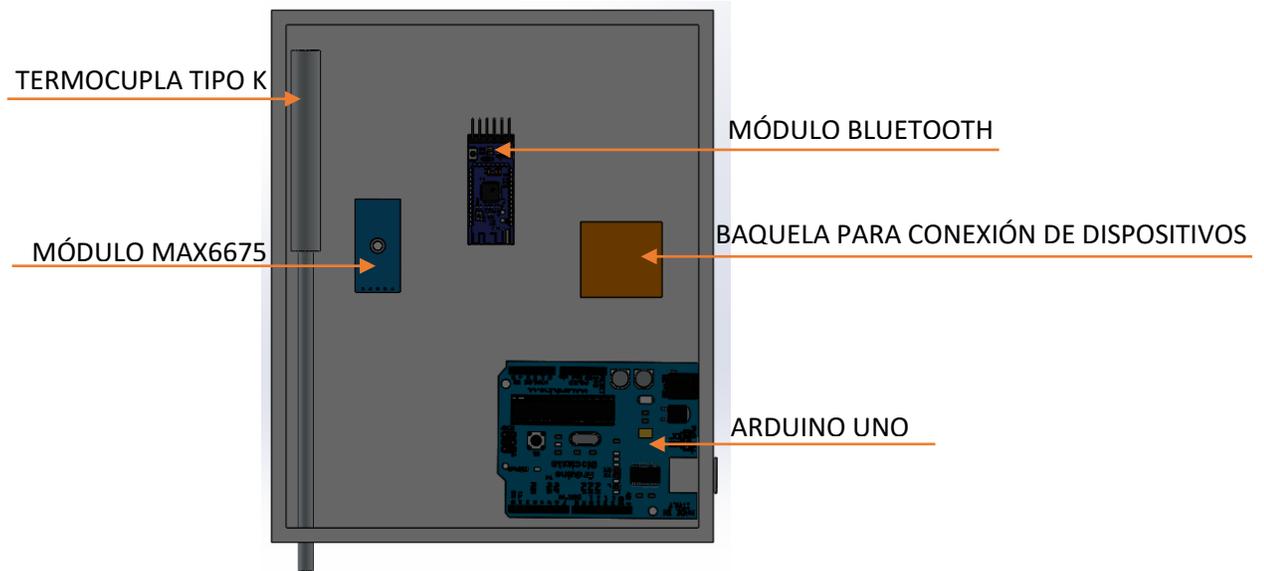


Figura 10. Vista superior del prototipo de medición de temperatura (propia autoría)

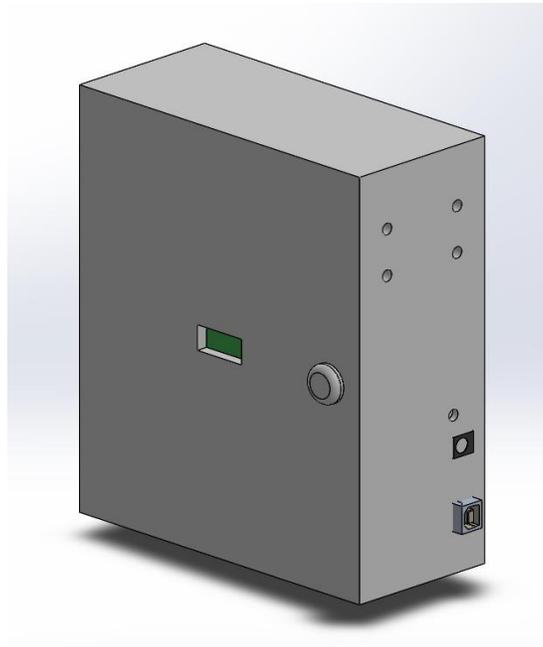


Figura 11. Vista isométrica del prototipo de medición de temperatura (propia autoría).

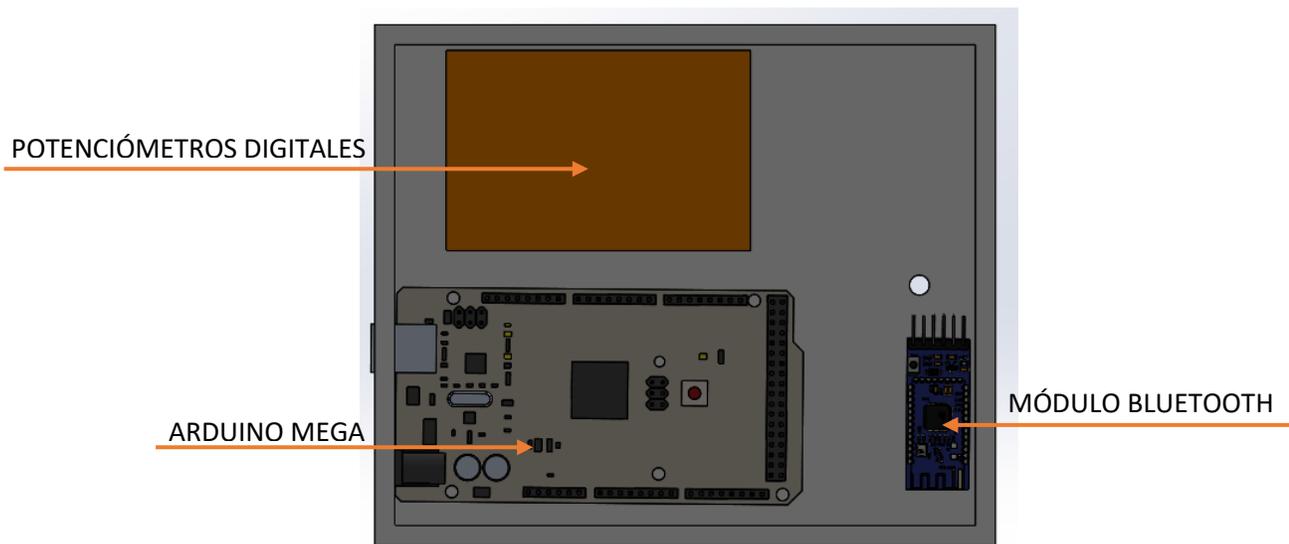
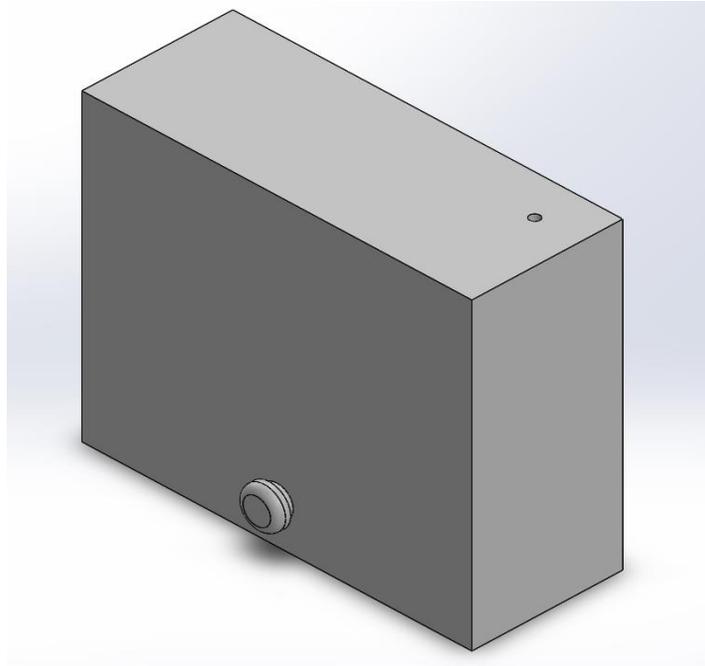


Figura 12. Vista superior del prototipo de control del aire (propia autoría).



*Figura 13. Vista isométrica del prototipo de control del aire (propia autoría).*

## **6.2. DISEÑO DISPOSITIVO FINAL**

El dispositivo constará de dos partes, la primera estará ubicada en la zona que requiere una temperatura de confort en la habitación, esta parte se encargará de realizar la medición de la temperatura para luego ser enviada utilizando un módulo Bluetooth a la siguiente parte del dispositivo, la cual se encargará de controlar el aire acondicionado, esta parte tendrá un Arduino, un módulo Bluetooth como receptor y dos potenciómetros que funcionarán para simular el termistor que utiliza el aire acondicionado como sensor, de esta manera se controlará el funcionamiento del aire acondicionado.

### **6.2.1. PROTOTIPO MEDICIÓN DE TEMPERATURA**

Este prototipo realizará la medición de la temperatura, de manera que esta información posteriormente sea enviada mediante un módulo Bluetooth configurado

para ser el emisor utilizando un Arduino UNO hacia el prototipo de control del aire acondicionado, el prototipo de medición de temperatura estará ubicado en la zona de la habitación que requiere una temperatura de confort, de modo que la temperatura tomada sea precisa a lo que requiere la persona situada en la habitación.

*Tabla 12. Dimensiones del dispositivo de medición de temperatura*

	Dimensión (cm)
Ancho	15.30
Largo	18.20
Grosor	6,9

### **6.2.2. PROTOTIPO CONTROL DEL AIRE ACONDICIONADO**

Este prototipo recibirá la información suministrada por el prototipo medición de temperatura utilizando un módulo Bluetooth configurado como receptor mediante Arduino, esta información será recibida al Arduino y con el código programado variará la resistencia en los potenciómetros de modo que, simulando el funcionamiento de un termistor, el aire acondicionado reciba la temperatura actual de la zona de confort y de esta forma pueda ser controlado.

