

**CONTROL DE EFICIENCIA ELÉCTRICA APLICADO AL CONFORT DE UN
SMART HOME UTILIZANDO TEORÍA DE GRAFOS.**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
CONTROL DE EFICIENCIA ELÉCTRICA APLICADO AL CONFORT DE UN
SMART HOME UTILIZANDO TEORÍA DE GRAFOS.**

**AUTOR:
DAVID FERNANDO IZA TOAPANTA**

**TUTOR:
LUIS FERNANDO TIPÁN VERGARA**

Quito D.M., octubre 2020

David Fernando Iza Toapanta<

CONTROL DE EFICIENCIA ELÉCTRICA APLICADO AL CONFORT DE UN SMART HOME UTILIZANDO TEORÍA DE GRAFOS

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2020

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



David Fernando Iza Toapanta (Y'1985). Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior “Central Técnico”. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en control de eficiencia eléctrica aplicado al confort de un Smart Home utilizando Teoría de Grafos. dizat@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Luis Fernando Tipán Vergara (Y'1982) nació en Quito, Ecuador, el 21 de junio de 1982. Se graduó de la Facultad de Ingeniería Eléctrica Como Ingeniero en Electrónica en Control en la Escuela Politécnica Nacional. sus estudios de postgrado los hizo en la Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica, obteniendo el grado de Magister en eficiencia Energética. ltipan@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2020 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO – ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Luis Fernando Tipán Vergara declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*CONTROL DE EFICIENCIA ELÉCTRICA APLICADO AL CONFORT DE UN SMART HOME UTILIZANDO TEORÍA DE GRAFOS*” realizado por David Fernando Iza Toapanta, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito D.M., octubre 2020



.....

Luis Fernando Tipán Vergara

C.C.: 1717329005

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, David Fernando Iza Toapanta, con documento de identificación N° 1720625472, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “*CONTROL DE EFICIENCIA ELÉCTRICA APLICADO AL CONFORT DE UN SMART HOME UTILIZANDO TEORÍA DE GRAFOS*”, mismo que, ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, D.M., octubre de 2020

A handwritten signature in blue ink that reads "David Fernando Iza Toapanta". The signature is written in a cursive style with some stylized letters. There are small marks above the first and last letters, possibly indicating initials or a specific style.

.....
David Fernando Iza Toapanta

C.C.: 1720625472

1.ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	2
2. Marco Teórico.....	3
2.1 Teoría de Grafos aplicado al control en hogares inteligentes.	3
2.2 Ubicación óptima de PAI para RSI.....	4
3. Diseño de hardware del sistema.....	5
3.1 Puerta de enlace doméstica	6
3.2 Regulación de Confort	6
4. Diseño de software del sistema.....	6
5. Metodología y Formulación del Problema.....	7
6. Análisis de Resultados	9
6.1 Optimización para Ubicación de Sensores.....	9
6.2 Grafos de Control e Implementación con modulo Raspberry PI	12
6.3 Eficiencia Energética	13
7. Conclusiones	14
8. Trabajos Futuros.....	14
9. Referencias.....	14
9.1 Estado del Arte.....	17
9.2 Resumen de Indicadores	22
10. Anexos.....	24
10.1 Código Raspberry.....	24
10.2 Código módulos WiFi.....	25
11. Implementación Práctica.....	26

2.ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de propagación y emplazamiento de PAI.....	3
Figura 2. Topología de la red inalámbrica.	4
Figura 3. Diagrama de bloque de hardware para una puerta de enlace doméstica.	6
Figura 4. Esquema de regulación para el confort.....	6
Figura 5. Diagrama de flujo de operación de módulo Raspberry.	7
Figura 6. Diagrama de flujo para sensores inalámbricos.	7
Figura 7. Caso de estudio.....	10
Figura 8. Malla factible de conectividad con $R = 2m$	10
Figura 9. MST usando algoritmo de PRIM y nodo Steiner.	10
Figura 10. Grafo de control para módulo Raspberry pi 3 B+.	12
Figura 11. Grafo de control para esclavo con módulo Arduino ESP 8266 y DHT11.....	13
Figura 12. Análisis de costo y energía óptimos.	14

3.ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudios relacionados.....	5
Tabla 2. Variables de Parametrización.....	10
Tabla 3. Evaluación del problema de optimización.....	11
Tabla 4. Análisis comparativo de costos.....	11

CONTROL DE EFICIENCIA ELÉCTRICA APLICADO AL CONFORT DE UN SMART HOME UTILIZANDO TEORÍA DE GRAFOS

Resumen

El presente artículo aborda la planeación y despliegue de una red de sensores inalámbricos (RSI) dentro de un hogar inteligente o *smart home* bajo una infraestructura heterogénea de comunicación (IHC). Esto nos permitirá capturar información (temperatura, humedad relativa, etc.) en tiempo real del área en el que el sensor será emplazado. Además, permitirá tomar acciones de control proporcional integral para garantizar un uso eficiente del recurso energético. Una vez que se disponga de datos, estos serán enviados a un punto de acceso de información (PAI) mismo que recolecta datos de al menos un sensor inalámbrico (SI) para redireccionarlos hacia un centro de gestión y control (CGC). Con ello se pretende proporcionar una vida asistida dentro de un hogar inteligente, maximizando el confort del usuario. RSI se relacionan de forma directa con el despliegue, topología y la energía de consumo. El hardware y software será implementado utilizando teoría de grafos.

Palabras Clave: análisis de redes no lineales, control óptimo, diagrama de flujos, Eficiencia energética, planificación técnica.

Abstract

This article studied the planning and deployment of a wireless sensor network (WSN) within a smart home under a heterogeneous communication infrastructure (HCI). This will allow us to capture information (temperature, relative humidity, etc.) in real time of the area in which the sensor will be located. Moreover, it will allow taking integral proportional control actions to guarantee efficient use of the energy resource. Once data is available, it will be sent to an access point (AP) that collects information from at least one wireless sensor (SI) to redirect it to a management and control center (MCC). This is intended to provide assisted living within a smart home, maximizing user comfort. RSI are directly related to deployment, topology, and energy consumption. The hardware and software will be implemented using graph theory.

Keywords: energy efficiency, flow graphs, nonlinear network analysis, optimal control, Technical planning.

1. Introducción

Un hogar inteligente solo es posible a medida que exista protocolos de comunicación que nos permita diferenciar propósitos y controlar los recursos, mediante una red de sensores y actuadores, para brindar mayor confort a usuarios residentes [1][2] [23]. Estos sensores pueden ser distribuidos de forma aleatoria o espacialmente y son capaces de registrar y monitorear condiciones físicas en una amplia gama de escenarios como temperatura, presión, humedad relativa contaminación, ruido [3], etc.

El rango para la aplicación de protocolos de comunicación varía de IEEE 802.11 y 802.3 siendo para redes inalámbricas y alámbricas respectivamente. Por otro lado, el costo de los diferentes sensores dependerá de la memoria, velocidad, potencia computacional y el ancho de banda [4].

En la actualidad las redes de sensores son altamente preferidas debido a su i) facilidad de configuración y altamente escalables y confiables, ii) soporta condiciones difíciles y iii) son de naturaleza homogénea o heterogénea permitiendo conectividad con el mismo lote de sensores o de configuración variable [5].

Aunque el cableado es bueno, no se puede usar en todas partes y varios sensores pueden referirse a una multitud de conexiones, lo que es básicamente imposible cablear en el ámbito de redes malladas con alta densidad de sensores desplegados en un área de interés [6], sin embargo, la presente investigación propone minimizar al máximo el uso de tecnología que usa como medio de propagación un medio físico para retransmitir los datos capturados por sensores inalámbricos emplazados en los diferentes ambientes del hogar.

Existe diferentes tipos de topologías aplicables en redes de comunicación alámbricas he inalámbricas, las cuales son: estrella, árbol y malla [7][8].

En el presente artículo se empleará las topologías tipo estrella y árbol. En la

topología tipo estrella los SI alcanzados por la cobertura del PAI o concentrador de información se conectan directamente de forma inalámbrica, mientras que, la topología tipo árbol relaciona a todos los PAI mediante árboles de mínima expansión con sus siglas en inglés (MST) de forma alámbrica. Por lo que se advierte la creación de un multígrafo, en el cual, exista dos capas.

Un detalle adicional, aquel SI que no alcance cobertura u observabilidad de comunicación ocurrirá a través de un modo intermedio o de transición que reenvía el mensaje al nodo deseado [9][10].

Asumimos para el despliegue de SI, son fijamos de forma arbitraria en cada ambiente en un hogar inteligente y seleccionamos un vector de sitios candidatos para emplazar PAI o recolectores de información provenientes de RSI de la capa 1 y, en consecuencia, lo que se pretende desplegar con criterios de optimabilidad para procesar y enviar la información recolectada mediante sistemas de comunicación cableados son los PAI. Los puntos de acceso de información son los nodos que dan origen a la creación de las capas 1 y 2. La información reenviada en la capa 2 transporta información hacia un centro embebido de gestión de la información, en el cual, se decide acciones de control garantizando el confort a los usuarios del hogar inteligente [24].

Las técnicas de agrupamiento permiten reducir significativamente el consumo de energía por parte de cada SI logrando con ello prolongar la vida útil de la red de comunicación. La idea principal de estas técnicas es reducir las distancias de comunicación entre cada nodo; entiéndase por nodo a los sensores inalámbricos, actuadores y concentradores dentro de una matriz de adyacencia [11].

Para obtener el resultado ideal del clúster formado entre un nodo PAI y los diferentes SI utilizamos programación lineal bajo el método simplex, en el cual, observando la restricción de radio de cobertura, combina las

múltiples opciones encontradas en función de la matriz de conectividad alcanzada con los PAI candidatos desplegados en la etapa inicial. Los PAI candidatos para emplazar en un hogar inteligente deben ser colocados en lugares estratégicos que no degrade la estética de cada ambiente, es por ello por lo que, no necesariamente se debe emplazar en el centro de masa de cada clúster un PAI como lo sugiere k-means y k-medoi [12].

