Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el autor ha autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que "los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables."

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

Sistema de monitoreo, basado en redes de sensores inalámbricos, para la medición de variables de interés aplicado a la arquitectura bioclimática

Daniel Felipe Sepúlveda Bustos

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero de Telecomunicaciones

Comité de trabajos de grado

Director

Sergio Andrés Zabala Vargas

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Ingeniería de Telecomunicaciones

2020

Dedicatoria y agradecimientos

El presente trabajo de grado lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador, darme las fuerzas y la salud necesaria para poder realizar las tareas diarias, para trazarme metas y un camino claro, en el cual estoy dando un paso significativo con el desarrollo de este proyecto de grado para poder optar al título de Ingeniero de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomas, seccional Bucaramanga.

A mi familia por aportar la fortaleza emocional, en especial a mi madre quien es el pilar del proyecto de vida que tengo planteado, es la persona que siempre ha estado día a día apoyándome con su infinito amor, paciencia y cariño, lo cual es indispensable para tener la fortaleza de salir a enfrentar los retos que a diario nos propone la vida.

A cada uno de los profesores de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones que a lo largo de mi preparación profesional me compartieron sus conocimientos en cada una de las diferentes áreas del conocimiento, al igual que el aporte al desarrollo de la personalidad que brinda la Universidad Santo Tomas por medio de todas las cátedras que se ofertan en el programa académico de Ingeniería de Telecomunicaciones, agradecimientos en especial a Sergio Andrés Zabala Vargas quien fue mi tutor para el presente trabajo de grado.

Resumen

El objetivo de este proyecto de investigación es proponer una solución tecnológica para la recolección y caracterización de variables medioambientales en recintos; y con esto poder contribuir con datos para el análisis y toma de decisiones bioclimáticas a ser realizadas por los expertos del grupo de investigación *GINVEARQUI*, de la Facultad de Arquitectura y el grupo de investigación UNITEL, de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomas. Específicamente, la propuesta busca implementar una red inalámbrica de sensores que permita realizar el monitoreo de las variables medioambientales requeridas en la investigación (temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura de cristal/ventanas, radicación visible, radiación UV, dirección y velocidad del viento y cantidad de precipitación de lluvia por unidad de tiempo), para que posteriormente los datos sean compilados, tabulados y presentados de forma simple y precisa.

En el trabajo de investigación desarrollado se tuvo la oportunidad de conocer proyectos que tenían también la misma barrera tecnológica, donde gran cantidad de artículos hacen estudios rigurosos de las condiciones medioambientales y como el comportamiento variable del clima afecta las diferentes tipos de edificaciones existentes y por este motivo necesitan seguir manteniéndose habitables y estar alineados con los requerimientos de confort climático y consumo energético responsable con el medio ambiente, y como por medio de tecnologías de Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) se presentaban soluciones eficientes con importantes ventajas como lo son el bajo consumo de energía, procesamiento local, fácil despliegue, escalabilidad y bajo coste [1].

De esta manera los nodos de estas WSN pueden realizar la medición de variables medioambientales convirtiéndose en un gran aporte para los diferentes casos de estudio, esto hace que el trabajo tenga bases sólidas que justifican su desarrollo.

Para poder implementar la red fue necesario realizar el estudio de los diferentes tipos de tecnologías de comunicación que podían ser de mayor beneficio para cumplir con el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados, de acuerdo con esto se llega a la conclusión de realizar pruebas piloto con nodos de sensores (denominados Motes) de diferentes tipos de comunicación, tales como GSM y WiFi. También, según el entorno de registro, contar con un equipo de medición offline Stand Alone (con almacenamiento en memoria SD). Se realizó también la selección de los sensores que permitieran obtener datos confiables y que pudiesen operar con las tarjetas de procesamiento y comunicación seleccionadas. Posteriormente se realizó el diseño de la topología de la red y se conectó en una prueba piloto en el Edificio Fray Angélico (4 fachadas y cubierta), de la Universidad Santo Tomás- Bucaramanga. Finalmente, la información se visualiza en plataforma Web (para los datos registrados inalámbricamente) y en hoja de cálculo online (Google Drive) para la información procedente de los dispositivos stand alone.

Palabras clave: Mote, sensor, placa de procesamiento, estación meteorológica, Arduino, GSM y Wi-Fi.