*Tabla 13. Dimensiones prototipo control del aire acondicionado*

	Dimensión (cm)
Ancho	15.10
Largo	13.0
Grosor	6

## **6.3. MATERIALES**

### **6.3.1. AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA OAW085C**

Este aire acondicionado de ventana funciona a un voltaje de entrada de 110v, 6.4 A y 60 Hz, la cual es la frecuencia suministrada en Colombia, tiene una capacidad de enfriamiento de 8000 Btu/h y utiliza un refrigerante R410A, este refrigerante no es el más óptimo ya que contamina más que los otros refrigerantes, por lo cual, con el proyecto se buscará también la reducción de la contaminación mediante el ahorro energético.

### **6.3.2. ARDUINO UNO/MEGA**

Arduino uno/mega son sistemas embebidos capaces de ser programados por el software Arduino IDE utilizando una conexión por cable USB, el cual funciona para transmisión del código programado en el software al sistema embebido y a la vez como alimentación, la placa Arduino UNO cuenta con un puerto de corriente continua, el cual soporta desde 7v hasta 12v, esta es una de las razones por las cuales seleccionamos un Arduino uno, ya que con esto el dispositivo mecatrónico no dependerá de un computador para su alimentación, además cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida, de los cuales serán útiles para la conexión de los componentes del dispositivo de medición de temperatura, por otro lado, este Arduino cuenta sólo con 3 pines PWM, por lo que también utilizamos una placa Arduino MEGA, ya que este cuenta con 15 pines PWM de los cuales son necesarios 6 pines PWM para la conexión de los potenciómetros digitales en el dispositivo de control del aire acondicionado.

### **6.3.3. MÓDULO BLUETOOTH-HC05**

Este módulo Bluetooth está configurado para poder ser usado como maestro o esclavo, tiene un alcance máximo de hasta 10 m y un voltaje de alimentación de 3.6v hasta 6v, estas características nos son útiles para el proyecto, ya que se usaron dos, uno como emisor y el otro como receptor y la distancia entre estos será menor a 10 m, además de tener un voltaje de alimentación adecuado para ser conectado al Arduino.

#### **6.3.4. VATÍMETRO MEDIDOR DE CONSUMO**

Este dispositivo funciona para la medición de parámetros eléctricos tales como el voltaje, corriente, factor de potencia y potencia, por estos factores seleccionamos este dispositivo, ya que nos fue útil para realizar la medición del consumo energético y así realizar una comparación entre un antes y un después de la implementación de las mejoras, este dispositivo también cuenta con un tamaño pequeño, puede almacenar datos y tiene una pantalla LCD para la presentación de los datos, lo cual nos facilita la adquisición de estos.

#### **6.3.5. TERMOSTATO XH-W1209**

Es un sensor de temperatura tipo termistor, este dispositivo fue útil para realizar la medición de la temperatura en la zona de confort del recinto y para facilitar la visión de la temperatura medida, ya que este termostato cuenta con un display, además posee unas dimensiones bastante pequeñas facilitando su aplicación en el dispositivo de medición de temperatura, este dispositivo requiere de una alimentación de 12v para su funcionamiento.

#### **6.3.6. ADAPTADOR 12V-1 A**

Este adaptador tiene una alimentación desde 100VAC hasta 240VAC, el cual es regulado para tener una salida de 12v a 1 A, esto funcionó para la alimentación del arduino y del termostato, se seleccionó este adaptador ya que su voltaje de salida requerido por el termostato y el sistema embebido es de 12v a 1 A.

#### **6.3.7. TERMOCUPLA TIPO K**

Es un sensor de temperatura que comúnmente es utilizado industrialmente, está compuesto por dos alambres de diferente material soldados en un extremo con el fin de generar un voltaje medible luego de aplicar una temperatura en la unión de los metales, se seleccionó una termocupla tipo K debido a su bajo costo y su gran disponibilidad en el mercado, este dispositivo se utilizó para la medición de la temperatura en la zona de confort para enviar este dato desde el Bluetooth emisor al receptor y con esto realizar el control del aire acondicionado de ventana, además, se utilizó un módulo MAX6675 para una mejor conexión con el Arduino UNO, este módulo cuenta con una alimentación de 3.3v a 5v y posee unas dimensiones

adecuadas para su fácil implementación y ensamble en el dispositivo de medición de temperatura, además, utilizando este módulo se obtienen mediciones más precisas con una previa linealización en la respuesta de la termocupla, evitando de esta manera errores en el dispositivo.

#### 6.4. RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 14. Consumo del aire acondicionado de ventana sin mejoras

		HORA DE INICIO	HORA FINAL		
		5:00 p. m.	10:00 p. m.		
	FECHA	CONSUMO(KWH)	CONSUMO(KWH)	#CONSUMO (KWH)	Temperatura Exterior (°C)
1	19/03/2020	0	3,54	3,54	33
2	24/03/2020	3,54	6,6	3,06	34
3	28/03/2020	8,66	10,99	2,33	33
4	31/03/2020	10,99	13,59	2,6	32
5	2/04/2020	13,59	15,9	2,31	32
6	4/04/2020	15,9	18,29	2,39	33
7	5/04/2020	18,89	21,68	2,79	34
	TOTAL			19,02	

Como se puede observar en la **Tabla 14** se realizó un monitoreo del consumo en KWH por 7 días, en el mismo rango de horas, con el objetivo de saber cuánto consumía el electrodoméstico en un uso normal por día, y en total se llegó a consumir 19,02 KWH, además sacando la media del consumo que se tuvo, obtenemos un valor de 2,72 KWH con una desviación de 0,45 KWH del consumo energético.

Tabla 15. Valor en \$ del consumo

TARIFA EN \$/KWH	CONSUMO KWH TOTAL	VALOR EN \$
509,34	19,02	9687,6468 COP

En la **Como se** puede observar en la **Tabla 14** se realizó un monitoreo del consumo en KWH por 7 días, en el mismo rango de horas, con el objetivo de saber cuánto consumía el electrodoméstico en un uso normal por día, y en total se llegó a consumir 19,02 KWH, además sacando la media del consumo que se tuvo,

obtenemos un valor de 2,72 KWH con una desviación de 0,45 KWH del consumo energético.

Tabla 15 se realizó un supuesto de cuanto sería el valor en precio COP, teniendo en cuenta la tarifa en \$/KWH, consumo en KWH y con ello nos da un valor promedio de \$9688 COP.



Figura 14. Consumo aire acondicionado

En la **Figura 14** se puede ver de una manera más visual los datos de consumo del aire acondicionado de ventana, consumo vs fechas.



Figura 15. Consumo promedio

En la **Figura 15** podemos ver que durante los primeros días tuvo un alto consumo, eso se debe a que esos días, la temperatura fue bastante alta, pero después en los días siguientes la temperatura ambiente fue un poco baja, además se puede observar que los últimos días de estudio el consumo se tornó a elevarse.

Tabla 16. Caracterización del sensor del AC de ventana.

	<b>Grados (°C)</b>	<b>Grados(°F)</b>	<b>Valor de resistencia en kΩ</b>
<b>1</b>	22,4	72,32	11,67
<b>2</b>	22,5	72,5	11,46
<b>3</b>	23	73,4	11,12
<b>4</b>	23,2	73,76	10,96
<b>5</b>	23,7	74,66	10,61
<b>6</b>	24,4	75,92	10,13
<b>7</b>	25,3	77,54	9,71
<b>8</b>	25,6	78,08	9,48
<b>9</b>	27,2	80,96	9,04
<b>10</b>	27,6	81,68	8,87
<b>11</b>	27,9	82,22	8,76
<b>12</b>	28,5	83,3	8,51
<b>13</b>	28,9	84,02	8,38
<b>14</b>	29,5	85,1	8,08
<b>15</b>	29,9	85,82	7,9
<b>16</b>	30,1	86,18	7,82
<b>17</b>	30,7	87,26	7,59
<b>18</b>	30,8	87,44	7,69
<b>19</b>	31,3	88,34	7,5
<b>20</b>	31,9	89,42	7,31
<b>21</b>	32,1	89,78	7,28
<b>22</b>	32,4	90,32	7,24
<b>23</b>	32,8	91,04	7,06
<b>24</b>	33,2	91,76	7,01
<b>25</b>	33,3	91,94	6,92
<b>26</b>	33,4	92,12	6,92
<b>27</b>	33,6	92,48	6,89
<b>28</b>	33,8	92,84	6,81
<b>29</b>	33,9	93,02	6,79

Para conocer como era el comportamiento del sensor a ciertas temperaturas, se tomaron las mediciones con ayuda de un termostato digital para saber qué valor tenía el termistor ( $K\Omega$ ) a cierta temperatura con el objetivo de caracterizarlo, esto se puede ver en la **Tabla 16**.