En adelante el presente artículo se organiza como sigue. En la sección II se aborda el marco teórico donde se define la aplicabilidad de teoría de grafos en un hogar inteligente y los criterios para la ubicación óptima de PAI en una red de sensores. El diseño del hardware y criterios para la regulación y control para mantener un nivel adecuado de control se define en la sección III. En la sección IV se detalla el diseño del software. La metodología y formulación del problema se describe en la sección V. Con la sección VI se hace el análisis de los resultados abordando temas de eficiencia y diseño de hardware y software. Finalmente, en la sección VII concluimos el presente artículo.

2. Marco Teórico

En esta sección abordamos la importancia del despliegue de sensores para hogares inteligentes usando teoría de grafos para su implementación con técnicas de clusterización. Además, se expone la topología de la red de sensores que se pretende implementar en esta investigación.

2.1 Teoría de Grafos aplicado al control en hogares inteligentes.

En sistemas de hogar inteligente se despliega una cantidad de nodos de sensores en diferentes espacios del hogar para construir RSI en forma autoorganizada con el objetivo principal de mejorar la comodidad, salud y seguridad del usuario. Un sensor puede percibir, recopilar y procesar información de un entorno del hogar. En este

sentido, un hogar inteligente puede ocuparse de la atención de la salud familiar, el monitoreo de la energía y hasta de la seguridad. Sin embargo, existen requisitos básicos para que pueda operar una red de sensores dentro de un hogar inteligente; estos requisitos son i) bajo costo, ii) baja potencia de consumo, iii) cableado simple, iv) fácil de controlar y v) modelo de localización [13], por lo que, es de mucha importancia lograr determinar una topología adecuada para transportar los datos a un CGC embebido de la información [15].

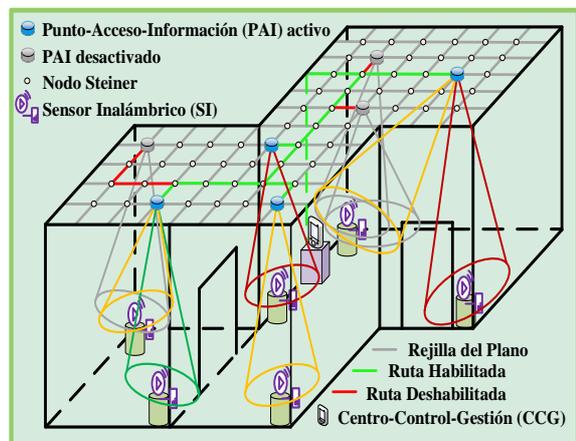


Figura 1. Gráfico de propagación y emplazamiento de PAI.

Con la figura 1 se ilustra la conectividad de nodos en una red de dispositivos que por su naturaleza darán origen a la creación de redes de comunicación heterogénea, además, se destaca la importancia de considerar en el modelo las propiedades geométricas y estructurales del espacio de despliegue. Una red heterogénea advierte la capacidad de comunicación bajo dos medios de propagación básicos que son: alámbricos e inalámbricos. En [16] se modelan las pérdidas por dispersión y penetración de la pared y en ambos casos se asocian a un costo característico en función de la tecnología a emplear en el despliegue. Se propone la implementación de una red heterogénea que permita abordar la problemática de dispersión y penetración de información en

paredes intrínsecas al domicilio (ver figura 2). La dispersión de los sensores y actuadores se abordará mediante la creación de rutas alámbricas de comunicación bajo conceptos de optimalidad, mientras que, el alcance de observabilidad desde PAI se modelará mediante radios de cobertura minimizando el número de PAI requerido para transportar la información recolectada por SI hacia un CGC donde se toma acciones de control en función de parámetros que mantienen un nivel establecido de confort para cada usuario [25].

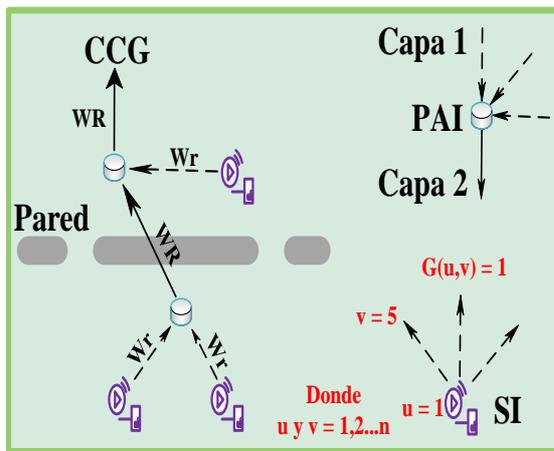


Figura 2. Topología de la red inalámbrica.

La configuración de la red heterogénea de comunicación juega un papel fundamental en el despliegue óptimo de sensores para hogares inteligentes. La topología óptima se puede obtener sobre la base de un grafo de propagación [17]. No solo pretende encontrar el camino más corto desde el nodo donde se genera la información hacia un gestor, sino que, además nos enfrentamos al problema de encontrar un subgrafo en forma de árbol que interconecte todos los dispositivos de la red heterogénea de comunicación incluyendo el mínimo número de PAI bajo ciertas restricciones.

2.2 Ubicación óptima de PAI para RSI.

En la actualidad topologías en configuración estrella y malladas se utilizan ampliamente en aplicaciones domésticas

orientadas a la creación de hogares inteligentes, sin embargo, estas configuraciones disponen de una baja capacidad de reducción de interferencias y en consecuencia se tornan poco confiables. Es por ello que, alternativas basadas en técnicas de agrupación contribuyen de manera significativa a reducir interferencias mediante direccionamientos específicos por los que la información se transmite desde un SI hacia PAI [18][19]. Es decir, alrededor de PAI se agrupan sensores inalámbricos cumpliendo restricciones técnicas como correlación espacial, rangos de observabilidad y distancias mínimas de conectividad con lo que se contribuye en la minimización del consumo de energía para transmitir los datos [20]. Los sensores capturan datos y los transmiten al PAI y esta a su vez retransmite la información hacia el CGC. Por lo tanto, los PAI son aquellos nodos que recolectan la información proporcionada por los nodos sensores inalámbricos y los transmiten hacia los nodos CGC de la información [21][22]. La ubicación de PAI estará dada en función del emplazamiento de los SI y de la capacidad de PAI para albergar información y retransmitir hacia la unidad de control y gestión embebido. El modelo de dos capas asegura una vida útil de la red más larga [23], ya que los sensores inalámbricos son generalmente nodos de potencia limitada, mientras que, los PAI dedicados tienden a tener menos limitación de energía. En consecuencia, proponemos una heurística de colocación de PAI restringido que produce un árbol Steiner de red de comunicación. El rendimiento de la heurística en términos de cantidad de PAI añadidos se investiga en un estudio de simulación variando el radio de observabilidad desde un PAI hacia los diferentes sensores inalámbricos distribuidos de forma arbitraria en el área de interés [28].

En la heurística propuesta para lograr resolver el problema del árbol Steiner definido en párrafos anteriores usaremos el

Tabla 1. Estudios relacionados.

Autor, año	Modelo		Problema		Solución		Otros	
	Teórico	Experimental	Control Eficiencia	Ubicación óptima	Función Objetivo	Implementación		Heurística
Liserre, 2020 [33]		x	x		Max. Eficiencia Confiabilidad		X	Confiabilidad
Biswas, 2020 [34]		x	x		Control de equipamiento eléctrico	X		Hardware Software Personalizable Sincronización Raspberry Pi 3
Zou, 2020 [35]		x	x		Control eléctrico	X		Raspberry Pi 3 Python
Xiong, 2019 [36]		x	x		Control inteligente Temperatura	X		Tiempo real Raspberry Pi 3 Control maestro - esclavo
Quian, 2018 [37]		x	x		Control temperatura	X		Red IP Red local Adquisición datos
Widyatra, 2019 [38]	x	x	x		Optimizar tráfico red	X		WLAN Flexible
Hu, 2019 [39]	x	x	x		Latencia vs Seguridad informática	X		Seguridad Eficiencia tiempo
Propuesta	x	x	x	x	Control eléctrico. Confort térmico Min. número de sensores. Min. costos.	X	X	Hardware Software Arquitectura Raspberry Pi 3 Red local Python Temperatura Geometría del terreno Sensación térmica. Control maestro - esclavo

algoritmo de Prim, mismo que, tiene como entrada un grafo conexo con sus correspondientes pesos en sus arcos y como salida un árbol de expansión, donde el peso total de las aristas en el árbol es maximizada o minimizada según corresponda. También es factible aplicarlo sobre grafos no conexos, para lo cual, se aplica el algoritmo a cada componente conexo del grafo que modela el problema. El algoritmo de Prim se usa para encontrar un árbol recubridor mínimo en cualquier grafo conexo no dirigido. Las exploraciones que realiza el algoritmo de Prim inician en cualquier vértice y mediante

una búsqueda exhaustiva identifica la arista que cuente con el menor peso [31][32].

En la Tabla 1 se presenta un resumen que ilustra trabajos relacionados y lo comparamos con el trabajo propuesto, en el cual, exponemos el aporte frente a otras investigaciones desarrolladas en los dos últimos años.

3. Diseño de hardware del sistema

En esta sección detallamos los componentes principales que formaran parte en la implementación. Usaremos un

módulo Raspberry Pi 3 modelo B+ que se usará como servidor y gestor de la información recibida desde cada sensor inalámbrico, la temperatura ambiente será observada por el módulo DHT11 y el módulo WiFi ESP 8266. Usaremos el protocolo de comunicación 802.11 b/g/n.

3.1 Puerta de enlace doméstica

La puerta de enlace domestica sirve como puente para transmitir la información desde los sensores inalámbricos hacia el módulo Raspberry. El diagrama del hardware de la puerta de enlace se ilustra en la Figura 3.

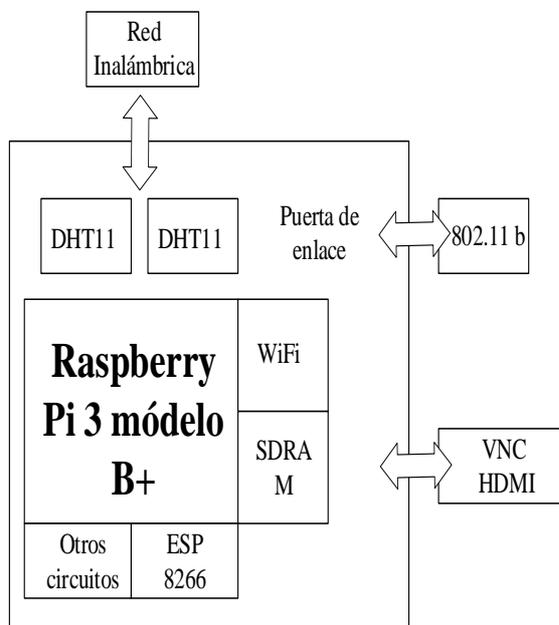


Figura 3. Diagrama de bloque de hardware para una puerta de enlace doméstica.