Abstract

The objective of this research project is to propose a technological solution for the collection and characterization of environmental variables in enclosures; and with this to be able to contribute with data for the analysis and bioclimatic decision making to be carried out by the experts of the research group GINVEARQUI, of the Faculty of Architecture and the research group UNITEL, of the Faculty of Engineering of Telecommunications of the University Santo Tomas. Specifically, the proposal seeks to implement a wireless sensor network that will allow the monitoring of the environmental variables required in the research (ambient temperature, relative humidity, glass/window temperature, visible radiation, UV radiation, wind direction and speed, and amount of rainfall per unit of time), so that the data can later be compiled, tabulated, and presented in a simple and accurate manner.

In the research work developed, we had the opportunity to get to know projects that also had the same technological barrier, where a large number of articles make rigorous studies of environmental conditions and how the variable behavior of the climate affects the different types of existing buildings and for this reason they need to continue to be habitable and be aligned with the requirements of climate comfort and environmentally responsible energy consumption, and how by means of Wireless Sensor Network (WSN) technologies efficient solutions were presented with important advantages such as low energy consumption, local processing, easy deployment, scalability and low cost [1].

In this way, the nodes of these WSNs can carry out the measurement of environmental variables, becoming a great contribution to the different case studies.

In order to implement the network, it was necessary to study the different types of communication technologies that could be of greater benefit to meet the development of each of

the objectives set, according to this, it was concluded to carry out pilot tests with sensor nodes (called Flocks) of different types of communication, such as GSM and WiFi. Also, depending on the recording environment, have an offline Stand Alone measurement device (with SD memory storage). The selection of the sensors was also made to obtain reliable data that could operate with the selected processing and communication cards. Later, the design of the topology of the network was made and it was connected in a pilot test in the Fray Angelico Building (4 facades and cover), of the University Santo Tomás- Bucaramanga. Finally, the information is displayed on a web platform (for the wirelessly recorded data) and on an online spreadsheet (Google Drive) for information from stand alone devices.

Keywords: Mote, sensor, processing board, weather station, Arduino, GSM and Wi-Fi.

Tabla de Contenido

1. Introducción 15

2. Formulación Del Problema 18

3. Justificación 22

4. Objetivos 24

4.1 Objetivo General 24

4.2 Objetivos Específicos 24

5. Marco Referencial 25

5.1 Red De Sensores Inalámbricos (WSN) 25

5.2 Mote 27

5.2.1 Procesador. 27

5.2.2 Alimentación. 28

5.2.3 Comunicación Inalámbrica. 28

5.2.4 Sensores. 28

5.2.5 Memoria. 29

5.3 Protocolos De Comunicación Inalámbrica. 29

5.3.1. Wi-fi 29

5.3.2. Zigbee 30

5.3.3. GSM 30

5.3.4. GPRS 30

5.3.5. Bluetooth 31

5.4 Internet De Las Cosas (IoT Ó Internet Of Things) 31

5.5 Plataformas de Visualización (Plataformas IoT) 31
5.5.1 Ubidots 32
5.5.2 Watson IoT Plataform 32
5.5.3 AWS IoT 32
5.5.4 ThingSpeak 32
5.6 Envolvente De Una Edificación 33
5.7 Arquitectura Bioclimática 33
5.8 Confort Térmico 34
5.9 Valores U 34
6. Desarrollo Del Proyecto - Condiciones Y Requerimientos Generales 34
6.1 Variables Por Registrar 35
6.1.1 Temperatura Ambiente 35
6.1.2 Humedad Relativa 35
6.1.4 Radiación Solar 35
6.1.6 Velocidad del Viento 36
6.1.7 Dirección del Viento 36
6.1.8 Cantidad de agua lluvia 36
6.1.9 Presión barométrica 37
6.2 Puntos de medición 37
6.2.1 Selección de la Ubicación de Nodos. 37
6.2.2 Distancia entre Nodos. 40
6.2.3 Estrategia de Visualización. 43