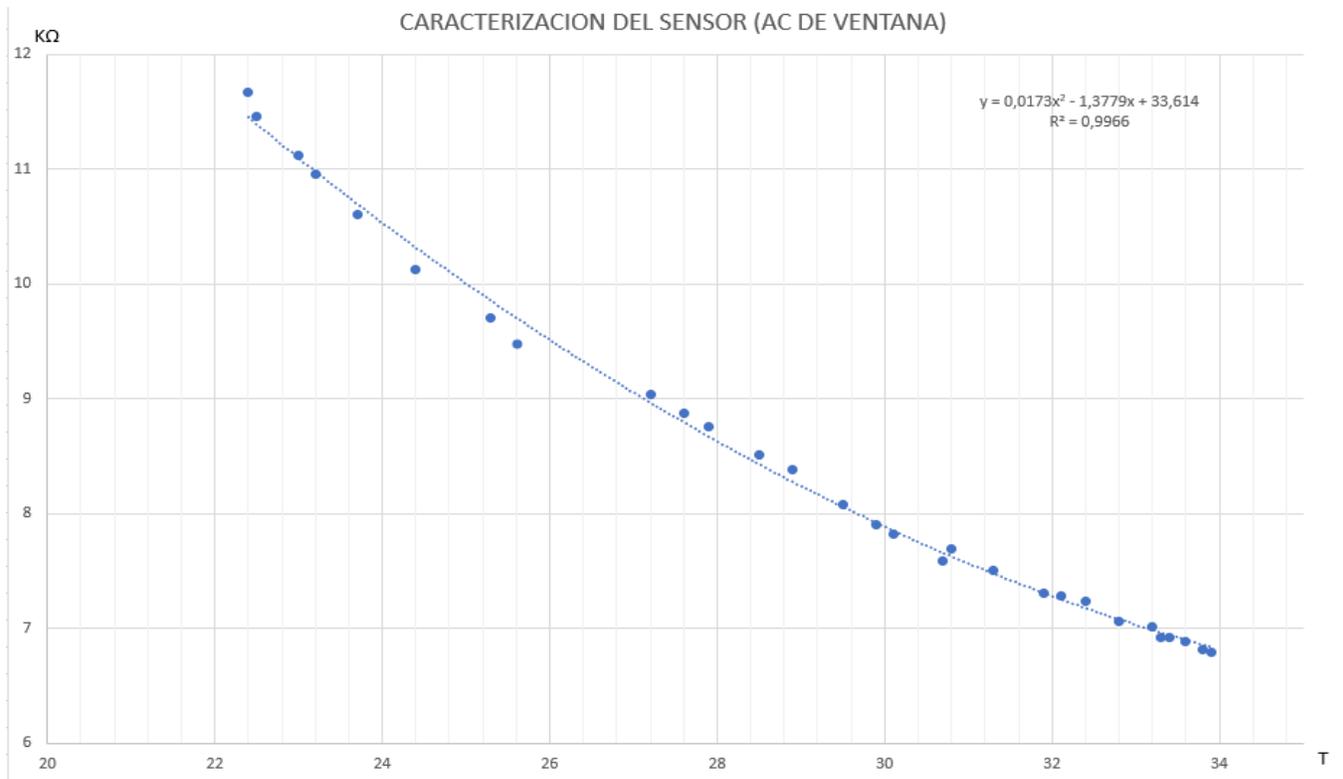


Figura 16. Caracterización del sensor

Después se graficó para conocer visualmente como era el comportamiento del sensor, y como se puede observar en la Grafica 3 el termistor es tipo NTC, es decir, cuando la temperatura aumenta su resistividad disminuye.

Con ello se obtuvo la siguiente ecuación 2.

$$R = 0,0173 * (°C)^2 - 1,3779 * (°C) + 33,614.$$

Ecuación 2

R= RESISTENCIA EN  $K\Omega$ .

A la vista del resultado, podemos afirmar que el ajuste del modelo es bueno, ya que el valor de  $R^2 = 0,9966$  es cercano a 1. Podemos concluir que el modelo es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables.

Pero el aire trabaja en grados Fahrenheit, por ello se hizo una modificación, quedando la ecuación de la siguiente manera.

$$R = 0,0173 * \left( ({}^{\circ}F - 32) * \frac{5}{9} \right)^2 - 1,3779 * \left( ({}^{\circ}F - 32) * \frac{5}{9} \right) + 33,614$$

*Ecuación 3*

*Tabla 17. Consumo del aire acondicionado de ventana (implementación del dispositivo mecatrónico).*

	FECHA	HORA DE INICIO	HORA FINAL	#CONSUMO (KWH)	Temperatura Exterior (°C)
		5:00 p. m.	10:00 p. m.		
1	21/04/2020	29,99	32,72	2,73	36
2	1/05/2020	42,52	45,18	2,66	36
3	8/05/2020	45,18	47,93	2,75	36
4	11/05/2020	47,93	50,69	2,76	37
5	14/05/2020	50,69	53,33	2,64	34
6	20/05/2020	53,33	55,43	2,1	33
7	28/05/2020	55,43	57,58	2,15	33
	TOTAL			17,79	

Como se puede observar en la **Tabla 17** se realizó por segunda vez el monitoreo del consumo en KWH por 7 días, en el mismo rango de horas, con el objetivo de saber cuánto consume el electrodoméstico con el dispositivo mecatrónico instalado, en total se llegó a consumir 17,79 KWH, además sacando media del consumo, nos da un valor de un valor de 2,54 KWH con una desviación del 0,29 KWH del gasto energético.

*Tabla 18. Valor en \$ del consumo (implementación del dispositivo mecatrónico)*

TARIFA EN \$/KWH	CONSUMO KWH TOTAL	VALOR EN \$
509,34	17,79	9061,1586 COP

En la **Como se** puede observar en la **Tabla 17** se realizó por segunda vez el monitoreo del consumo en KWH por 7 días, en el mismo rango de horas, con el objetivo de saber cuánto consume el electrodoméstico con el dispositivo mecatrónico instalado, en total se llegó a consumir 17,79 KWH, además sacando media del consumo, nos da un valor de un valor de 2,54 KWH con una desviación del 0,29 KWH del gasto energético.

Tabla 18 se realizó un supuesto de cuanto sería el valor en precio COP, teniendo en cuenta la tarifa en \$/KWH proporcionada por electricaribe, el consumo en KWH y con ello obtenemos un valor promedio de \$9061 COP, esto equivale a aproximadamente un 6,5% de ahorro en el consumo energético.

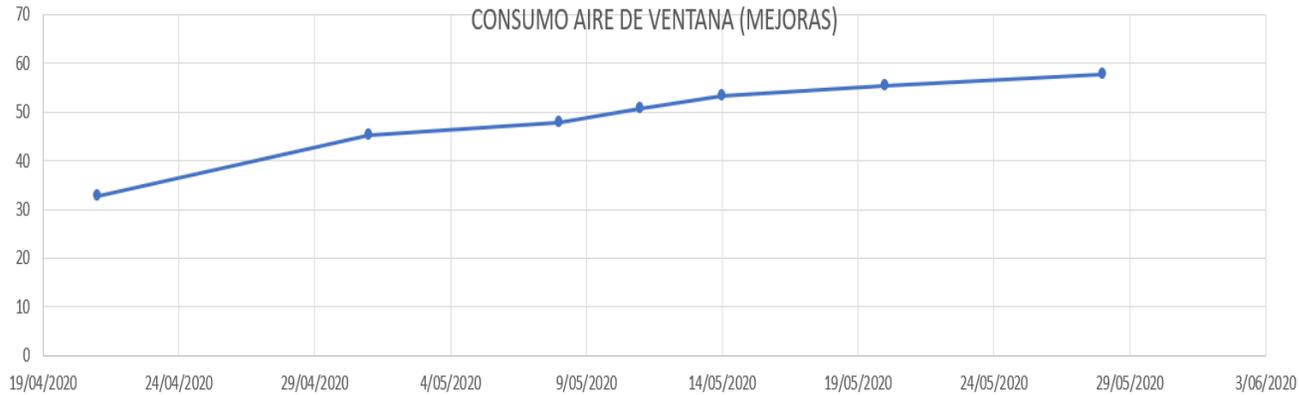


Figura 17. Consumo aire acondicionado (implementación del dispositivo mecatrónico)

En la **Figura 17** se puede ver de una manera más visual los datos de consumo del aire acondicionado de ventana con mejoras, consumo vs fechas.

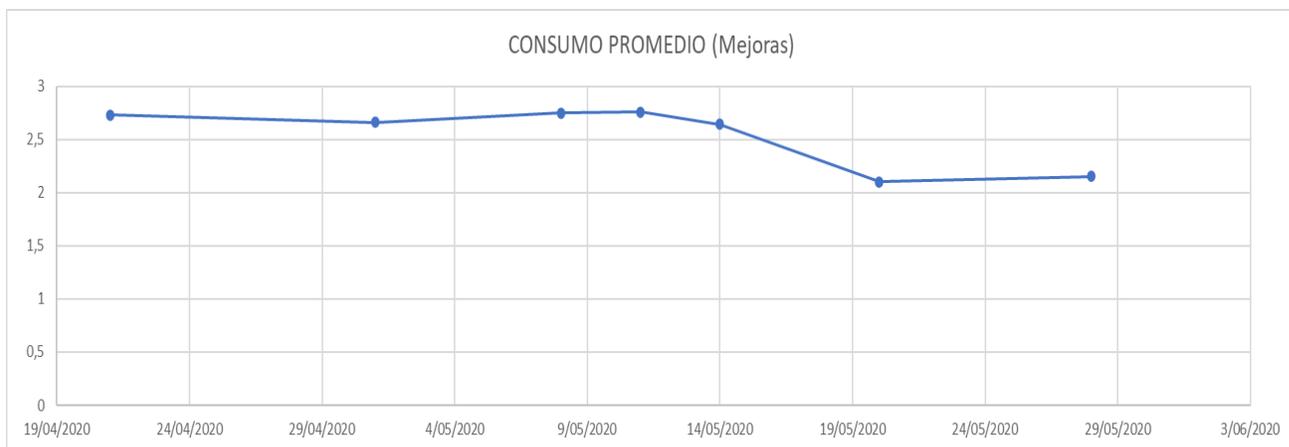


Figura 18. Consumo promedio (implementación del dispositivo mecatrónico)

En la **Figura 18**, podemos ver que en los primeros días tuvo un comportamiento casi lineal, con pocas variaciones, además cabe resaltar que, en esos días, la temperatura era en promedio de 36 grados Celsius, y al finalizar los días de estudio, la temperatura bajo y con ello se nota una reducción considerable del consumo en comparación a los primeros días.