3.2 Regulación de Confort

El sistema ha incrementado la función de regulación de confort mediante un control proporcional integrador al recolectar datos de temperatura de los ambientes de un hogar en tiempo real, el punto de referencia para mantener la temperatura se ajusta en rangos teóricos para mantener cómodo el cuerpo humano [26]. El esquema de regulación de confort se muestra en la Figura 4.

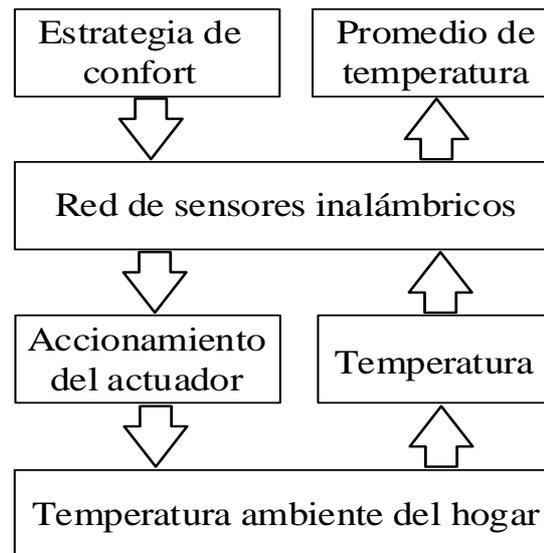


Figura 4. Esquema de regulación para el confort.

4. Diseño de software del sistema

El sistema de software del hogar inteligente incluye 3 partes: software de puerta de enlace domestica integrada en el módulo de Raspberry Pi bajo código de programación Python y software de nodo WiFi para la red de sensores inalámbricos. La puerta de enlace integrada se basa en el sistema operativo Linux y su software tiene 2 funciones:

- A través del protocolo 802.11 b se comunicará con la red de sensores.
- Ejecutar acciones en función del punto de referencia para mantener el confort en la vivienda.

El módulo Raspberry Pi con su software integrado es responsable del mantenimiento de la red inalámbrica, recibiendo la información de los sensores inalámbricos para efectuar acciones de control. El establecimiento de la red inalámbrica incluye dos pasos: inicialización de la red inalámbrica y participación del nodo terminal en la red. Los nodos transmiten la información al módulo Raspberry y ejecuta un proceso de evaluación de los promedios de las temperaturas de los ambientes donde están desplegados los sensores

inalámbricos. En consecuencia, si la temperatura promedio de los ambientes del hogar está por encima de la temperatura de confort entonces se envía una instrucción para habilitar los actuadores. El diagrama de flujo del código fuente del módulo Raspberry se muestra en la Figura 5 y el diagrama de flujo de los sensores inalámbricos se encuentra en la Figura 6.

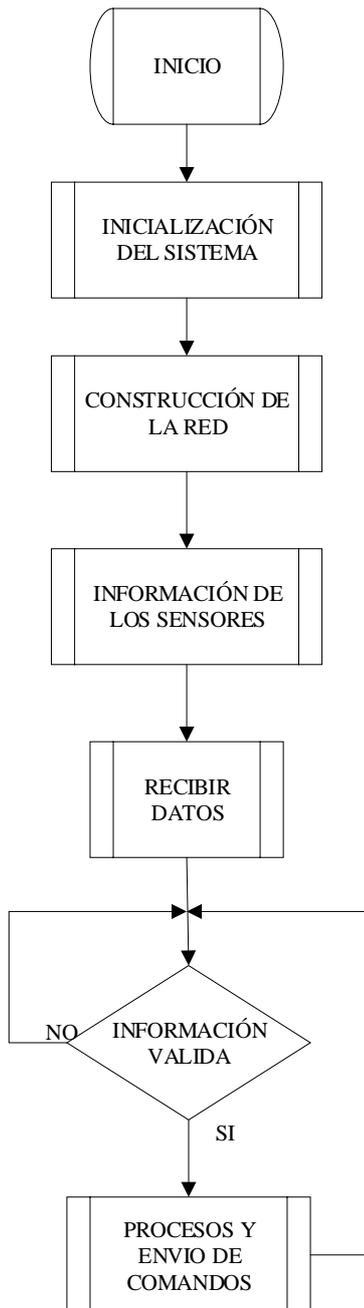


Figura 5. Diagrama de flujo de operación de módulo Raspberry.

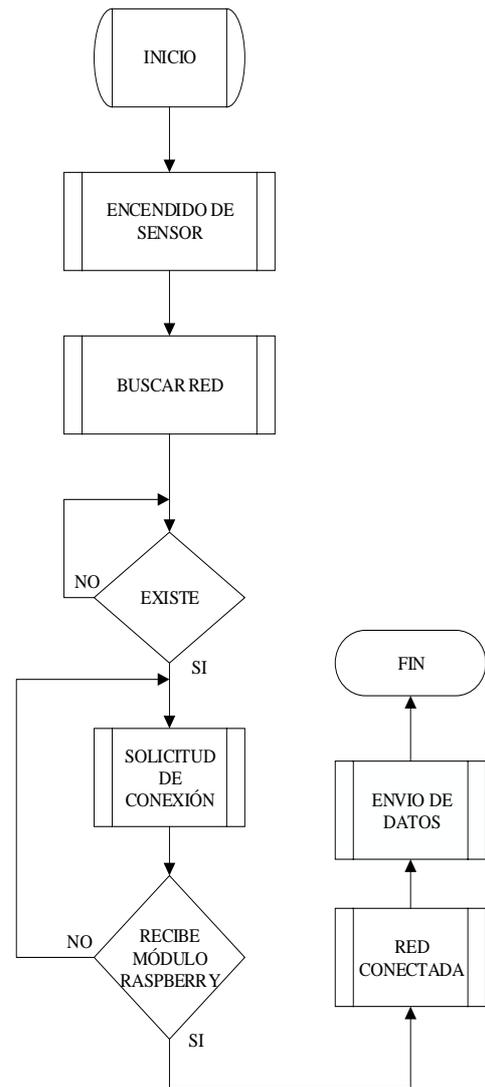


Figura 6. Diagrama de flujo para sensores inalámbricos.

5. Metodología y Formulación del Problema

Consideramos una red de SI que comprende tres tipos de nodos: sensores inalámbricos (ξ), puntos de acceso de información (ρ) y centros de gestión y control embebido (β). El PAI se puede colocar en ciertas posiciones candidatas predefinidas. El objetivo es conectar los SI a los CGC utilizando el mínimo número de PAI. Los SI solo generan tráfico mientras que los PAI lo reenvían. El rango de comunicación para los SI denotaremos como r y los PAI como R respectivamente, de modo que, $R \gg r$. Se supone que PAI están conectados

directamente entre si a través de la red cableada basado en el problema del árbol Steiner mediante el algoritmo de Prim.

Para desplegar el mínimo número de PAI se sigue el siguiente procedimiento: i) Agregar un nuevo par de nodos para cada posible posición del PAI junto a una pared,

ii) Encontrar la ruta más corta desde el SI hacia PAI para los cuales el peso de las rutas está por debajo de un umbral dado. Construir un segundo grafo no dirigido con algunos nodos que pueden representar puertas de enlace, sensores, actuadores. Ahora se encuentra un árbol que interconecte todas las terminales e incluya el mínimo número adicionales de nodos, a este proceso se le conoce como el problema del árbol Steiner y finalmente iii) Los sensores y actuadores solo pueden enviar o recibir datos dentro de un determinado radio de cobertura, de tal manera que, se da origen a la formación de grupos, por lo que, el problema aplicable en la realidad puede traducirse en un problema de árbol Steiner grupal, en el que, el árbol debe conectar el PAI ha al menos un SI de cada grupo terminal.

A continuación, presentamos dos definiciones fundamentales que sustentan y definen la metodología del problema a resolver en la presente investigación:

Definición 1: La comunicación desde ξ hacia ρ se modela como un grafo no dirigido donde $G = (\xi, \rho, \beta, r, R)$ con un conjunto de vértices, $V = (\xi, \rho, \beta)$ y el conjunto de aristas $E = E_{\beta\beta}, E_{\beta\rho}, E_{\beta\xi}, E_{\rho\rho}, E_{\rho\xi}, E_{\xi\xi}$. La notación $E_{i,j}$ se refiere a las aristas de los vértices de i a los vértices j . Una arista $(i, j) \in E$ si los dos nodos están dentro del rango de transmisión del otro. E puede existir si:

- i) $\forall i \in \xi, j \in \xi, (i, j) \in E$,
- ii) $\forall i \in \rho, j \in \rho \cup \xi, (i, j) \in E$ iff $d_{v,u} \leq r$
- iii) $\forall i \in \beta, j \in \beta \cup \rho \cup \xi, (i, j) \in E$ iff $d_{v,u} \leq R$.

Definición 2: Sea G la matriz de adyacencia que se utiliza en la topología de dos capas, que se construye a partir de G al eliminar las aristas entre ξ hacia ρ . Además,

para cada arista $e = (i, j) \in E$, donde E denota el conjunto de aristas en G , la función de pesos se define como:

$$w_{(e)} = \begin{cases} |\beta \cup \rho \cup \xi| & \text{si } i \in \beta \text{ y } j \in \rho \\ |\{i, j\} \cap \rho| & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

La ecuación 1, $w_{(e)}$ advierte que se puede tomar cuatro valores 0, 1, 2 y $|\beta \cup \rho \cup \xi|$. En consecuencia:

- i) $w_{(e)} = 0$ iff $i, j \in \rho \cup \beta$;
- ii) $w_{(e)} = 1$ iff $i \in \xi$ y $j \in \rho$;
- iii) $w_{(e)} = 2$ iff $i, j \in \rho \cup \beta$;
- iv) $w_{(e)} = |\beta \cup \rho \cup \xi|$ iff $i \in \xi$ y $j \in \xi$.