7. Desarrollo Del Proyecto - Diseño De La Red..... 45

7.1 Elección De La Placa De Procesamiento De Datos.....45

7.1.1 Arduino. 45

7.1.2 SeeedStudio. 49

7.1.3 Linkit One y Zolertia. 51

7.2 Elección de Sensores.....54

7.3 Elección de las Fuentes de Alimentación de Energía 56

7.4 Elección de Elementos Adicionales.....57

7.5 Elección de la Estación Meteorológica 60

7.5.1 Estación Meteorológica Solar MA 3081 (Básica). 60

7.6 Topología de Red.....62

7.7 Elaboración del Mote.....63

7.8 Montaje de la Estación Meteorológica.....67

8. Desarrollo Del Proyecto- Pruebas En Laboratorio Y En Campo..... 68

8.1 Pruebas de Laboratorio.....69

8.1.1 Pruebas en Mote con Almacenamiento Interno.....70

8.1.2 Prueba en Mote con Comunicación Wi-Fi. 72

8.2 Pruebas de Campo.....74

8.2.1 Pruebas de campo con Mote Wi-Fi. 75

8.2.2 Pruebas con Mote GSM.....79

9. Conclusiones..... 80

10. Recomendaciones y Trabajo Futuro..... 84

11. Referencias..... 85

Apéndices

Apéndice A - Guía de Elaboración de los Mote

Apéndice B - Código Para el Mote Wi-Fi

Apéndice C - Código Para el Mote Con Almacenamiento Interno

Apéndice D - Código Para el Mote GSM

Apéndice E - Guía Manual de Montaje y Operación De La Estación Meteorológica

Lista de Figuras

Figura 1. Topologías de red WSN comunes [16] 26
Figura 2. Vista de la fachada norte- Ubicación del nodo 38
Figura 3. Vista fachada sur. Ubicación del nodo 39
Figura 4. Vista fachada sur. Ubicación del nodo 39
Figura 5. Vista fachada Oeste. Ubicación del nodo 40
Figura 6. Captura de Net Analyzer 41
Figura 7. Vista superior planta 5 con puntos de ubicación de nodos. 42
Figura 8. Ubidots 43
Figura 9. Google Drive 44
Figura 10. Arduino MKR1000 46
Figura 11. Arduino Ethernet Rev3 sin POE 47
Figura 12. Arduino TIAN 48
Figura 13. Dragrove Gateway Genérico para IoT 49
Figura 14. Beaglebone Green Wireless (SeeedStudio) [45] 50
Figura 15. Seeeduino Stalker V3.1 (SeeedStudio) 51
Figura 16. LinKit ONE 52
Figura 17. Zolertia RE-Mote 53
Figura 18. Sensor Grove de Temperatura y Humedad (DHT 11) 55
Figura 19. Sensor Grove de Luz Solar 55
Figura 20. Sensor de Temperatura LM 35 56
Figura 21. Batería de Polímero de Iones de Litio 56

Figura 22. Panel Solar 57

Figura 23. Placa Base Grove V2.....58

Figura 24. LiPo Rider V 1.3 58

Figura 25. Cable Grove - Grove 59

Figura 26. Caja para Exteriores 59

Figura 27. Corte de Vidrio.....59

Figura 28. Estación Meteorológica Solar MA 3081 61

Figura 29. Topología de Red tipo Estrella 63

Figura 30. Caja para Exteriores con Adecuación 65

Figura 31. Caja de Exterior con los sensores y vidrio de protección.....65

Figura 32. LinKit ONE Con disposición de Interruptores 66

Figura 33. Mote con Conexiones terminadas 67

Figura 34. Datos de Prueba, Mote Sd 71

Figura 35. Datos de Prueba en Hoja de Datos.....72

Figura 36. Prueba con Ubidots 73

Figura 37. Punto de Acceso Rockus R310.....75

Figura 38. Distribución planta 6 76

Figura 39. Señal Wi-Fi en Aula 603 77

Figura 40. Señal Wi-Fi en Pasillo 6to Piso.....77

Figura 41. Señal Wi-Fi en Aula 509 77

Figura 42. Señal Wi-Fi en Aula 506 77

Lista de tablas

Tabla 1. Distancia entre puntos de ubicación de nodos de fachada 42
Tabla 2. Arduino MKR1000 46
Tabla 3. ArduinoEthernet Rev3 Sin POE 47
Tabla 4. Arduino TIAN 48
Tabla 5. Dragrove-Gateway Generico Prara IoT 49
Tabla 6. Seeedstudio Beaglebone Green Wireless 50
Tabla 7. Seeeduino Stalker V 3.1 51
Tabla 8. Linkit One 52
Tabla 9. Tarjeta Zolertia Re-Mote 53
Tabla 10. Sensor DHT11 55
Tabla 11. Sensor de Luz Solar 55
Tabla 12. Sensor Lm 35 56
Tabla 13. Batería 56
Tabla 14. Panel Solar 57
Tabla 15. Placa Base Grove V2 58
Tabla 16. LiPo Rider V 1.3 58
Tabla 17. Cable Grove 59
Tabla 18. Caja de Conexiones Para Exteriores 59
Tabla 19. Corte de Vidrio Protector 59
Tabla 20. Distancia de los Nodos al Router sin Línea de Vista 76

1. Introducción

En la actualidad el ser humano está siendo parte de una gran revolución llevada a cabo por los diferentes tipos de tecnologías, y esto se ve evidenciado también en el sector de la construcción; donde se han evidenciado cambios en los procesos, adaptando tecnologías en diferentes espectros y etapas (Diseño e impresión de estructuras apoyadas en tecnologías digitales 3D, selección y análisis de materiales sostenibles, modelamiento y optimización de ambientes basados en confort, disminución de consumo de recursos, Big Data, IoT, entre otros) [2].