Tabla 19. Consumo supuesto del aire acondicionado de ventana (implementación del dispositivo mecatrónico).

	FECHA	HORA DE INICIO	HORA FINAL	#CONSUMO (KW)	Temperatura Exterior (°C)
		5:00 p. m.	10:00 p. m.		
1	21/04/2020	29,99	32,72	2,15	33
2	1/05/2020	42,52	45,18	2,21	34
3	8/05/2020	45,18	47,93	2,15	33
4	11/05/2020	47,93	50,69	2,08	32
5	14/05/2020	50,69	53,33	2,08	32
6	20/05/2020	53,33	55,43	2,1	33
7	28/05/2020	55,43	57,58	2,21	34
	TOTAL			14,99	

Teniendo en cuenta que las mediciones de consumo para el aire acondicionado de ventana con mejoras no se realizaron con la misma temperatura exterior y sabiendo que, esta temperatura afecta en gran medida el interior provocando así un aumento

en el consumo energético, se hicieron cálculos utilizando regla de tres para obtener los posibles consumos a una temperatura igual a las que se encontraban presentes en las mediciones de consumo del aire acondicionado sin mejoras, con el fin de obtener el posible ahorro obtenido si se hubiesen realizado las mediciones con condiciones climáticas iguales.

*Tabla 20. Valor en \$ del consumo supuesto (implementación del dispositivo mecatrónico)*

TARIFA EN \$/KWH	CONSUMO KWH TOTAL	VALOR EN \$
509,34	14,99	7635,0066 COP

En la **Tabla 20** se realizó un supuesto de cuanto sería el valor en precio COP, teniendo en cuenta la tarifa en \$/KWH, consumo en KWH y con ello obtenemos un valor de \$7635 COP, esto equivale a aproximadamente un 21,18% de ahorro en el consumo energético, este es mucho mayor al 6,5% obtenido en las mediciones realizadas con el dispositivo con mejoras con una temperatura exterior bastante diferente a las que estuvieron presentes en las mediciones con el AC sin mejoras.

#### **6.4.1. MUESTRA POBLACIONAL**

La muestra poblacional del proyecto consiste en la medición del consumo energético del aire acondicionado, esto incluye con las mejoras implementadas y sin la implementación de mejoras, con el propósito de evitar errores de medición ya que, las condiciones climáticas no son iguales todos los días, por esto, fueron realizadas las mediciones alternando entre el dispositivo con mejoras y en su estado original, obteniendo así unos datos de consumo con condiciones climáticas similares. En la siguiente tabla se mencionarán los días en los que será medido el consumo del dispositivo:

*Tabla 21. Mediciones del dispositivo*

FECHA	DISPOSITIVO
19/03/2020	Sin mejoras

<b>24/03/2020</b>	Sin mejoras
<b>28/03/2020</b>	Sin mejoras
<b>31/03/2020</b>	Sin mejoras
<b>02/04/2020</b>	Sin mejoras
<b>04/04/2020</b>	Sin mejoras
<b>05/04/2020</b>	Sin mejoras
<b>21/04/2020</b>	Con mejoras
<b>01/05/2020</b>	Con mejoras
<b>08/05/2020</b>	Con mejoras
<b>11/05/2020</b>	Con mejoras
<b>14/05/2020</b>	Con mejoras
<b>20/05/2020</b>	Con mejoras
<b>28/05/2020</b>	Con mejoras

## 6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### CÁLCULO DE CAPACIDAD DEL AIRE ACONDICIONADO

Para calcular la capacidad de BTU del aire acondicionado requeridos para la habitación, se utilizó la **Ecuación 1**. Por lo cual, reemplazando las variables de la ecuación obtenemos:

$$V = Area * Altura = 8,94m^2 * 2,50m^2 = 22,285m^3$$

$$\#PyE = 1 + 0 = 1$$

$$C = \left(230 \frac{btu}{h * m^3} * 22,285m^3\right) + \left(1 * 476 \frac{Btu}{h}\right)$$

$$C = 5601,55 \text{ btu/h}$$

Por lo tanto, la capacidad del aire acondicionado requerido será de 8000 btu/h, ya que esta es la menor capacidad de enfriamiento que es comúnmente comerciable.

### SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control para el aire acondicionado consiste en dos dispositivos, uno de medición de temperatura el cual debe estar situado en la zona que requiere una temperatura de confort en la habitación cuya función es la de medir la temperatura y enviarla al dispositivo de control utilizando un módulo Bluetooth configurado como maestro, el dispositivo de control se encarga de recibir la información enviada utilizando un módulo Bluetooth esclavo, con la temperatura recibida determinará si debe aumentar o reducir la resistencia de los potenciómetros digitales, esto con el fin de obtener un funcionamiento similar al termistor NTC que utilizan los aires acondicionados como sensor de temperatura, este sistema de control es de lazo cerrado y de tipo SISO (una entrada, una salida), teniendo como entrada la temperatura medida y como salida el control del aire acondicionado.

## **COMPARACIÓN DEL CONSUMO SIN LAS MEJORAS Y CON LAS MEJORAS IMPLEMENTADAS**

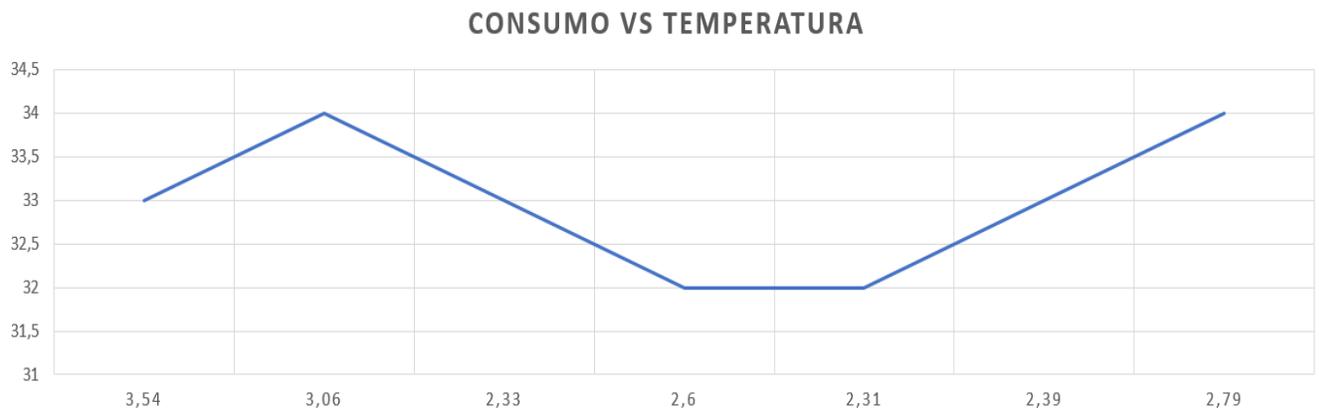
El consumo del AC de ventana con las mejoras, tuvo un menor consumo que sin el dispositivo, como se puede observar en las tablas **Tabla 14** y **Tabla 17**, aun existiendo una mayor temperatura en el ambiente, con una diferencia de consumo de 1,23 KWH, además el comportamiento del consumo por día fue distinto uno del otro, en la **Figura 14** se puede ver claramente que el consumo por día aumentaba más rápido a comparación de la **Figura 17** que corresponde al consumo del AC de ventana con las mejoras, por otro lado al ver la figura donde se representó el #consumo vs los días correspondiente a las pruebas, representado en las figuras **Figura 15** y **Figura 18** se puede ver que el consumo(con mejoras), es mucho más estable que sin el dispositivo mecatrónico.