La ecuación 2 expresa la función objetivo que busca minimizar el árbol resultante para las entradas dadas en el grafo G con sus respectivos pesos w . Sea $Y = A \cup \beta$ (A es el subconjunto de la solución δ) y $\zeta = (\xi/A)$.

$$\min \sum_{u \in V - \{\xi\}} \sum_{v \in \alpha(u)} w(u, v) s_{u,v} + \min \sum_i^n \rho_i \quad (2)$$

Sujeto a,

$$Z = \sum_{u=1}^m \sum_{v=1}^n \varepsilon_{u,v} \leq r, \forall u, v \in \rho, \xi \quad (3)$$

$$\sum_{u \in \alpha(u)} s_{u,v} = 1, \forall u \in Y \quad (4)$$

$$\sum_{u \in \alpha(u)} s_{u,v} \leq 1, \forall u \in \zeta \quad (5)$$

$$\sum_{u \in \alpha(u)} f_{u,v} - \sum_{u \in \alpha(u)} f_{v,u} = 1, \forall u \in Y \quad (6)$$

$$\sum_{u \in \alpha(u)} f_{u,v} = \sum_{u \in \alpha(u)} f_{v,u}, \forall u \in \zeta; \quad (7)$$

$$\sum_{u \in \xi} \sum_{v \in \alpha(u)} f_{u,v} = |Y| \quad (8)$$

$$0 \leq f_{v,u} \leq Y_{u,v} |Y|, \forall u, v \in V \quad (9)$$

La ecuación 3 se habilita únicamente las aristas que son igual o menor a la distancia permitida r que corresponde a la restricción

de longitud máxima permitida para conectar un SI con un PAI. La ecuación 4 asegura que cada ρ tenga relación con un β ; la ecuación 5 asegura que un nodo ξ puede tener como máximo un ρ . Las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 son empleadas para modelar la conectividad de la red, además, garantiza que todos los SI puedan transmitir sus datos a los CGC.

Algoritmo 2 Óptimo Despliegue de Puntos de Acceso de Información (ODPAI)

Entrada:

$G = (V, E)$: Matriz de adyacencia de comunicación, donde $E = E_{\beta\beta} \cup E_{\beta\rho} \cup E_{\beta\xi} \cup E_{\rho\rho} \cup E_{\rho\xi} \cup E_{\xi\xi}$.

β : Posición de CGC.

ρ : Conjunto de PAI candidatos.

ξ : Conjunto de SI en la red heterogénea.

$PASAP(G, W, \rho)$: Algoritmo aproximado para obtener árbol steiner considerando $w_{u,v}$ en G usando Prim, donde ρ son los nodos de PAI y W representan los pesos de aristas del grafo.

$SILP(\xi, \rho; Z)$: Algoritmo aproximado para obtener el mínimo número de PAI, donde ξ el conjunto de SI, ρ es el conjunto de PAI candidatos y Z es el conjunto solución ILP que contiene los PAI óptimos en el despliegue observando la restricción r .

Salida:

δ : Posición del conjunto de PAI activados

1: $G = (V, E = \varepsilon)$; Inicialización, E igual a ε .

2: $\varepsilon = \varepsilon \setminus \varepsilon_{ZZ}$; deshabilita el nodo ε_{ZZ} del grafo G .

3: **for all** $(i, j) \in n \cup m$ **do**

4: **if** $d_{i,j} \leq r$ **do**

5: $G(j, i) = 1$;

6: **end if**

7: $Z = SILP(G)$;

8: **end for**

9: **for all** $(u, v) \in E_{\beta\beta} \cup E_{\beta\xi}$ **do**

10: $w_{u,v} = 0$;

11: **end for**

12: **for all** $(u, v) \in E_{\xi\rho}$ **do**

13: $w_{u,v} = 1$;

14: **end for**

15: **for all** $(u, v) \in E_{\rho\beta}$ **do**

16: $w_{u,v} = 2$;

17: **end for**

18: **for all** $(u, v) \in E_{\xi\xi}$ **do**

19: $w_{u,v} = |V|$;

20: **end for**

21: $\mathfrak{p} = Z \cup \rho$;

22: $(V, E) = PASAP(G, W, \mathfrak{p})$;

23: $\delta = V \cap Z$;

24: **Retorna** δ ;

El algoritmo 2 tiene como idea principal seleccionar los PAI necesarios al mínimo costo para lograr conectividad entre SI y el CGC bajo una arquitectura de comunicación heterogénea

Para cumplir con la condición de que un SI no sea usado como nodo para retransmitir información hacia PAI, lo cual viola la topología de dos capas, se agrega un peso $|\beta \cup \rho \cup \xi|$ (número de vértices del grafo) a las aristas que conectan los SI con otros SI de su misma naturaleza. Una vez identificadas las aristas en el grafo G mediante el algoritmo de PASAP se logra un árbol (V, E) que tiene un peso total mínimo que relaciona los diferentes nodos del grafo. La intersección entre los vértices V y el conjunto candidatos de PAI (β) representa el grupo de posiciones PAI que deberían activarse δ . La solución al problema del árbol Steiner se da mediante programación lineal entera con sus siglas en inglés ILP se presenta como sigue.

Sea $\alpha(u)$ un conjunto de nodos u que pertenecen al grafo G y Y, ζ nodos que denotan a PAI candidatos y el conjunto de nodos Steiner, respectivamente. Además, se definen tres variables s, w y f . La variable binaria s es toma valores de 1 y 0; cuando el valor es 1 el nodo es seleccionado y como aquel que es parte de una posible solución. La variable w corresponde a los pesos de las aristas $(u, v) \in E$ y, finalmente f es una matriz de números enteros que introduce un flujo distinto de cero con la finalidad de forzar la conectividad. En consecuencia, el problema de optimización se formula mediante programación ILP.

6. Análisis de Resultados

6.1 Optimización para Ubicación de Sensores

En esta sección se presenta los análisis de los resultados obtenidos en la presente investigación.

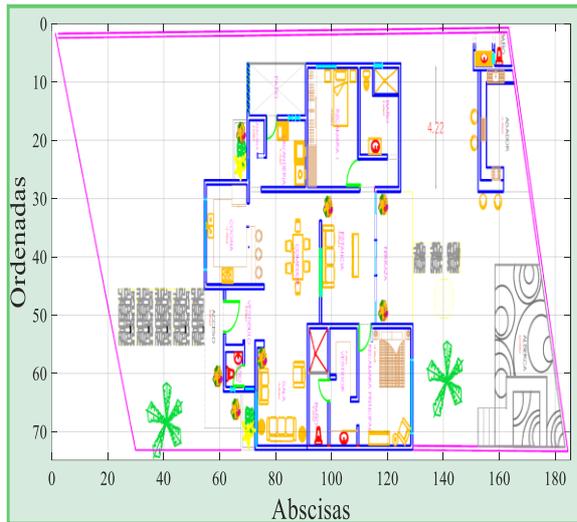


Figura 7. Caso de estudio.

Con la Figura 7 se ilustra el escenario inicial en el cual se evaluará el algoritmo propuesto en el presente documento además de presentar los ambientes en los cuales se realizará el despliegue de la red heterogénea de comunicaciones con la finalidad de efectuar lazos de control óptimos, logrando con ello, optimizar el consumo energético en un hogar inteligente.

Tabla 2. Variables de Parametrización.

Variable	Valor
# Densidad de sensores desplegados	20 (cambiar a densidad)
#Densidad de concentradores desplegados	20 (cambiar a densidad)
Radio de Cobertura Red Inalámbrica	Variable (m)
Tipo de Coordenadas	Cartesianas
Distancia	Euclidiana

Con la Tabla 2 se presenta los parámetros de inicialización para la evaluación de la heurística propuesta. Como se puede apreciar se ensayará con diferentes radios de cobertura (Ver Tabla 2) con la finalidad de evaluar el rendimiento del algoritmo frente a la disponibilidad tecnológica del sensor a emplazar, es decir, el modelo es capaz de aceptar valores reales de cobertura, mismos que, estarán sujetos al costo de la tecnología a emplear en cada sensor inalámbrico.

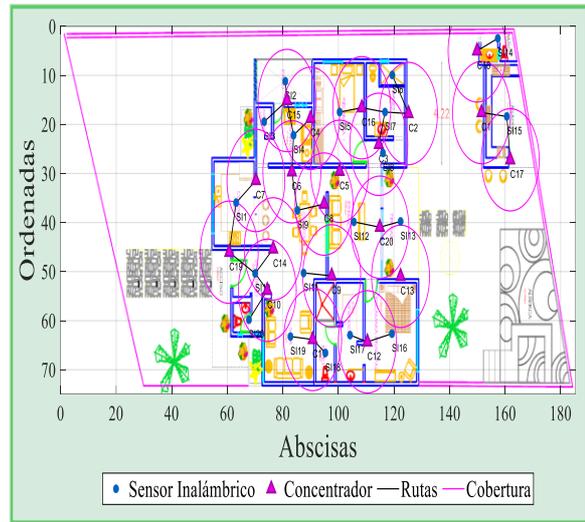


Figura 8. Malla factible de conectividad con $R = 2m$.

Con la Figura 8 se puede apreciar el despliegue de sensores inalámbricos, mismos que, se encuentran relacionados a al menos un concentrador de información. Además, en la figura antes mencionada se puede apreciar zonas de interferencia donde un SI puede ser visto por más de un concentrador.

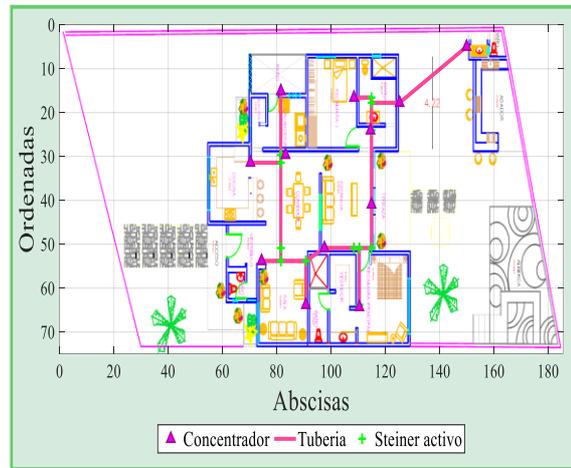


Figura 9. MST usando algoritmo de PRIM y nodo Steiner.