En este sentido, el desarrollo tecnológico se ha convertido en una excelente estrategia para potenciar la sostenibilidad; siendo esto de gran importancia para la humanidad como aporte, con el uso respetuoso y responsable de los recursos. Esto ha sido profundizado en conceptos como el Desarrollo Sostenible, que se comprende cómo, según la Organización de Naciones Unidas- ONU, en "la satisfacción de «las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades»" [3]. También es relevante citar el concepto de *"Objetivos del Milenio para el Desarrollo Sostenible"* también conocidos como objetivos mundiales que no son más que un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad [1].

Para el caso Latinoamericano, se resalta que la Comisión Económica Para América Latina y el Caribe-CEPAL, ha venido trabajando temas que hablan del cambio medioambiental, el desarrollo sostenible, la construcción responsable, la implementación de planes y políticas que aporten parámetros y conocimientos a las comunidades de esta parte del planeta que carece muchas veces del medio económico para llevar a cabo la construcción sostenible de urbes donde sea incluyente

el medio ambiente como pilar y eje del desarrollo de las grandes ciudades [4].

Aterrizando estas ideas al presente proyecto, es de vital importancia conocer y caracterizar las condiciones ambientales y el entorno donde se diseñan y desarrollan las edificaciones. Este conocimiento se puede cuantificar por medio de una gran cantidad de datos y de registro de variables como los son, la temperatura, radiación solar, humedad, radiación visible, pluviosidad, velocidad y dirección del aire, entre las más importantes. El contar con esta información de forma confiable y con un periodo de registro suficiente, permite proponer estrategias de diseño de las estructuras nuevas o bien el rediseño de las estructuras ya existentes, conocer más que el espacio donde se encuentran las edificaciones, la intención es conocer como está afectando el medio ambiente donde se encuentran las edificaciones piloto (que para efectos del presente proyecto es el Edificio Fray Angélico de la Universidad Santo Tomás), para poder beneficiarse de las condiciones climáticas que están a su alrededor. La Red de ciudades españolas por el clima cita:

"El sector de la construcción, y en concreto la edificación urbanística, es uno de los motores más importantes de la economía de un país. Sin embargo, este sector produce un notable impacto sobre el medio ambiente, ya que es responsable de un elevado consumo de recursos (energía, agua y materias primas) y puede generar gran cantidad de residuos y contaminación de aire, suelo y aguas." [5]

Cabe resaltar que el sector residencial, industrial y en general de edificaciones son uno de los sectores que más emiten gases de efecto invernadero debido a su alto consumo energético por lo cual es necesario incorporar el concepto bioclimático. Actualmente el país no cuenta con reglamentación de arquitectura bioclimática, pero si hay organizaciones que entregan certificados a edificaciones sustentables lo cual cuenta como un reconocimiento al esfuerzo voluntario a los

diseños arquitectónicos que implementen bioclimática, en otras partes del mundo si existe reglamentación sobre los parámetros que deben seguir las construcciones nuevas y existentes, el parlamento europeo y del consejo en la directiva 2002/91/CE cita lo siguiente:

"Los Estados miembros tomarán las medidas necesarias para garantizar que se establezcan unos requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios, sobre la base de la metodología a que se refiere el artículo 3. Cuando establezcan los requisitos, los Estados miembros podrán distinguir entre edificios nuevos y edificios existentes, así como entre diferentes categorías de edificios. Estos requisitos deberán tener en cuenta las condiciones ambientales generales interiores, para evitar posibles efectos negativos, como una ventilación inadecuada, así como las particularidades locales, el uso a que se destine el edificio y su antigüedad. Estos requisitos serán revisados periódicamente en intervalos no superiores a 5 años y, en caso necesario, actualizados con el fin de adaptarlos a los avances técnicos del sector de la construcción." [6].

En este sentido, el presente documento expone un proyecto de grado que aporta a esta problemática descrita; a través de involucrarse como una parte constitutiva de la investigación denominada: "Estrategias para la Rehabilitación Energética de la Envolvente del Edificio Fray Angélico para la Mejora del Confort Térmico y Reducción del Gasto en Consumo de Energía"; formulada como investigación por los grupos GINNVEARQUI (Facultad de Arquitectura) y UNITEL (Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones), donde existe la necesidad de poder recopilar datos de variables medioambientales.

En la sección dos se presenta la problemática particular del proyecto, como también es presentado el estado de arte de esta temática, en la justificación se exponen los criterios en los que se basa la elaboración del presente proyecto de grado, esto es presentado en la sección tres, así

como los objetivos son presentados en la sección cuatro.