Para determinar si existe una diferencia significativa entre el antes y después del consumo de la **Tabla 14** y **Tabla 17** se utilizó una distribución de probabilidad, llamada t-student. Como resultado fue ( $t(7) = 2,4$ ;  $P = 0,37$ ), la cual describe que se tomaron

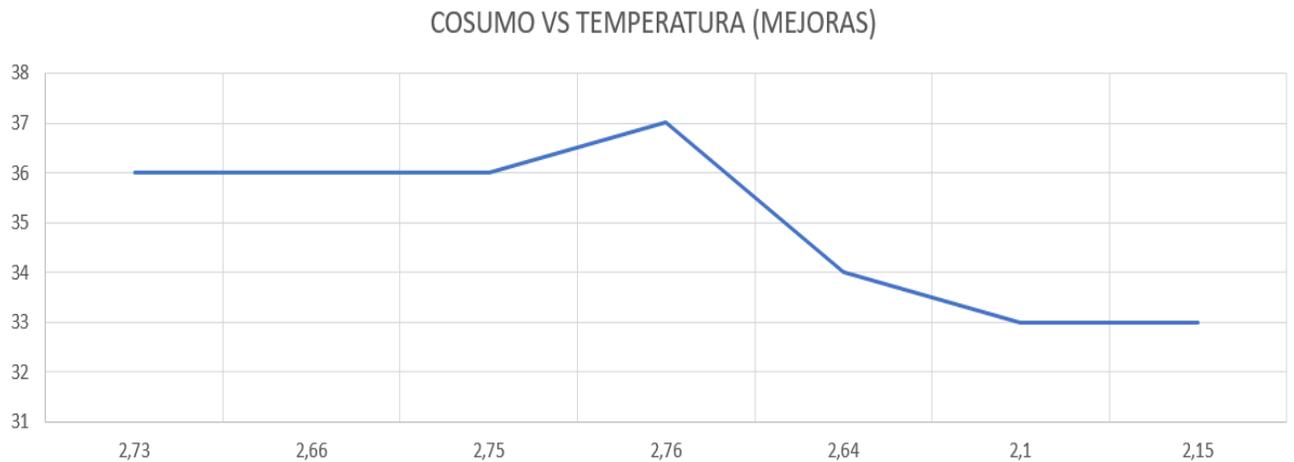
una muestra de 7 valores con un valor crítico de 2,4 y con una probabilidad de 0,37, por lo que la “P” en este caso es mayor que 0,05 (nivel de significancia), lo que significa que no se rechaza la hipótesis nula, es decir, que no hay diferencia significativa entre los dos procedimientos. Con esto se comprueba que, existiendo una diferencia de temperatura durante las mediciones el consumo del equipo con las mejoras en temperaturas altas no tuvo diferencia significativa en el consumo del aire acondicionado sin el dispositivo mecatrónico en temperaturas bajas.

Por ello si evaluamos el consumo sin las mejoras y con el supuesto de la **Tabla 19**, el resultado sería ( $t(7) = 2,4$ ;  $P = 0,012$ ), con una diferencia en la probabilidad, cuyo valor es menor de 0,05, lo que significa que se rechaza la hipótesis nula, es decir, que hay una diferencia significativa en los dos procedimientos, con ello se comprobaría que si fuesen estado en las mismas condiciones de temperatura se hubiese notado aún más las mejoras.

Además, si observamos la temperatura ambiente presente en los días de estudio, son diferentes.



*Figura 19. Consumo VS Temperatura (sin mejoras).*



*Figura 20. Consumo VS Temperatura (implementación del dispositivo mecatrónico)*

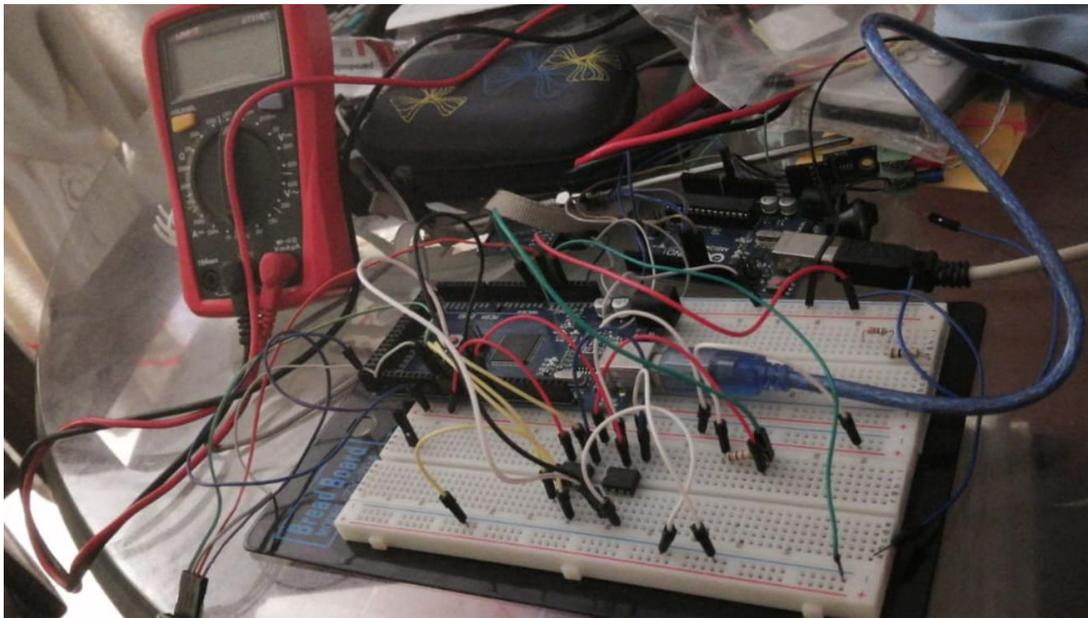
Teniendo en cuenta que en los ejes “Y” (temperatura) y “X” (consumo), se puede observar en las figuras **Figura 19** y **Figura 20**, que, en presencia del dispositivo mecatrónico, se tiene un mejor consumo en temperaturas altas, a comparación con el aire acondicionado sin él, incluso cuando se llega a una temperatura similar se puede notar que consume mucho menos.

También se analizó la temperatura en la zona de confort y se comprobó que la temperatura deseada se mantenía una vez este llegaba al valor como se puede observar en la **Figura 21**.



*Figura 21. Temperatura de confort.*

### **6.5.1. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO**



*Figura 22. Prototipo del dispositivo mecatronico*

Inicialmente se realizó el montaje en protoboard del dispositivo de medición de temperatura y del dispositivo de control del aire acondicionado, este montaje puede verse en la **Figura 22**, las pruebas que se realizaron fueron una verificación de

comunicación entre los módulos Bluetooth, primeramente enviando datos pequeños como números o letras y posteriormente enviando la temperatura medida por la termocupla en el dispositivo de medición de temperatura, luego de esto, se verificó la variación de la resistencia de los potenciómetros digitales, de forma que si la temperatura medida fuese mayor a la temperatura de set point disminuya la resistencia al mínimo posible, con el fin de encender el compresor del aire acondicionado, en caso contrario, que la resistencia aumente al máximo posible para que se apague el compresor del AC y se encienda el ventilador, la resistencia de los potenciómetros digitales fue medida utilizando un multímetro.

### 6.5.2. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL

Después de realizar el montaje completo del dispositivo mecatrónico, se realizaron pruebas durante su funcionamiento para comprobar que la comunicación entre todos los dispositivos fuese la correcta.

Una vez se ubicaron los dispositivos (Dispositivo 1; en el lugar de confort, Dispositivo 2; cerca del aire acondicionado de ventana), se analizaron los datos que le enviaba el Dispositivo 1 al dispositivo 2, como se puede ver en la **Figura 23**.

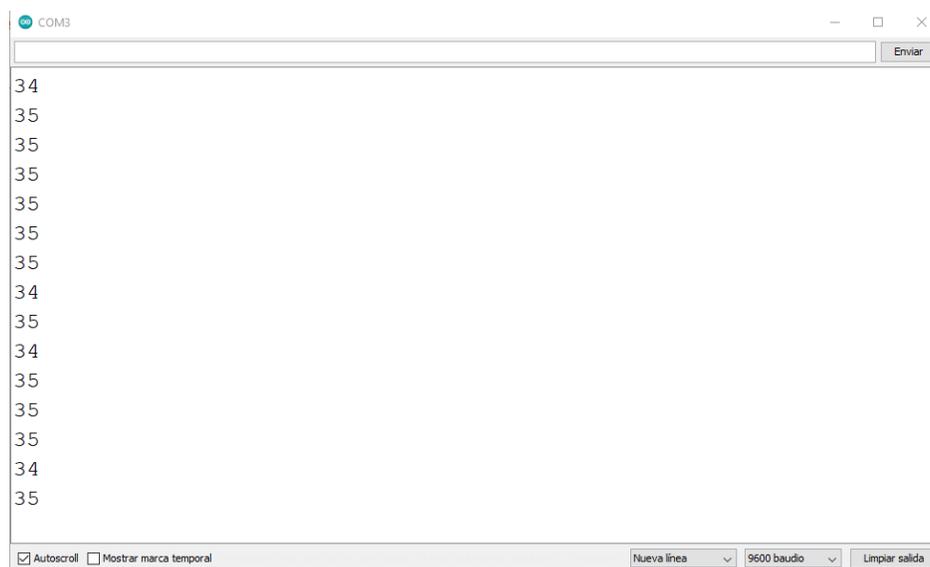
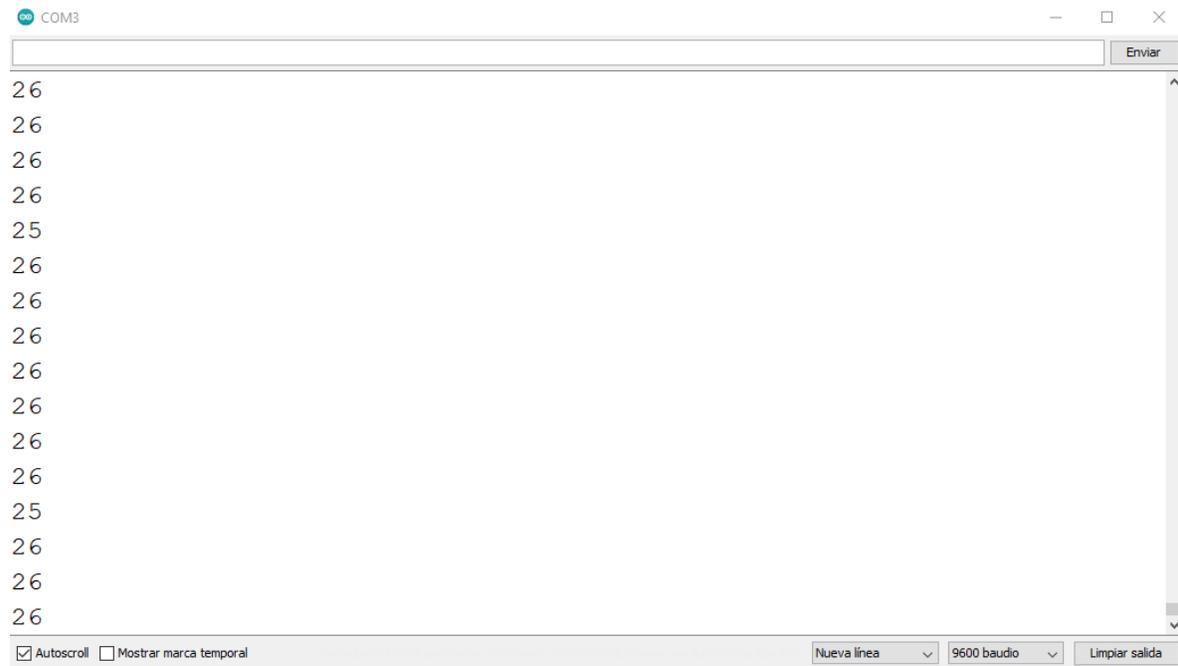