Con la Figura 9 muestra que los caminos o en su gran mayoría son rutas rectas, lo cual, en el momento de la implementación de la infraestructura de comunicación heterogénea permitirá obtener no solo el árbol de mínima expansión, sino que, además permitirá una distribución ordenada y técnicamente viable para la aplicación de dicha topología en la

construcción civil de la tubería, donde, en muchas ocasiones se puede tener restricción de rutas. Es decir, la metodología aplicada permite restringir al máximo el uso de rutas diagonales advirtiendo la necesidad de construir el mayor número de enlaces siguiendo trayectorias rectas con la finalidad de que la topología resultante propuesta por el modelo sea técnica y económicamente viable para su implementación.

Tabla 3. Evaluación del problema de optimización.

Radio (m)	Condiciones Iniciales		Programación Lineal	
	# Enlaces	% cubierto	# Enlaces	% cubierto
1	2	10	No converge	No converge
2	29	100	22	95
4	80	100	20	90
6	153	100	20	85
8	230	100	18	90
10	298	100	19	95

Con la Tabla 3 se presenta seis casos teóricos de estudio, donde, se seleccionó diferentes radios de cobertura fijando el número de sensores inalámbricos y concentradores de información. En la fila de R= 1 metro se puede visualizar que el máximo número de opciones de enlace en la red inalámbrica alcanza a un total de 2 unidades de enlaces posibles, lo que, quiere decir que el radio de cobertura está muy restringido dando como resultado apenas una cobertura de vista a los sensores inalámbricos del 10% de observabilidad. Un detalle adicional que se aprecia en la fila 1 con R= 1 metro, es que, al ingresar a la heurística que permite reducir el número de concentradores observando restricciones de radios de cobertura el modelo no converge en el *software* de optimización lineal *LP-Solve* debido a que el número de combinaciones posibles es muy reducido originando vectores solución con cero elementos. Por lo tanto, el modelo advierte que existen valores mínimos de restricción de cobertura para que el

modelo pueda converger y así poder realizar las combinaciones necesarias para encontrar el mínimo número de concentradores de información garantizando máxima observabilidad a los sensores inalámbricos desplegados en el caso de estudio.

Con la Tabla 4 se puede comprender el aporte de un nodo Steiner en la reducción de la función objetivo, la cual, consiste en minimizar al máximo la longitud total del camino requerido para armar la red alámbrica en la capa 2. A medida que aumenta el radio de cobertura disminuye la necesidad de concentradores de información, por lo que, el número de opciones de nodos Steiner se reduce y paralelamente el número de rutas también lo hace; dicho de otra manera si el radio de cobertura de los concentradores aumenta se requiere menos número de concentradores y en consecuencia menor número de rutas que relacionen mediante un árbol de mínima expansión a los concentradores de información.

Tabla 4. Análisis comparativo de costos.

Radio (m)	# Nodos Steiner seleccionados	Costo sin nodo Steiner	Costo con nodo Steiner
1	No converge	No converge	No converge
2	12	1044.6	928.2
4	2	557.2	516.1
6	0	597.3	597.31
8	0	100	100
10	0	100	100

Ahora bien, si nos fijamos en las dos últimas columnas de la Tabla 3 podremos observar la diferencia de costos que se asocia a un mismo escenario sin considerar en un primer momento la integración de nodos Steiner y en un segundo momento considerando nodos Steiner. En consecuencia, los porcentajes en los que se reduce el costo total al considerar nodos Steiner es 11.14% y 7.39% en los casos de las

filas 1 y 2 de las columnas 3 y 4 de la Tabla 3. Se concluye que el costo total de la implementación está en función del número de concentradores y ellos en función del radio de cobertura.

6.2 Grafos de Control e Implementación con módulo Raspberry PI

Un grafo de control determina un camino de ejecución, camino de declaración, y uso de dato a partir de un algoritmo o programa que se ejecuta en forma secuencial a menos que se realice un cambio de instrucción. En nuestro caso particular utilizaremos un lenguaje de programación desarrollado en Python para Raspberry PI 3 modelo B+ mediante el cual se captura la señal física de temperatura ambiente con el SI y se envía un dato digital hacia PAI para la comparación de restricciones descritas de confort en el lenguaje de programación para tomar medidas de control hacia el CGC.

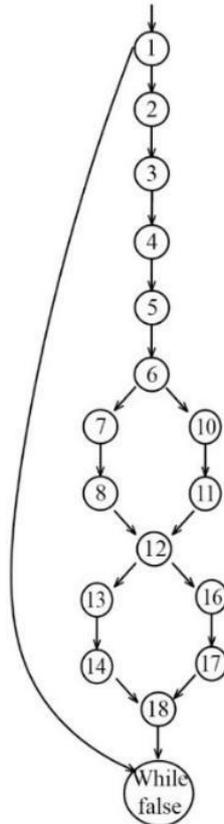


Figura 10. Grafo de control para módulo Raspberry pi 3 B+.

El grafo de control a implementarse se detalla en la Figura 10. El código de programación se desarrollará en Python y su pseudocódigo se expresa como sigue en el algoritmo 1.

Algoritmo 1 Grafo de control máster a implementar en Raspberry

```

1: Importar librerías
2: Inicializar pin 18 como salida
3: Declaración de variables: t1, t2 y tp
4: Habilitar módulo WiFi
5: Leer: Buf
6: While true
7: Si Buf == 65 entonces
8: t1 = (Buf(5) - 48)*10 + Buf(6) -48
9: de otro modo
10: Si Buf == 66 entonces
11: t2 = (Buf(5) - 48)*10 + Buf(6) -48
12: tp = (t1 + t2) / 2
13: Si tp > 25
14: Activa pin 18
15: de otro modo
16: tp < 25
17: Desactiva pin 18
18: Regresa paso 6

```

Con el algoritmo 2 se presenta el proceso a ejecutarse en cada uno de los clientes. Se denomina clientes a cada uno de los sensores que capturan información del medio ambiente para posteriormente enviar la información hacia el módulo Raspberry. Es importante considerar que el algoritmo 2 se replica en cada uno de los transductores y lo que les diferencia uno de otros es el código ascii que envían como respuesta a la petición de información.

Algoritmo 2 Grafo de control esclavo a implementar en módulos Arduino ESP 8266

```

1: Importar librerías dht
2: Variables: Temperatura, ssid, password y host
3: While (WiFi == conectado)
4: Temperatura = dht.readTemperatura
5: commands = A + string(Temperatura)
6: Send_commands()
7: if (ip ~= host)
8: while (client.available() == 0)
9: client available

```

El sensor de temperatura y humedad relativa utilizado para el desarrollo de la presente investigación es dht11. La información recabada del medio ambiente en formato digital es enviada al módulo Wifi ESP 8266 y este a su vez enviado al módulo Raspberry Pi. Con la Figura 11 se ilustra el grafo de control esclavo a implementarse.

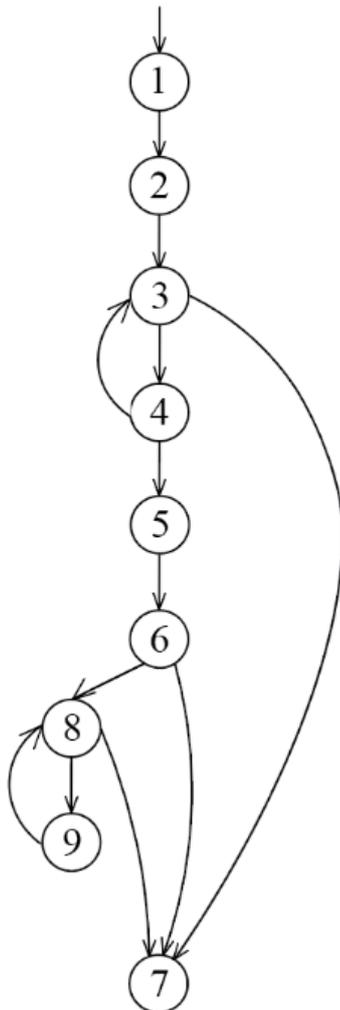


Figura 11. Grafo de control para esclavo con módulo Arduino ESP 8266 y DHT11.

6.3 Eficiencia Energética

El consumo del aire acondicionado es una de las grandes preocupaciones del usuario antes y durante su uso [27].

Para calcular correctamente y con más exactitud qué potencia de aire acondicionado (kW) es necesario para

eliminar el calor de una vivienda que me permitirá mantener una temperatura confortable inferior a 22°C, debemos tener en cuenta varios factores de cálculo que se traducen en una fórmula que explicaremos en el presente artículo [29]. Los factores que tenemos que conocer para calcular la potencia por área se describe a continuación:

- Cálculo de área común según plano propuesto (sala, comedor) en m³.
 $8.44 \times 3.5 \times 2.4 = 70.9 \text{ m}^3$
- Coeficiente de acuerdo a sitio geográfico. Clima templado 50 kcal.
- Capacidad calculada de kcal.
 $70.9 \text{ m}^3 \times 50 \text{ kcal} = 35448 \text{ kcal/m}^3$
- Capacidad determinada en BTU
 $3544.8 \text{ kcal/m}^3 \times 4 = 14179.2 \text{ BTU}$
- Equipo comercial seleccionado 18.000 BTU
- Cálculo de BTU a kW
 $18000 / 3.41 = 5277 \text{ kW}$

Hemos calculado la potencia que necesitamos para eliminar el calor de nuestra vivienda, pero esto no quiere decir que nuestro equipo vaya a consumir eso en energía eléctrica. Hay que tomar en cuenta el factor de eficiencia estacional SEER y si se quiere realizar un cálculo exhaustivo, se debería medir minuto a minuto en función da cada caso para alcanzar la cifra aproximada [30].

$$\text{Cálculo de kW / SEEP} \\ 5277 \text{ kW} / 6 = 0.8795 \text{ kW}$$

Ahora debemos estimar unas horas de consumo. El consumo del aire acondicionado es, por lo general, estacional. Con esto queremos decir que se utiliza únicamente en los meses más calurosos, 4 meses al año. ¿Y cuál es su uso diario? Contando con el tiempo que estamos fuera de casa, que lo apagamos o lo dejamos en bajo consumo a la hora de dormir, y que

se suele encender a media mañana, podemos estimar un uso de 6 horas diarias en día laborable y 8 horas en fin de semana. En un mes se estimarán 22 días laborables y 8 festivos. Finalmente falta por calcular el precio del kWh, que se cogerá el dato de 0.09 \$/kWh.