2. Formulación Del Problema

Comprendiendo ya la importancia de aportar, desde la Ingeniería y las tecnologías de la información, a la sostenibilidad ambiental (particularmente en el campo de la construcción sostenible), se encuentra una necesidad específica (estudio de caso) en la Universidad Santo Tomás. Particularmente, el Edificio Fray Angélico de dicha institución es una edificación de estilo ubicada en el campus Floridablanca, la cual fue diseñada por el arquitecto Mario Pilonieta en la década de los 80's. Esta edificación alberga actualmente la Facultad de Arquitectura, zonas administrativas, oficinas de decanaturas y el auditorio mayor del campus Floridablanca de la Universidad Santo Tomás [7].

Con el transcurso del tiempo y con el aumento progresivo de las personas que habitan el edificio, se ha tenido que hacer modificaciones de manera arbitraria en su interior, dando lugar a espacios con bajas condiciones de confort[1]; adicionalmente, en la década del 80, en la cual fue proyectado el edificio, no se contaba con una cultura del diseño y la construcción que planteara la necesidad de evaluar el consumo de energía del mismo ni la incorporación de la bioclimática a nivel pasivo y activo como respuesta al clima y al entorno.

En la actualidad tanto la Universidad Santo Tomas como otras entidades cuentan con edificaciones que deben ser reestructuradas en su diseño ya que no cuentan con condiciones

1 Confort Térmico: El confort térmico se trata cuando el cuerpo humano mantiene su equilibrio térmico, es decir, su temperatura interna se mantiene dentro de los limites fisiológicos normales, sin que sea necesario realizar ajustes de adaptación al medio ambiente en el que se encuentra la persona que está laborando. La temperatura corporal óptima se estima entorno a los 37°C, para mantenerla el cuerpo humano está dotado de mecanismos termorreguladores capaces de ganar o perder calor en función del entorno [52][53][52][53].

ambientales propicias para que las personas que usan estas edificaciones puedan hacerlo con confort térmico y además hacerlas más eficientes en el consumo energético, entonces siempre se piensa en construir nuevas edificaciones y las edificaciones existentes pasan a ser inhabitables, dado a la inexistencia de tecnologías que puedan dar apoyo a la reestructuración del diseño de las edificaciones para poder brindar un confort térmico adecuado, para no tener que llegar a tomar la decisión de optar por nuevas edificaciones.

Dada esta situación y como ya fue citado en la introducción del presente documento, los grupos de investigación GINVEARQUI (Facultad de Arquitectura) y UNITEL (Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones) propusieron para la X convocatoria de investigación interna el proyecto denominado: Estrategias para la Rehabilitación Energética de la Envolvente del Edificio Fray Angélico para la Mejora del Confort Térmico y Reducción del Gasto en Consumo de Energía. El objetivo principal de dicho proyecto es: Proponer estrategias bioclimáticas pasivas y activas para la rehabilitación energética de la envolvente del Edificio Fray Angélico para la mejora del confort térmico y la reducción del gasto en consumo de energía; a partir del monitoreo, procesamiento y análisis de variables distribuidas a lo largo del recinto.

Para lograr este objetivo, uno de los puntos clave es contar con información ambiental (variables del entorno) lo más precisa y con el mayor detallado posible; para poder generar simulaciones y modelamiento. Con estos elementos, es posible generar lineamientos y recomendaciones para mejorar las condiciones de la edificación. Vale la pena precisar, que estas variables se registran por fuentes oficiales (estatales y privadas) con una distribución macro climática muy amplia (teniendo un número reducido de datos puntuales de cada municipio del Área Metropolitana de Bucaramanga), sin la precisión adecuada. Esto significa que se requiere medir de forma puntual dicha variables en la envolvente o entorno de la edificación.

Recientemente se han hecho estudios sobre este tema de la rehabilitación de edificaciones que se apoyan en redes inalámbricas de sensores, para hacer el mapeo de los datos requeridos y en base a esto se hace la toma de decisiones apropiada en el rediseño de la estructura como también para optimizar el consumo energético de estas estructuras, hay puntualmente un caso de estudio donde se documenta las diferentes metodologías de levantamiento de datos ambientales de las edificaciones, este estudio es un respaldo a la viabilidad de mantener los valores patrimoniales construidos de los edificios históricos mientras se logran mejoras significativas en su eficiencia energética y confort térmico.[8]