Figura 23. Medición de la temperatura inicial (implementación del dispositivo mecatrónico)

Después se evaluó que se cumplieran las condiciones programadas (si el valor está por encima del set point, el AC debe enfriar, y si el valor está por debajo del set point, el AC debe ventilar).

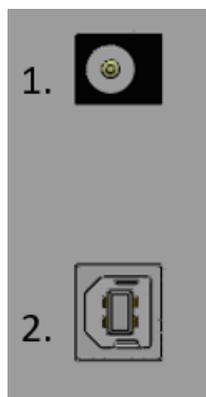
Como se puede observar en la **Figura 24**, la temperatura llego al set point (26°C).



*Figura 24. Medición de la temperatura final (set point)*

Una vez este reciba el valor de 25°C constantemente, se le mandara la señal al aire acondicionado para cumplir las condiciones dadas, asimismo cuando reciba el Dispositivo 2 el valor de 27°C.

## 6.6. MANUAL DE USUARIO



*Figura 25. Conexión de los dispositivos mecatrónicos*

El pin 1 corresponde a la fuente de alimentación de los dispositivos, puede ser alimentada con un voltaje de entrada de 7-12VDC, el pin 2 corresponde a la entrada USB para la programación de los dispositivos.

Inicialmente se debe realizar la conexión del dispositivo de control al aire acondicionado, conectando los pines de salida de los potenciómetros al sensor de temperatura del aire acondicionado y ubicar el dispositivo de medición de temperatura en la zona de confort de la habitación, posterior a esto se debe realizar la conexión de los dispositivos mecatrónicos a su fuente de alimentación, estos requieren de un voltaje de entrada de 7-12VDC, se recomienda primero conectar el dispositivo de control del aire acondicionado y luego el dispositivo de medición de temperatura para una buena sincronización entre los dispositivos. Posterior a esto, al encender el aire se iniciará el control del aire acondicionado para obtener la temperatura deseada en la zona de confort, teniendo en cuenta que inicialmente el código viene configurado para una temperatura de 26°C, en caso de querer modificar esta temperatura de confort se debe realizar un cambio en el código del dispositivo de control, consiste en reemplazar el número que se encuentra asignado a la variable 'setpoint' por la temperatura deseada, por ejemplo, si se quiere una temperatura de confort de 20°C, se haría este cambio en el código:

```
int setpoint = 26;  >>  int setpoint = 20;
```

Posterior a esto, se debe subir el código al dispositivo, cuando el nuevo código se encuentre subido se puede proceder a conectar el voltaje de entrada al dispositivo de medición de temperatura y encender el aire acondicionado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se seleccionó el aire acondicionado de ventana Olimpo OAW085C, realizando un estudio previo y concluyendo que este aire acondicionado era el peor eficientemente, ya que este contaba con un consumo bastante alto y además utiliza un refrigerante R410A el cual es bastante contaminante, por lo que un ahorro en el consumo sería de mucha ayuda para el usuario y para el medio ambiente, posterior a esto, se implementó el sistema de control seleccionado el cual estuvo compuesto por dos potenciómetros digitales con el fin de simular el termistor NTC que tenía el aire acondicionado inicialmente como sensor de temperatura, este sistema de control garantizó la temperatura en la zona de confort seleccionada en la habitación, teniendo en cuenta una histéresis para mantener esa temperatura y obtener un mayor ahorro en el consumo energético, además se determinó la eficiencia del sistema mecatrónico con la evaluación del consumo en un antes-después de aplicar las mejoras al dispositivo, para esta evaluación se tomó la misma cantidad de horas y días. Se concluyó que el consumo del AC de ventana tuvo un menor consumo utilizando las mejoras, incluso existiendo una gran diferencia en la temperatura exterior, teniendo una diferencia de consumo de 1,23 KWH, esto representó un 6,5% de ahorro en el consumo, este ahorro parece poco, pero con esto se puede obtener un ahorro acumulado en caso tal de no existir una diferencia en la temperatura exterior. Se calculó un consumo supuesto presentado en la Tabla 19, este consumo supuesto fue mucho menor al calculado, obteniendo un ahorro de 21,18% y una diferencia de consumo de 4,03 KWH, siendo mucho más significativo si se hubiesen obtenido unas mediciones con condiciones climáticas iguales. Se recomienda seguir las indicaciones expresadas en el manual de usuario para la correcta instalación del dispositivo y evitar errores en la conexión de los dispositivos y medición de estos. Para futuros proyectos se recomienda que el usuario pueda interactuar con el set point del aire acondicionado de ventana desde su Smartphone, además que pueda monitorear la temperatura de la habitación, y que la fuente de alimentación del dispositivo mecatrónico sea por medio de baterías.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. K., «How Much Does it Cost to Run an Air Conditioner?,» [En línea]. Available: <https://asm-air.com/airconditioning/much-cost-run-air-conditioner/>. [Último acceso: 09 09 2019].
- [2] Climatastic, «Most Energy Efficient Window Air Conditioners,» [En línea]. Available: <https://www.climatastic.com/most-energy-efficient-window-air-conditioners/>. [Último acceso: 06 09 2019].
- [3] B. Palmer, «is-central-air-conditioning-more-energy-efficient-than-window-units,» [En línea]. Available: <https://slate.com/technology/2011/05/is-central-air-conditioning-more-energy-efficient-than-window-units.html>. [Último acceso: 06 09 2019].
- [4] D. Senica, «How Many Watts Does an Air Conditioner Use?,» [En línea]. Available: <https://www.senicaair.com/blog/how-many-watts-does-an-air-conditioner-use>. [Último acceso: 06 09 2019].
- [5] S. Bearman, «Why about a quarter of US households are stuck with ugly and loud window AC units.,» [En línea]. Available: <https://www.cnbc.com/2018/07/26/ac-units-central-air-summer-window-new-york-america.html>. [Último acceso: 07 09 2019].
- [6] Shodhganga, «WINDOW AIR CONDITIONER AND LITERATURE REVIEW,» [En línea]. Available: [https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/142340/12/12\\_chapter%202.pdf](https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/142340/12/12_chapter%202.pdf). [Último acceso: 08 09 2019].
- [7] Top10talks., «AC Power Consumption & Electricity Bill Calculation,» [En línea]. Available: <https://top10talks.com/ac-power-consumption/>. [Último acceso: 08 09 2019].
- [8] M. a. I. V. McNeil, «Future air conditioning energy consumption in developing countries and what can be done about it: the potential of efficiency in the residential sector,» [En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/future-air-conditioning-energy-consumption-developing-countries-done-about-it-potential-efficiency/>. [Último acceso: 02 09 2019].
- [9] Michaelbluejay, «Saving on air conditioning & cooling,» [En línea]. Available: <https://michaelbluejay.com/electricity/cooling.html>. [Último acceso: 08 09 2019].
- [10] A. Southeast, «How Much Wattage Does My AC Use?,» [En línea]. Available: <https://airconditioningsoutheast.com/tips/how-much-wattage-does-my-ac-use/>. [Último acceso: 08 09 2019].
- [11] M. a. B. H. Martinez Gomez, «Estudio de eficiencia energética de equipos y sistemas de aire acondicionado en la edificación del bloque "G" de la Universidad Autónoma del Caribe.,» [En línea]. Available: [Repositorio.uac.edu.co](http://repositorio.uac.edu.co/handle/123456789/803). Available at: <http://repositorio.uac.edu.co/handle/123456789/803>. [Último acceso: 02 09 2019].