Consumo mes = $(0.8795\text{kW} \times 6 \text{ Horas} \times 22 \text{ días laborables}) + (0.875\text{kW} \times 8 \text{ horas} \times 8 \text{ días festivos}) = 172.15\text{kwh/mes}$

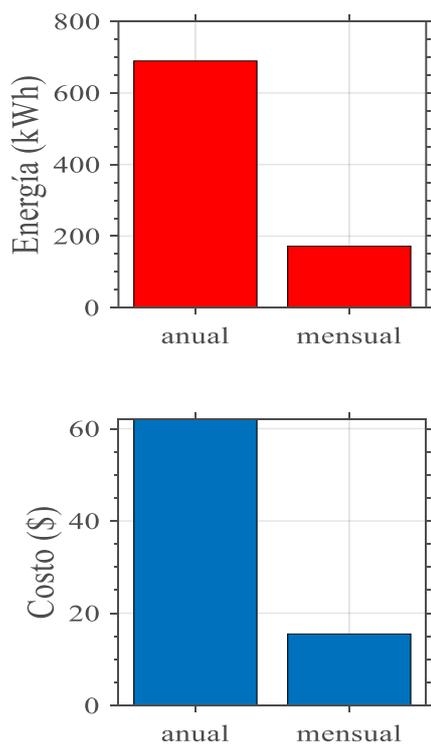


Figura 12. Análisis de costo y energía óptimos.

En la Figura 12 se puede comprender el aporte de teoría de grafos con la implementación en el módulo Raspberry Pi para disminuir el consumo energético controlando la variable de temperatura de cada ambiente. Sé ha comprobado en la práctica que se obtiene un beneficio de ahorro energético hasta un 20% aplicando el control inteligente. Este ahorro energético es posible puesto que el actuador (aire acondicionado) reduce su tiempo de operación obteniendo eficiencia energética sin descuidar el confort deseado.

7. Conclusiones

El rendimiento de la heurística propuesta ha logrado demostrar que es aplicable a cualquier escenario adaptarse con facilidad a otros escenarios bajo condiciones iniciales que se ajusten a la realidad. Además, el modelo propuesto proporciona soluciones finitas demostrando la capacidad de emplazar PAI recolectados de un entorno para enviar los paquetes de datos a un CGC a través de nodos PAI con la finalidad de gestionar y controlar variables dentro de un hogar inteligente.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó una óptima ubicación de sensores tomando en cuenta restricciones físicas de los distintos escenarios con diferentes radios de cobertura determinando con este método cuantos, cuáles y donde serian la mejor opción para reducir el número de SI emplazados y grafos de control de implementación en software Raspberry PI para el determinar el que y el cómo controlar la temperatura de confort en los ambientes, mediante estos dos programas de optimización se puede reducir el costo de implementación y trabajo del actuador en 20% reduciendo el consumo eléctrico y mejorando la eficiencia eléctrica.

8. Trabajos Futuros

Como trabajos futuros se pretende integrar a la presente investigación modelos de agrupación observando criterios de velocidad y congestión de transmisión con la finalidad de garantizar transmisiones de alta seguridad en tiempo real dentro de un hogar inteligente.

9. Referencias

- [1] A. Modarresi and J. P. G. Sterbenz, "Towards a Model and Graph Representation for Smart Homes in the IoT," *2018 IEEE Int. Smart Cities Conf. ISC2 2018*, pp. 1–5, 2019.
- [2] Y. Al Mtawa, H. S. Hassanein, and N. Nasser, "The impact of anchor misplacement on sensing coverage," *IEEE*

- Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC*, vol. 2016-Sept, no. Wcnc, pp. 1–7, 2016.
- [3] M. T. Nguyen, L. L. Nguyen, and T. D. Nguyen, “On the design of gateway node for smart grid home network,” *2015 Int. Conf. Comput. Manag. Telecommun. ComManTel 2015*, pp. 57–61, 2016.
- [4] A. U. Sarma, P. V. Jeya Krishna, V. Ajay Vigneshwar, and K. S. Anusha, “Optimal placement of wireless chargers in indoor environment using clustering algorithm,” *Proc. Int. Conf. Trends Electron. Informatics, ICOEI 2019*, vol. 2019-April, no. Icoei, pp. 1087–1094, 2019.
- [5] L. Zhong, T. Lv, C. Li, and Z. Wang, “Design of smart home system based on raspberry Pi,” *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 1031 AISC, pp. 649–657, 2020.
- [6] J.-R. Jiang and J.-H. Liao, “Efficient Wireless Charger Deployment for Wireless Rechargeable Sensor Networks,” *Energies*, vol. 9, no. 9, p. 696, 2016.
- [7] R. Jyothi and N. G. Cholli, “New Approach to Secure Cluster Heads in Wireless Sensor Networks,” *2019 5th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst. ICACCS 2019*, pp. 1097–1101, 2019.
- [8] M. T. Nguyen, L. L. Nguyen, and T. D. Nguyen, “A practical implementation of wireless sensor network based smart home system for smart grid integration,” *Int. Conf. Adv. Technol. Commun.*, vol. 2016-Janua, pp. 604–609, 2016.
- [9] G. H. Raghunandan, A. S. Rani, S. Y. Nanditha, and G. Swathi, “Hierarchical agglomerative clustering based routing algorithm for overall efficiency of wireless sensor network,” *2017 Int. Conf. Intell. Comput. Instrum. Control Technol. ICICICT 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 1290–1293, 2018.
- [10] C. Q. Wu, W. Liu, S. Sen, N. S. V. Rao, R. R. Brooks, and G. Cordone, “Two-Level Clustering-Based Target Detection Through Sensor Deployment and Data Fusion,” *2018 21st Int. Conf. Inf. Fusion, FUSION 2018*, pp. 2376–2383, 2018.
- [11] J. Guo and H. Jafarkhani, “Sensor deployment in heterogeneous wireless sensor networks,” *2016 IEEE Glob. Commun. Conf. GLOBECOM 2016 - Proc.*, pp. 1–6, 2016.
- [12] J. Wang, K. Wang, J. Niu, and W. Liu, “A K-medoids based clustering algorithm for wireless sensor networks,” *2018 Int. Work. Adv. Image Technol. IWAIT 2018*, pp. 1–4, 2018.
- [13] M. P. Fanti, M. Roccotelli, G. Faraut, and J. J. Lesage, “Smart placement of motion sensors in a home environment,” *2017 IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern. SMC 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 894–899, 2017.
- [14] W. Wei, Q. Chenfei, and Z. Pengcheng, “Optimal Design of Wireless Sensor Network Topology Structure Based on Smart Home,” *Int. Conf. "Computational Intell. Commun. Technol. CICT 2018*, no. Cict, pp. 1–4, 2018.
- [15] T. Hunziker, C. Knüsel, and M. Joss, “Propagation Graphs for Indoor Sensor Network Planning,” *Int. Symp. Wirel. Pers. Multimed. Commun. WPMC*, vol. 2018-Novem, pp. 162–166, 2018.
- [16] K. Agarwal, A. Agarwal, and G. Misra, “Review and Performance Analysis on Wireless Smart Home and Home Automation using IoT,” *Proc. 3rd Int. Conf. I-SMAC IoT Soc. Mobile, Anal. Cloud, I-SMAC 2019*, pp. 629–633, 2019.
- [17] G. Alvarado, C. Bosquez, F. Palacios, and L. Córdoba, “Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy protocol and optimal number of cluster head algorithm in a randomized wireless sensor network deployment,” *Int. Conf. Electr. Electron. Commun. Comput. Technol. Optim. Tech. ICEECCOT 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 914–917, 2018.
- [18] M. Souissi and A. Meddeb, “Minimum energy multi-objective clustering model for Wireless Sensor Networks,” *2016 Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. Conf. IWCMC 2016*, pp. 769–773, 2016.
- [19] I. Okeke and F. Verdicchio, “Shape-based clustering in wireless sensor networks,” *Proc. IEEE Sensors*, vol. 2017-Decem, pp. 1–3, 2017.
- [20] J. A. Patel and Y. Patel, “The Clustering Techniques for Wireless Sensor Networks: A Review,” *Proc. Int. Conf. Inven. Commun. Comput. Technol. ICICCT 2018*, no. Icicct, pp. 147–151, 2018.
- [21] L. Salhi, T. Silverston, T. Yamazaki, and T. Miyoshi, “Early Detection System for Gas Leakage and Fire in Smart Home Using Machine Learning,” *2019 IEEE Int. Conf. Consum. Electron. ICCE 2019*, 2019.
- [22] C. L. Tseng, C. S. Cheng, Y. H. Hsu, and B. H. Yang, “An IoT-Based Home Automation System Using Wi-Fi Wireless Sensor Networks,” *Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern. SMC 2018*, pp. 2430–2435, 2019.
- [23] S. Wang, Y. Wang and M. Dai,