En Suiza se realizó un proyecto que tenía como objetivo plantear la manera de como rediseñar las edificaciones existentes debido a que no cumplían con los estándares en consumo energético del código de construcción de ese país, el mayor inconveniente que tenían para cumplir con su objetivo, eran los datos que requerían, pues no eran óptimos, debido a las herramientas que eran inexactas para ese momento, pero con el desarrollo de nuevos componentes hardware en el tema de redes de sensores inalámbricos se pueden obtener datos más reales y así realizar un modelado exitoso, ya que dependiendo de la veracidad de los datos recolectados, se puede plantear mejoras que coincidan con la realidad actual y proyecciones sensatas con la edificación.[9]

En otro caso de estudio que se hace para una edificación acristalada que se sobrecalienta dado a que recibe gran cantidad de radiación solar en buena parte del día y por ende requiere un elevado consumo energético para poder brindar un confort térmico, esta investigación también se apoya en la metodología de implementar una red inalámbrica de sensores para hacer el mapeo de los datos ambientales requeridos, como resultado de la investigación se logra mantener el confort térmico necesario en gran parte del día y debido a esto el consumo energético también fue significativamente menor ya que los sistemas de refrigeración trabajaron a una potencia máxima

del 80% durante los periodos de mayor exposición a la radiación solar durante el día[10].

En Estados Unidos se presenta un caso de estudio muy similar al de nuestro proyecto, pues se desarrolla en un campus universitario y tiene un objetivo muy similar al nuestro, que es ofrecer confort térmico en las instalaciones de una edificación y reducir significativamente el consumo energético necesario para que se cumplan las condiciones de confort, para llevar a cabo este objetivo se han implementado redes inalámbricas de sensores que tiene como finalidad hacer el mapeo de las condiciones climáticas de los recintos de toda la edificación y poder tomar decisiones para reducir el consumo energético que causan los sistemas de aires acondicionados esto en base a la ocupación temporal de cada uno de los sitios [11].

En Colombia actualmente existen organismos que hacen enfoque en el trabajo que tiene que hacer la industria de la construcción para que pueda incluir principios de sostenibilidad ambiental en los proyectos, dada la necesidad del manejo de los altos impactos ambientales generados por este sector y la racionalización de los recursos naturales en el marco del desarrollo sostenible. Esta vertiente de la arquitectura integra al diseño elementos que buscan la armonización y optimización de la edificación, en todas sus fases de producción, con el medio ambiente y el desarrollo socioeconómico de las comunidades. En la estructura física de las ciudades colombianas, estos factores no se reflejan de manera clara, debido en parte a fenómenos recientes como el desarrollo urbanístico acelerado que sumado al incremento poblacional y a una ocupación del suelo urbano no planificada, han configurado un desarrollo urbano caótico y desequilibrado con relación al ambiente en ciudades grandes e intermedias. Adicionalmente a este modelo de desarrollo, la explosión urbana de los años 70, la aplicación de políticas de crecimiento y de organización espacial aisladas y en algunos casos desarticuladas, han marcado una alta densificación que

desbordó los límites físicos del suelo urbano disponible, fomentando el crecimiento de la actividad edificadora a espaldas del medio ambiente [12].

Con todos estos elementos que describen la necesidad existente y los antecedentes citados; se propone para el presente trabajo de grado la idea general de: Implementar una red de sensores inalámbricos en la fachada del Edificio Fray Angélico de la Universidad Santo Tomás-Seccional Bucaramanga, orientado al registro, almacenamiento y visualización de datos asociados a las variables medioambientales de interés en el análisis del comportamiento de la envolvente térmica de la edificación.

3. Justificación

Actualmente se realizan muchos estudios en áreas como arquitectura bioclimática, agricultura [13], transporte, gases, petróleo, etc., en los cuales es de vital importancia conocer las variables medioambientales que inciden y monitorear estos datos de manera constante, confiable y en tiempo real.

Para este tipo de requerimientos se ha planteado diferentes estrategias de solución en el estado de la técnica, las cuales son analizadas en el presente proyecto para generar una propuesta a medida y que pueda satisfacer las condiciones y restricciones de la edificación piloto. Para el caso de investigación propuestas por los grupos de investigación GINVEARQUI y UNITEL, el aporte del presente proyecto de grado es contar con un panorama de registro, almacenamiento y visualización de datos de las variables ya discutidas, en una base de datos de fácil acceso y comprensión para los expertos.