- [12] K. Mozammel, «STUDY OF PERFORMANCE OF AN AIR CONDITIONING SYSTEM AND COOLING LOAD CALCULATION BY USING DEVELOPED SOFTWARE FOR A BUILDING,» [En línea]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/a7c5/d2960d43ff6dd89389969e854f8f09ffd17c.pdf>. [Último acceso: 02 09 2019].
- [13] S. S. S. & R. V. Naidu, «Performance Improvement of Window Air Conditioner by using Bottle Neck Arrangement.,» [En línea]. Available: <https://inpressco.com/wp-content/uploads/2017/09/Paper2155-160.pdf>. [Último acceso: 02 09 2019].
- [14] H. Almutairi, «Low Energy Air Conditioning for Hot Climates.,» [En línea]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/9141/cac304c2e1183acd576dcab66e339c95f63b.pdf>. [Último acceso: 21 09 2019].
- [15] J. Daiber, «Increasing Energy Efficiency of HVAC Systems in Buildings Using Phase Change Material,» [En línea]. Available: <https://openscholarship.wustl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1464&context=etd>. [Último acceso: 21 09 2019].
- [16] J. Dahlkvist, «Development & Optimization of a Portable Air Conditioner.,» [En línea]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:906872/FULLTEXT01.pdf>. [Último acceso: 02 09 2019].
- [17] C. a. L. D. Cheng, «Smart sensors enable smart air conditioning control.,» [En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/smart-sensors-enable-smart-air-conditioning-control/>. [Último acceso: 02 09 2019].
- [18] H. a. A. A. Ozkan, «A smart air conditioner in smart home.,» [En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/smart-air-conditioner-smart-home/>. [Último acceso: 10 09 2019].
- [19] C. Orozco. [En línea]. Available: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/7329/4337>. [Último acceso: 22 09 2019].
- [20] W. Ho, «Air-conditioning system design for optimum control performance in Hong Kong.,» [En línea]. Available: [https://repository.lboro.ac.uk/articles/Air-conditioning\\_system\\_design\\_for\\_optimum\\_control\\_performance\\_in\\_Hong\\_Kong/9455216](https://repository.lboro.ac.uk/articles/Air-conditioning_system_design_for_optimum_control_performance_in_Hong_Kong/9455216). [Último acceso: 02 09 2019].
- [21] A. Zimmerman, «What Temperature Means in Science,» [En línea]. Available: <https://www.thoughtco.com/temperature-definition-in-science-2699014>. [Último acceso: 28 09 2019].
- [22] Thermodynamics. [En línea]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/thermo.html>. [Último acceso: 28 09 2019].
- [23] Y. & P. C. J. Çengel, Transferencia de calor y masa (3rd ed., pp. 17-27)., McGraw-Hill/Interamericana, 2007.
- [24] J. Holman, Transferencia de calor (8th ed., p. 1), CECSA., 2003.
- [25] Climate.ncsu.edu., «Latent and Sensible Heat | North Carolina Climate Office,» [En línea]. Available: <https://climate.ncsu.edu/edu/Heat>. [Último acceso: 02 10 2019].

- [26] E. & M. M. Alomá, Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 25(3), 387-400.
- [27] P. S. M. W. C. J. & Z. P. Gamazo, Modelación de procesos de evaporación y condensación en el interior de una celda de residuos. Estudios en la Zona no Saturada del Suelo, 2007..
- [28] J. C. Z. S. H. & M. C. Á. Gutiérrez, La refrigeración en la enseñanza de la física. Latin-American Journal of Physics Education, 2010..
- [29] F. J. & M. M. D. A. V. I. D. Cárcel Carrasco, La energía geotérmica de baja entalpía. 3C Tecnología., 2015.
- [30] H. M. V. & T. O. E. P. Salcedo, Estudio y aplicación de ciclos de refrigeración-Refrigerantes alternativos. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 2005..
- [31] R. G. Leal, Ciclo de refrigeración por la compresión de un vapor.
- [32] E. H. Goríbar, Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración, Limusa., 1997.
- [33] Energyeducation.ca, «Thermal power - Energy Education,» [En línea]. Available: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Thermal\\_power..](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Thermal_power..) [Último acceso: 02 10 2019].
- [34] «Edu.xunta.es,» [En línea]. Available: [https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contido/26\\_potencia.html](https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contido/26_potencia.html). [Último acceso: 20 10 2019].
- [35] Electricasas, «Factor de Potencia. ¿Qué es y cómo medirlo?,» [En línea]. Available: <https://www.electricasas.com/factor-de-potencia-mediciones-electricas-electricidad/factor-de-potencia/>. [Último acceso: 22 09 2019].
- [36] D. Melendi, «Energía,» [En línea]. Available: <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Energ.htm>. [Último acceso: 11 11 2019].
- [37] «Energía mecánica,» [En línea]. Available: <https://energia-nuclear.net/definiciones/energia-mecanica.html>. [Último acceso: 11 11 2019].
- [38] A. H. J. J. J. a. D. J. Campbell, «Law of conservation of energy,» [En línea]. Available: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Law\\_of\\_conservation\\_of\\_energy](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Law_of_conservation_of_energy). [Último acceso: 11 11 2019].
- [39] J. Fernandez, «Trabajo Mecánico,» [En línea]. Available: <https://www.fiscalab.com/apartado/trabajo-fisica#contenidos>. [Último acceso: 11 11 2019].
- [40] I. Cuadros, «LEYES DE KIRCHHOFF,» [En línea]. Available: <https://geekelectronica.com/leyes-de-kirchhoff/>. [Último acceso: 11 11 2019].
- [41] M. Olmo, «Temperature Coefficient of Resistance.,» [En línea]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/restmp.html>. [Último acceso: 11 11 2019].
- [42] «Efecto de la temperatura sobre la resistencia . Ley de Ohm,» [En línea]. Available: <http://www.sapiensman.com/electrotecnia/problemas3.htm>. [Último acceso: 11 11 2019].

- [43] C. Velasco, «Humedad Relativa: Importancia de las condiciones ambientales en los procesos Farmacéuticos,» [En línea]. Available: <https://cercal.cl/humedad-relativa-procesos-farmaceuticos/>. [Último acceso: 11 11 2019].
- [44] P. Serrano, «Diagrama psicrométrico del aire, uso y variables fundamentales.,» [En línea]. Available: <https://www.certificadosenergeticos.com/diagrama-psicrometrico-aire-uso-variables>. [Último acceso: 11 11 2019].
- [45] M. Lallanilla, «What Is Dew Point?,» [En línea]. Available: <https://www.livescience.com/43269-what-is-dew-point.html>. [Último acceso: 13 11 2019].
- [46] Dave, «What is a Temperature Sensor?.,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.watelectrical.com/6-different-types-of-temperature-sensors-with-their-specifications/>. [Último acceso: 02 10 2019].
- [47] «Air Conditioner Temperature Thermostat Sensor Problems - Air Supply Heating & Cooling,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.airsupplyinclv.com/services/air-conditioning-troubleshooting-guide/air-conditioner-temperature-thermostat-sensor-problems/>. [Último acceso: 28 09 2019].
- [48] i. Encyclopædia Britannica, «Condenser,» 06 01 2016. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/condenser-cooling-device>. [Último acceso: 02 10 2019].
- [49] Swtc.edu., «Air Conditioning - Evaporator.,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.swtc.edu/Ag\\_Power/air\\_conditioning/lecture/evaporator.htm](https://www.swtc.edu/Ag_Power/air_conditioning/lecture/evaporator.htm). [Último acceso: 02 10 2019].
- [50] «Serpentin o tubo refrigerante,» 2019. [En línea]. Available: <https://instrumentoslaboratorio.net/serpentin-o-tubo-refrigerante/>. [Último acceso: 14 10 2019].
- [51] G. & R. M. Keredan, Los aparatos de medida de la corriente eléctrica: amperímetro, voltímetro, vatímetro., Bogotá.: Servicio Nacional de Aprendizaje. SENAx, 1965.
- [52] I. Mecafenix, «Termistor sensor de temperatura,» [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/termistor-sensor-temperatura/>. [Último acceso: 09 04 2020].
- [53] J. Seaone, «¿Cómo calculo los BTU de mi aire acondicionado portátil?,» 02 03 2019. [En línea]. Available: <https://airesacondicionadosportatiles.net/calculo-de-btus-aire-acondicionado-portatil/>. [Último acceso: 10 04 2020].
- [54] Edu.xunt.gal, «Efectos y aplicaciones de la electricidad,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.edu.xunta.gal/centros/iesblancoamorculleredo/aulavirtual2/pluginfile.php/20814/mod\\_resource/content/0/10\\_paquetes/Paquetes\\_web/6\\_enetricidad/14\\_efectos\\_y\\_aplicaciones\\_de\\_la\\_electricidad.html](https://www.edu.xunta.gal/centros/iesblancoamorculleredo/aulavirtual2/pluginfile.php/20814/mod_resource/content/0/10_paquetes/Paquetes_web/6_enetricidad/14_efectos_y_aplicaciones_de_la_electricidad.html). [Último acceso: 16 04 2020].
- [55] Vistronica, «Termostato digital xh-w1209,» [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/sensores/temperatura/termostato-digital-xh-w1209-detail.html>. [Último acceso: 13 04 2020].
- [56] J. L. R., «Evaporador,» [En línea]. Available: <https://como-funciona.co/un-evaporador/>. [Último acceso: 16 04 2020].