- "Development of monitoring system for Thermal Energy consumption in Intelligent Home," 2018 Chinese Automation Congress (CAC), Xi'an, China, 2018, pp. 2079-2083.
- [24] S. Gunpath, A. P. Murdan, and V. Oree, "Design and implementation of a low-cost Arduino-based smart home system," *2017 9th IEEE Int. Conf. Commun. Softw. Networks, ICCSN 2017*, vol. 2017-January, pp. 1491–1495, 2017.
- [25] INEN-ISO-10551. (2014). Ergonomía del Ambiente Térmico. Evaluación de la influencia del ambiente térmico empleando escalas de juicio subjetivo (ISO 10551:1995, IDT), 5-25.
- [26] INER. (2016). Estrategias para mejorar las condiciones de Habitabilidad y el consumo de energía en viviendas. Quito.
- [27] L. Yu, T. Jiang, and Y. Zou, "Online energy management for a sustainable smart home with an HVAC load and random occupancy," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 10, no. 2, pp. 1646–1659, 2019.
- [28] S. Zehl, A. Zubow, and A. Wolisz, "Practical distributed channel assignment in home Wi-Fi networks," *18th IEEE Int. Symp. A World Wireless, Mob. Multimed. Networks, WoWMoM 2017 - Conf.*, 2017.
- [29] C. Aranzazu-Suescun and M. Cardei, "Distributed algorithms for event reporting in mobile-sink WSNs for internet of things," *Tsinghua Sci. Technol.*, vol. 22, no. 4, pp. 413–426, 2017.
- [30] A. Hanumanthaiah, D. Arjun, M. L. Liya, C. Arun, and A. Gopinath, "Integrated Cloud based Smart Home with Automation and Remote controllability," *Proc. 4th Int. Conf. Commun. Electron. Syst. ICCES 2019*, no. Icces, pp. 1908–1912, 2019.
- [31] B. Campo Zuniga and A. Mendoza Mendoza, "PST-Prim Heuristic for the Open Vehicle Routing Problem," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 2, pp. 253–259, 2019.
- [32] M. A. M. T. Siddique, N. J. Happy, R. Kabir, A. S. Milton, and M. M. Hossain, "Tree Based EM-Prim's Algorithm For Energy Efficient Networking," *2019 4th Int. Conf. Electr. Inf. Commun. Technol. EICT 2019*, no. December, pp. 20–22, 2019.
- [33] M. Liserre, V. Raveendran, and M. Andresen, "Graph-Theory-Based Modeling and Control for System-Level Optimization of Smart Transformers," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 67, no. 10, pp. 8910–8920, 2020.
- [34] A. Biswas, D. Biswas, S. S. Chauhan, and A. Borwankar, "Smart Home Equipment Control System with Raspberry Pi and Yocto," pp. 553–558, 2020.
- [35] Z. Zou, Y. Wang, L. Wang, X. Wu, C. Xu, and M. Zhou, "Design of smart home controller based on raspberry PI," *Proc. 2020 IEEE 5th Inf. Technol. Mechatronics Eng. Conf. ITOEC 2020*, no. Itoec, pp. 1548–1551, 2020.
- [36] T. Xiong and S. Wang, "Intelligent farm management and control system based on Raspberry Pi," *Proc. 2019 IEEE 3rd Adv. Inf. Manag. Commun. Electron. Autom. Control Conf. IMCEC 2019*, no. Imcec, pp. 1286–1290, 2019.
- [37] Q. Luo and M. Xie, "Temperature and Humidity Detection System of Communication System Based on Raspberry Pi," *Proc. - 3rd Int. Conf. Intell. Transp. Big Data Smart City, ICITBS 2018*, vol. 2018-January, pp. 214–216, 2018.
- [38] R. W. Sudibyo, N. Funabiki, M. Kuribayashi, K. I. Munene, M. Manowarul Islam, and W. C. Kao, "A proposal of TCP fairness control method for two-host concurrent communications in elastic WLAN system using raspberry pi access-point," *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst.*, vol. 4, no. 6, pp. 10–18, 2019.
- [39] J. Hu, D. Huo, M. Wang, Y. Wang, Y. Zhang, and Y. Li, "A probability prediction based mutable control-flow attestation scheme on embedded platforms," *Proc. - 2019 18th IEEE Int. Conf. Trust. Secur. Priv. Comput. Commun. IEEE Int. Conf. Big Data Sci. Eng. Trust. 2019*, pp. 530–537, 2019.

9.1 Estado del Arte

Tabla 5. Matriz del Estado del arte

CONTROL DE EFICIENCIA ELÉCTRICA APLICADO AL CONFORT DE UN SMART HOME UTILIZANDO TEORÍA DE GRAFOS																								
ITEM	DATOS				TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	Red heterogénea	Grafos + Heurística	Eficiencia energética	Hogares Inteligentes	Ubicación Óptima	Observabilidad	Topología + Multigráfico	ILP	Confort	Confort	Radio de Cobertura	Despliegue de PAI	ILP	Topología	Enrutamiento	Control	Software de ILP	Heurística	Implementación	Teoría Grafos
17	2002	Wireless sensor networks: A survey	USA	11803		X	X		X				X			X		X			X		X	X
5	2004	Wireless Sensor Networks Routing Techniques in Wireless Sensor Networks : a Survey	Jordan	2309				X		X	X			X	X				X		X	X	X	
3	2010	The strategy of smart home control system design based on wireless network	China	7	X	X		X					X	X	X					X	X	X	X	X
23	2012	Wireless sensor network applications: A study in environment monitoring system	Malaysia	358	X	X	X	X			X		X		X		X		X		X	X	X	X
24	2012	Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno.	Chile	12	X			X						X										X

28	2012	Comfort effects of a new car headrest with neck support	USA	57	X				X				X				X			X				
22	2014	Machine learning in wireless sensor networks: Algorithms, strategies, and applications	Singapore	483	X		X			X			X	X			X		X	X		X	X	
25	2014	Ergonomía del Ambiente Térmico. Evaluación de la influencia del ambiente térmico empleando escalas de juicio subjetivo	Ecuador	43			X	X	X					X		X	X					X	X	
27	2015	Biomechanical variables and perception of comfort in running shoes with different cushioning technologies	USA	35				X	X				X		X					X			X	
2	2016	The impact of anchor misplacement on sensing coverage	Qatar	1	X	X		X		X	X			X	X				X				X	
6	2016	Efficient Wireless Charger Deployment for Wireless Rechargeable Sensor Networks	Taiwan	12		X			X	X		X	X						X	X		X	X	
8	2016	A practical implementation of wireless sensor network based smart home system for smart grid integration	Vietnam	3	X	X		X	X	X	X		X	X		X				X			X	
11	2016	Sensor deployment in heterogeneous wireless sensor networks	USA	5				X				X	X		X	X		X	X		X	X		
13	2016	One-Step Approach for Two-Tiered Constrained Relay Node Placement in Wireless Sensor Networks	Noruega	23			X			X			X		X							X	X	
19	2016	Minimum energy multi-objective clustering model for Wireless Sensor Networks	Cyprus	1	X	X		X			X	X	X	X	X	X				X	X	X		X
26	2016	Estrategias para mejorar las condiciones de Habitabilidad y el consumo de energía en viviendas. Quito.	Ecuador	14					X			X						X					X	
14	2017	Smart placement of motion sensors in a home environment	Canada	2	X	X			X			X		X	X			X				X	X	

20	2017	Shape-based clustering in wireless sensor networks	Glasgow, UK	1	X	X		X	X			X	X	X	X		X		X	X			X	
34	2017	Internet of Things Based Smart Home System Desing Through Wireless Sensor / Actuator Networks	Ukraine	4	X				X	X			X	X			X		X		X	X		
35	2017	Practical Distributed Channel Assignment in Home Wi-Fi Networks	Germany	4	X				X			X	X		X			X	X	X				
36	2017	Distributed Algorithms for Event Reporting in Mobile-Sink WSNs for Internet of Things	USA	22	X	X		X			X	X	X		X		X		X				X	
37	2017	Design and Implementation of a Low-Cost Arduino-Based Smart Home System	USA	27	X	X			X			X		X	X		X		X	X				X
9	2018	Hierarchical agglomerative clustering based routing algorithm for overall efficiency of wireless sensor network	India	2	X				X		X			X	X			X		X	X			
10	2018	Two-Level Clustering-Based Target Detection Through Sensor Deployment and Data Fusion	England	0	X	X		X		X			X		X					X		X	X	
12	2018	A K-medoids based clustering algorithm for wireless sensor networks	Thailand	4	X	X		X				X	X	X	X		X			X	X			X
15	2018	Optimal Design of Wireless Sensor Network Topology Structure Based on Smart Home	India	0			X			X		X	X	X	X				X			X		
16	2018	Propagation Graphs for Indoor Sensor Network Planning	Thailand	0			X			X			X	X			X						X	
18	2018	Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy protocol and optimal number of cluster head algorithm in a randomized wireless sensor network deployment	India	3			X			X				X	X			X					X	
21	2018	The Clustering Techniques for Wireless Sensor Networks: A Review	India	1	X	X					X			X	X						X	X		X

32	2018	Design of Smart Home Environment Monitoring System Based on Raspberry Pi	Tianjin	9	X			X	X			X	X			X		X		X	X		
33	2018	Design of Routing Gateway for Smart Home Based on Wireless Network	China	0	X			X				X				X		X		X	X	X	
40	2018	An IoT-based Home Automation System Using Wi-Fi Wireless Sensor Networks	Taiwan	7	X	X	X				X	X	X			X		X			X	X	X
41	2018	Development of monitoring system for Thermal Energy consumption in Intelligent Home	China	1	X	X			X			X		X	X		X			X	X		X
1	2019	Towards a Model and Graph Representation for Smart Homes in the IoT	USA	1	X	X		X			X	X	X				X			X	X		X
4	2019	Optimal placement of wireless chargers in indoor environment using clustering algorithm	India	0		X	X				X			X	X		X			X	X		X
7	2019	New Approach to Secure Cluster Heads in Wireless Sensor Networks	India	1	X			X			X	X	X	X	X		X			X		X	
29	2019	Temperatura, Climograma y Tabla climática para Tulcán	Ecuador	18					X						X			X					X
30	2019	Comportamiento Térmico De Viviendas Sociales Mediante Incorporación De Mejoras De Diseño En La Envolverte	Argentina	53	X		X				X		X				X						X
31	2019	Review and Performance Analysis on Wireless Smart Home and Home Automation using IoT	Ireland	1	X	X			X			X			X								
38	2019	Online Energy Management for a Sustainable Smart Home With an HVAC Load and Random Occupancy	Japan	29	X	X	X					X	X	X	X	X				X			X
42	2019	Integrated Cloud based Smart Home with Automation and Remote controllability	India	0		X	X					X			X	X		X			X		X

39	Early Detection System for Gas Leakage and Fire in Smart Home Using Machine Learning	Japan	7	X	X	X				X			X	X			X		X	X			
CANTIDAD:				27	22	14	18	18	11	15	19	24	24	28	8	8	15	11	13	24	17	20	25

9.2 Resumen de Indicadores

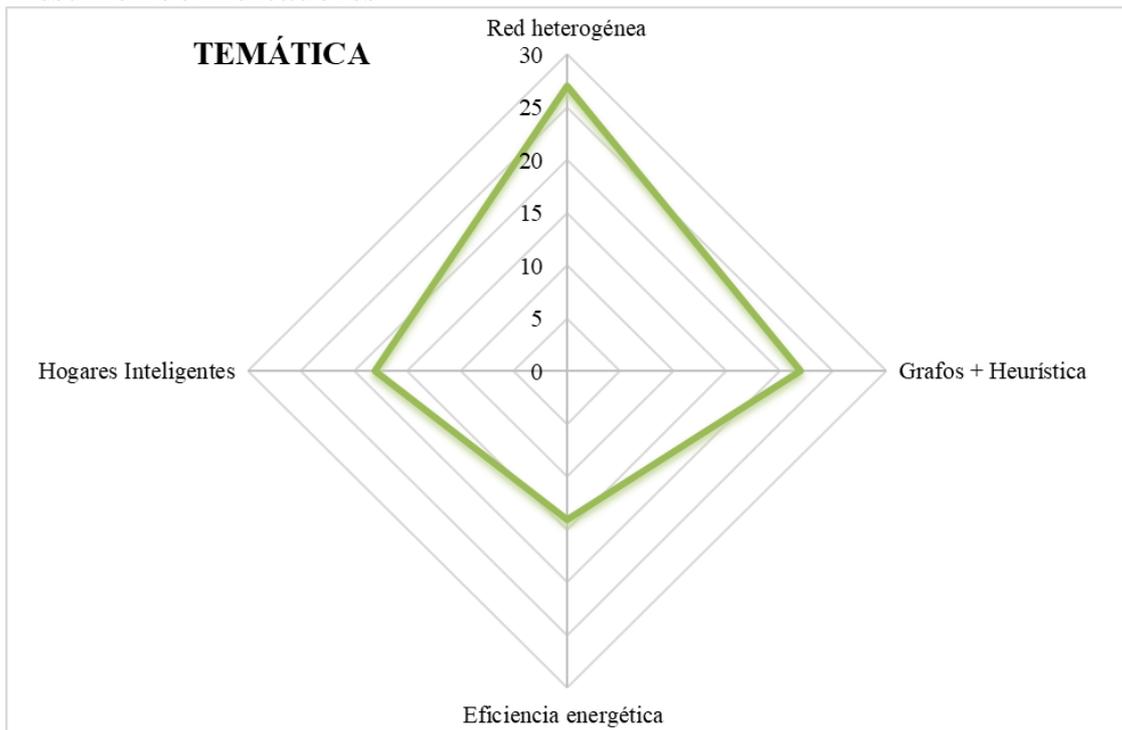


Figura 18. Temática.

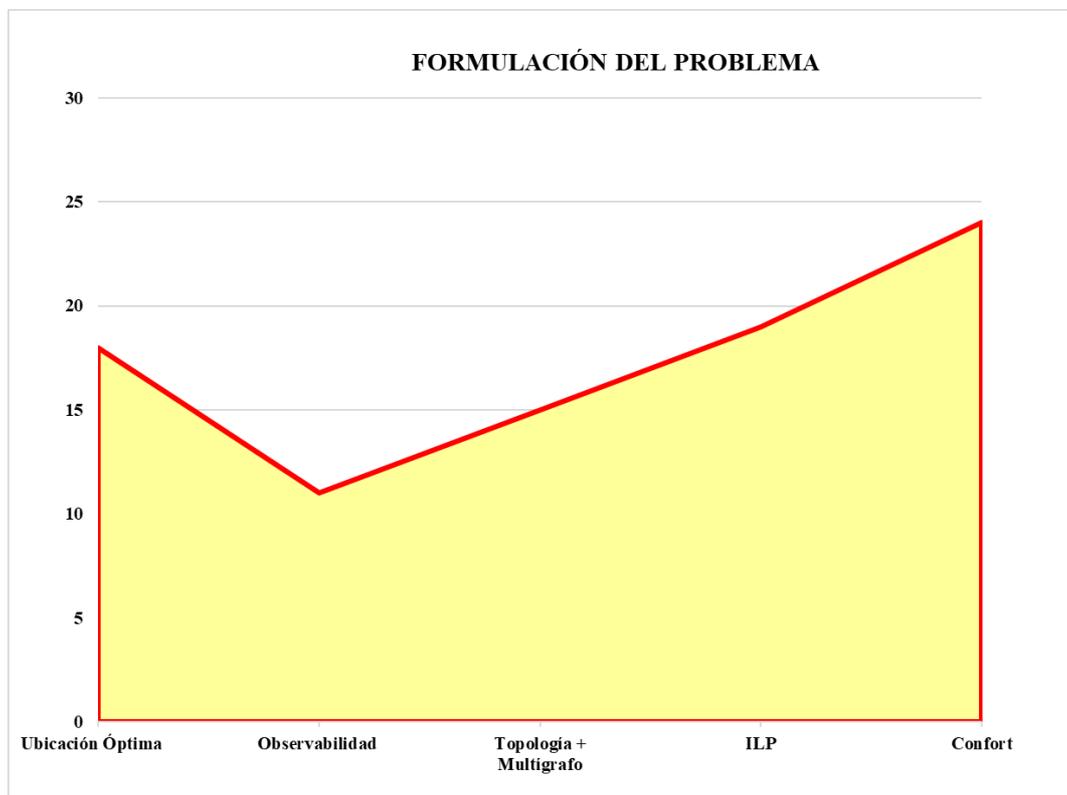


Figura 19. Formulación del problema.

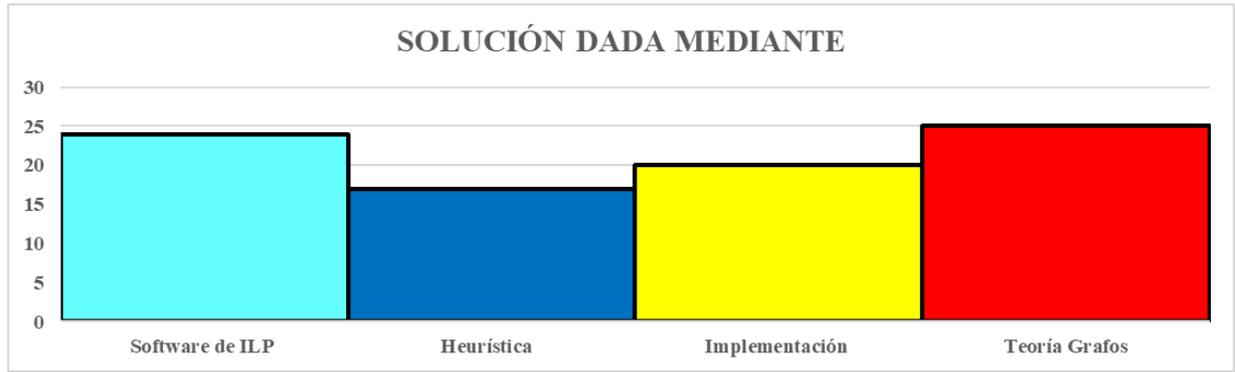


Figura 20. Solución.

10. Anexos

10.1 Código Raspberry

```
import time
import socket
import RPi.GPIO as GPIO

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(18, GPIO.OUT)
GPIO.output(18,GPIO.LOW)

t1 = 0
t2 = 0
tp = 0

serversocket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
serversocket.bind(('192.168.xxx.xxx', 8000))
serversocket.listen(10)

try:
    while True:
        connection, address = serversocket.accept()
        buf = connection.recv(15)
        if buf[4] == 65:
            t1 = (buf[5] -48)*10 + buf[6] -48
            #print("TEMPERATURA CLIENTE 1")
            #print(t1)
        if buf[4] == 66:
            t2 = (buf[5] -48)*10 + buf[6] -48
            #print("TEMPERATURA CLIENTE 2")
            #print(t2)
        tp = (t1+t2)/2
        print("TEMPERATURA PROMEDIO")
        print(tp)
        if tp >= 25:
            GPIO.output(18,GPIO.HIGH)
            #print("VENTILADOR ON")
        if tp < 25:
            GPIO.output(18,GPIO.LOW)
            #print("VENTILADOR OFF")
        serversocket.close()
        time.sleep(1)
except KeyboardInterrupt:
    #CTRL+C DETECTADO
    print("CERRANDO EL PROGRAMA")
```

10.2 Código módulos WiFi

```
dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Temperatura;
st char* ssid = "colocar e
st char* password = "coloc
st char * host = "192.168.
st int httpPort = 8000;
ing Commands = "";
d setup() {
rial.begin(115200);
ht.begin();
erial.println("");
erial.println("Client-----
erial.print("Connecting to
iFi.mode(WIFI_STA);
iFi.begin(ssid, password);
elay(1000);

hile (WiFi.status() != WL_
Serial.print(".");
delay(500);

erial.println("");
erial.println("Successfull
erial.println("Status : Co
erial.print("IP address: "
erial.println(WiFi.localIP
erial.println("-----
erial.println("");

d loop() { //inicio de
emperatura = dht.readTempe
erial.println(Temperatura)
ommands = "A" + String(Tem
erial.println(Commands);
end_commands();
elay(500);

d send_commands() {
```

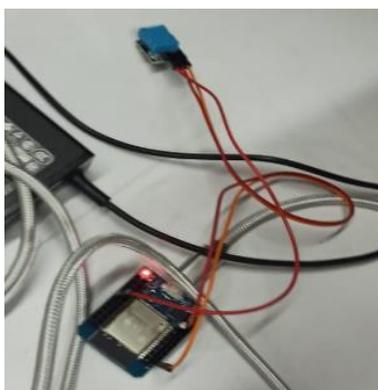
11. Implementación Práctica



Programación de Python en HDMI para Raspberry Pi 3



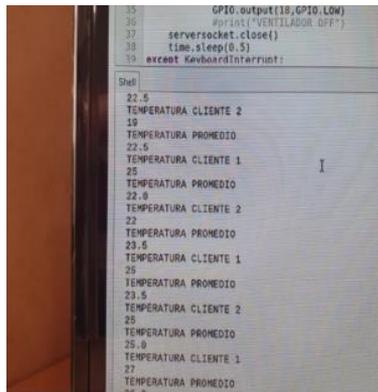
Raspberry Pi 3



Módulo DHT11 y el módulo WiFi ESP 8266



HDMI móvil mediante VNC Viewer



Monitoreo de temperatura en tiempo real