Como aporte de particular, se realiza una primera búsqueda de las posibles alternativas de respuesta a esta problemática, y como resultado de esta elección, se plantea la posibilidad de

realizar el monitoreo de las variables medioambientales incidentes en la edificación, este monitoreo va a llevarse a cabo por medio de la implementación de una Red Inalámbrica de Sensores (WSN) que es diseñada a medida para este caso de investigación en particular, donde se van a establecer puntos de monitoreo estratégicos, con nodos de monitoreo (Motes) que como características principales tienen, tres tipos de comunicación, ultra bajo consumo de batería, escalabilidad, bajo coste, fácil implementación, diversidad de hardware desarrollado y con soporte para las placas escogidas. Esta red fue desplegada en las cuatro fachadas principales del Edificio, así como en la cubierta (techo); para caracterizar de forma adecuada el comportamiento exterior (*outdoor*) del mismo.

Estos datos son presentados al grupo de expertos de GINVEARQUI para que ellos pueda realizar el modelamiento del comportamiento bioclimático de la edificación por medio de software según los datos aportados por nosotros el grupo UNITEL, estos datos y su grado de exactitud son de gran importancia para poder cumplir con el objetivo de realizar el rediseño de la fachada del edificio, esto para que la edificación pueda responder positivamente a las condiciones climáticas que lo rodean y de esta manera pueda bajar considerablemente el consumo energético que demanda en la actualidad. Este trabajo es de vital importancia para aportar lineamientos constructivos y arquitectónicos tanto para edificaciones existentes donde debido a su valor histórico, religioso o arquitectónico se quiere que permanezcan pero que puedan ser alineados con los nuevos requerimientos de consumo energético.

Este proyecto de investigación permite acuñar nuevos lineamientos técnicos para poder desarrollar tecnologías que permitan acceder a los datos de variables ambientales basados en la experiencia que aporta la implementación de la WSN propuesta para el Edificio Fray Angélico de la Universidad Santo Tomas y deja un precedente para que el trabajo de investigación por parte

de la facultad de arquitectura pueda seguir desarrollándose y así abrir la posibilidad a que a futuro la universidad pueda tener un grupo de expertos los cuales puedan brindar servicios de consultoría en temas de arquitectura bioclimática.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Implementar una red de sensores inalámbricos en la fachada del Edificio Fray Angélico de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga, orientado al registro, almacenamiento y visualización de datos asociados a las variables medioambientales de interés en el análisis del comportamiento de la envolvente térmica de la edificación.

4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones y requerimientos generales de la red de sensores inalámbricos, centrándose en variables a registrar, puntos de ubicación de los nodos, distancias entre nodos, medición de potencia de los router cercanos a los nodos, tasas de muestreo de datos y estrategia de visualización de resultados.
- Diseñar la red de sensores inalámbrica, determinando tecnología(s) de comunicación de datos, sistema embebido para el registro y procesamiento de datos, sensores a utilizar, tipo de fuente de alimentación y esquema de red (topología).

- Desplegar la red de sensores inalámbricas en escenario controlado y en escenario real, para poder determinar tasas de transmisión, calidad de servicio, distancias máximas entre nodos, tiempo de vida del sistema de alimentación, en otros; validando la operación de la red.
- Presentar los datos obtenidos por la red de sensores de acuerdo con los parámetros y al orden, previamente establecido con el grupo de investigación de la facultad de Arquitectura *GINVEARQUI*.

5. Marco Referencial

En esta sección se revisa los referentes más importantes que dan soporte conceptual y teórico al trabajo de grado. Estos referentes se dividen entre los conceptos del campo tecnológico y aquellos asociados al área arquitectónica, que, si bien no son el eje central del trabajo de grado ni su área de estudio, sin permiten una visión panorámica del trabajo. Dentro de los referentes tecnológicos se cuenta:

5.1 Red De Sensores Inalámbricos (WSN)

Una red de sensores inalámbricos - WSN es una red Auto Configurable, constituida por nodos distribuidos espacialmente y comunicados utilizando señales radio con la finalidad de monitorizar variables de interés, interpretar los datos y así lograr entender mejor el mundo físico, entre las variables más comunes se encuentran temperatura, humedad, sonido, vibración, presencia, entre otras, esto depende a la aplicación a la que se quiera adaptar la red de sensores [14]. Estos se intercomunican entre sí de manera inalámbrica y cuenta con protocolos de comunicación específicos, la mayoría de los fabricantes de dispositivos para soluciones WSN, utilizan protocolos

de radiocomunicación, como, por ejemplo, Bluetooth, GPS, GSM, Zigbee, Wi-fi, entre otros.