- [57] «Condensador de aire acondicionado,» [En línea]. Available: <https://mediateca.educa.madrid.org/imagen/bk34s8h3qlvme85v>. [Último acceso: 16 04 2020].
- [58] «Voltiamperimetro digital,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-515193775-voltiamperimetro-digital-vatimetro-medidor-de-consumo-ac-\\_JM?quantity=1#reco\\_item\\_pos=0&reco\\_backend=machinalis-seller-items&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vip-seller\\_items-above&reco\\_id=00a0a68e](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-515193775-voltiamperimetro-digital-vatimetro-medidor-de-consumo-ac-_JM?quantity=1#reco_item_pos=0&reco_backend=machinalis-seller-items&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=00a0a68e). [Último acceso: 15 04 2020].
- [59] «Termistor NTC,» [En línea]. Available: <https://fullserviceparana.blogspot.com/2014/06/reparacion-de-sensor-sonda-o-termistor.html>. [Último acceso: 15 04 2020].
- [60] aprendeconenergia, «¿Qué es la eficiencia energética?,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.aprendeconenergia.cl/usos-y-eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>. [Último acceso: 17 07 2020].
- [61] N. ONU, «Un aire acondicionado más eficiente puede ahorrar 8 años de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero,» 2020. [En línea]. Available: <https://news.un.org/es/story/2020/07/1477651>. [Último acceso: 17 07 2020].
- [62] L. Ettenson, «La eficiencia energética,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.nrdc.org/es/experts/lara-ettenson/eficiencia-energetica-superheroína-planeta>. [Último acceso: 17 07 2020].
- [63] periodismoycreatividad, «Mitos y verdades sobre el consumo de energía,» 2014. [En línea]. Available: <https://periodismoycreatividad.wordpress.com/2014/07/28/mitos-y-verdades-sobre-el-consumo-de-energia/>. [Último acceso: 17 07 2020].
- [64] T. A. Acondicionado, «Qué es el Aire Acondicionado Inverter y qué ventajas tiene,» [En línea]. Available: [https://tuaireacondicionado.net/inverter-ventajas-de-comprar/#Ventajas\\_de\\_un\\_aire\\_acondicionado\\_inverter](https://tuaireacondicionado.net/inverter-ventajas-de-comprar/#Ventajas_de_un_aire_acondicionado_inverter).

# ANEXOS

## FICHA TÉCNICA COMPLETA AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA LG LW8016ER [60]

Window Air Conditioner

**LW8016ER**



### IT'S ALL ABOUT ANTICIPATION

Cool a little while you save a lot. With 8,000 BTUs this unit will save you energy and money while cooling a room up to 340 square feet. Plus, we've got you covered with Auto Restart, so when storms, high wind or heat waves cause a power outage, your unit automatically turns back on when power returns.



#### PERFORMANCE

- 8,000 BTU
- CEER 12.0 / EER 12.1
- Dehumidification (Pts/Hr) 2.2
- Est. Cooling Area 340 sq. ft. (Room size 17' x 20')

#### FEATURES

- 3 Cooling & Fan Speeds with Auto Cool
- 4-Way Air Direction
- Power Failure Auto Restart
- Remote Control
- Timer 24 Hr. On/Off

#### 3 Cooling & Fan Speeds with Auto Cool

Three powerful cooling and fan speeds allow you to control the temperature of your room at your pace.

#### 4-Way Air Direction

Enjoy the cool air even more with our 4-way air direction. By adjusting the deflection, air is directed up, down, left or right to move the air where it's needed most.

#### Power Failure Auto Restart

Living isn't always easy in the summer. There are storms, high winds and extreme heat that can lead to power outages. Keep yourself covered with Auto Restart, which automatically turns the unit back on when power is restored.

#### PERFORMANCE

BTU Performance	8,000
CEER	12.0
EER	12.1
ENERGY STAR®	Yes
Dehumid. (Pts/Hr)	2.2
Dry Air Flow (CFM)	220
dBA Level (Indoor/Outdoor)	54/60
Est. Cooling Area (SQ. FT.)	340
Refrigerant	R32

#### FEATURES

Thermostat Control	Thermistor
Air Deflection	4-Way
Remote Controller	Yes
Auto Restart	Yes
Energy Saver Function	Yes
Timer	24 Hr. On/Off
Filter Alarm Function	Yes
Fan Speed Cooling	3
Fan Only Speed	3
Compressor	Rotary
In Door Fan Type	Turbo
Type Air Discharge	Top Discharge
Outdoor Vent/Exhaust	Yes
Chassis Type	Top Down

#### MATERIALS/FINISHES

Available Colors	White
------------------	-------

#### ELECTRICAL RATINGS

Voltage/60Hz	115
Watts	660
Rated Amps	6.2

#### DIMENSIONS

Product (WxHxD)	19 9/16" x 12 3/8" x 19 3/8"
Shipping (WxHxD)	22 11/16" x 14 3/16" x 21 1/4"
Net Weight	58 lbs.
Shipping Weight	65 lbs.

#### LIMITED WARRANTY

	1 Year Parts and Labor
--	------------------------

#### UPC CODES

LW8016ER	048231 379458
----------	---------------



[60] <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/91Z+q6GxddL.pdf>

# FICHA TÉCNICA COMPLETA AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA FRIGIDAIRE FFRA0811R1 [61]

**FRIGIDAIRE**

Home Comfort

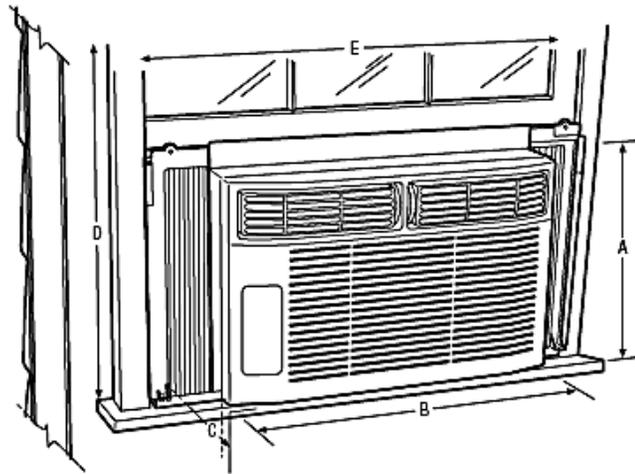
FFRA0811R1 Mini Compact Air Conditioner

<b>Performance</b>	
BTU (Cool)	8,000
Dehumidification (Pints/Hour)	17
Cool Area (Up To Sq Ft.)	350
Combined Energy Efficiency Ratio	10.9
Energy Efficiency Ratio	10.9
<b>Electrical</b>	
Volts	115
Amps (Cool)	6.5
Watts (Cool)	735
Length of Power Cord (Min./Max.)	6' / 6.5'
Plug Type (NEMA)	LCD1 (5-15P)
<b>Features</b>	
Electronic Controls	Mechanical
Fan Speeds (Cool / Fan)	3 / 3
Low Voltage Start-Up	Yes
Auto Cool Function	
Energy Saver Mode	
Sleep Mode	
Filter Check	
24-Hour On/Off Timer	
Clean Air Ionizer	
Remote Control	
Air CFM (High/Med/Low)	214/184/155
Air Direction Control	B-Way
Fresh Air/Exhaust Vent/Closed	No/No/Yes
Filter Type	Antibacterial Mesh
Filter Access	Tilt-Out
Slide-Out Chassis	
Window Mounting Kit (Included)	Pleated Quick Mount
Warranty <sup>1</sup>	Yes
<b>Certifications</b>	
Performance	AHAM
<b>Specifications</b>	
Refrigerant	R410a
Shipping Weight (Approx.)	56 Lbs.

<sup>1</sup>Warranty 5 year sealed system/1 year full parts and labor.



Plug Type (NEMA)  
5-15P



NOTE: For planning purposes only. Always consult local and national electric codes. Refer to Product Installation Guide for detailed installation instructions on the web at [frigidaire.com](http://frigidaire.com).



Product Dimensions		Window Dimensions	
A - Height	13-7/16"	D - Height (Min.)	14"
B - Width	18-1/2"	E - Width (Min./Max.)	23" / 36"
C - Depth	15-1/2"		

[61] <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81WJc8vK1QL.pdf>

**FICHA TÉCNICA COMPLETA AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA OLIMPO  
OAW085C**

<b>WINDOW TYPE AIR CONDITIONER</b>	
MODEL	OAW085C
VOLTS	110
Hz	60
Btu/h	8000
EER	10.8
AMPS	6.4
DESIGN PRESSURE	HIGH 540PSIG LOW 300PSIG
R410A	12.16ozs
	<b>LISTED</b> ROOM AIR CONDITIONER 59PN
UL FILE NUMBER: SA12388	
DATE MANUFACTURED: 10/2012	
	

## CÓDIGO DE SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA

```
#include "max6675.h"

#define CONFIG_TCCK_PIN    10
#define CONFIG_TCCS_PIN    11
#define CONFIG_TCDO_PIN    12

MAX6675 thermocouple(CONFIG_TCCK_PIN, CONFIG_TCCS_PIN, CONFIG_TCDO_PIN);
int C;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  C=thermocouple.readCelsius();
  Serial.write(C);
  delay(300);
}
```

## CÓDIGO DE SISTEMA DE CONTROL DEL AIRE ACONDICIONADO

```
#include <DigiPotX9Cxxx.h>
DigiPot pot(2,3,4);
DigiPot pot2(5,6,7);
int c;
int setpoint = 26;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  if(Serial.available())
  {
    c=Serial.read();
    Serial.println(c);
    if(c>setpoint) {
      pot.decrease(1);
      pot2.decrease(1);
    }
    if(c<(setpoint-1)) {
      pot.increase(1);
      pot2.increase(1);
    }
  }
}
```

# DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL