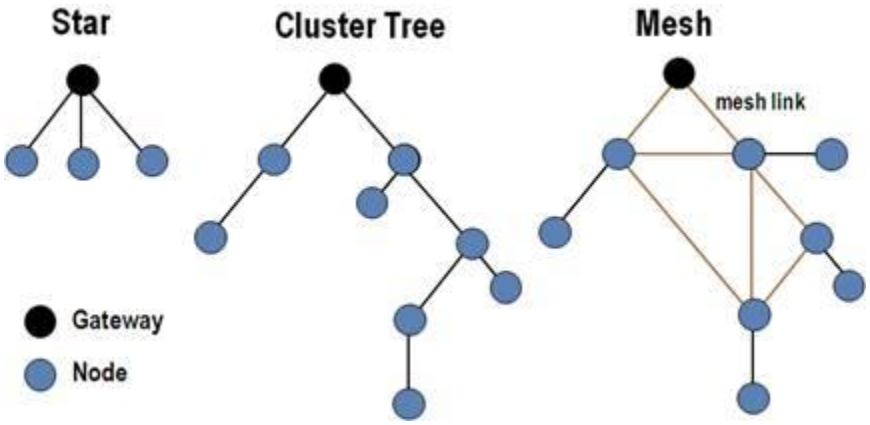


Figura 1. *Topologías de red WSN comunes [16]*

Las redes de sensores inalámbricos se caracterizan por tener esquemas o topologías de red, como "la topología de redes en estrella, predominante hoy en día, los nodos inalámbricos se comunican con un dispositivo de pasarela (Gateway) que hace de puente de comunicación con una red cableada. Una solución intermedia emergente y común de WSN es tener dispositivos encaminadores (rúters, con frecuencia alimentados por cables desde la red eléctrica) que comunican con la pasarela. Los sensores sólo necesitan establecer la comunicación punto a punto con los rúters y, por consiguiente, pueden seguir siendo sencillos y de baja potencia, al tiempo que se mejora el rango y la redundancia de la propia red." [15]

Las WSN juegan un papel importante en la adquisición de datos que son de interés para cualquier tipo de aplicación, lo que los hace muy apetecidos por todo tipo de industria que desee monitorear cualquiera de las etapas de sus procesos, estos datos sirven para la toma de decisiones más acertadas en los cambios que sean necesarios para mejorar los tipos de procesos asociados.

5.2 Mote

Los nodos de sensores son denominados motas o en inglés “motes”, debido a que son ligeros y de tamaño reducido, estos dispositivos son capaces de captar información de acuerdo con la aplicación donde se esté empleando, proveniente de los sensores utilizados. Los motes son se caracterizan por tener un bajo consumo de energía, operación autónoma, capacidad de adquisición y procesamiento de datos, comunicación y autoconfiguración [16]. Estos dispositivos tienen una configuración estructural básica que se describe a continuación:

5.2.1 Procesador.

Es el componente que se encarga de interpretar y procesar los datos para transmitirlos a otra estación, también gestiona el almacenamiento de datos en la memoria. Existen diferentes tipos de procesadores que se integran en un nodo, como Microcontroladores y Microprocesadores. A continuación, voy a exponer unos ejemplos de Microcontroladores:

- ATmega328/p: Es un microcontrolador de bajo consumo CMOS de 8 bits basado en la arquitectura RISC mejorada de AVR, al ejecutar instrucciones en un solo ciclo de reloj, el ATmega328/P logra rendimientos cercanos a 1MIPS por MHz. Esto permite al diseñador del sistema optimizar el dispositivo para el consumo de energía en comparación con la velocidad de procesamiento.[17]
- MT2502: Este microcontrolador se encuentra en la placa LinKitONE proporcionada por el fabricante Mediatek Labs y es una solución de un solo chip, extremadamente rica en funciones y extremadamente potente para capacidades GSM / GPRS (2G) de alta gama.

También cuenta con un transceptor Bluetooth altamente integrado que cumple totalmente con la especificación Bluetooth v4.0. Este chipset también funciona con los chips Wi-Fi (MT5931) y GNSS (MT3332), que ofrecen un alto rendimiento y un bajo consumo de energía para dispositivos Wearable y IoT. [18]

5.2.2 Alimentación.

Normalmente la alimentación son baterías de fácil sustitución, para que pueda realizarse el cambio cuando terminen su ciclo de vida útil, para las situaciones donde no se dispone de red eléctrica y las posibilidades de sustitución de las baterías es muy complicada, se pueden emplear técnicas de alimentación mediante placas solares. Actualmente se están empleando las baterías de polímero de iones de litio (también conocido como “lipo” o “LiPoly”) que son delgadas, ligeras, poderosas y recargables, compuestas generalmente de varias células secundarias idénticas en paralelo para aumentar la capacidad de la corriente de descarga.

5.2.3 Comunicación Inalámbrica.

La comunicación inalámbrica que utilizan los motes presentes en la WSN se realiza vía radio operando en la banda ISM que están reservadas internacionalmente para uso no comercial. Las WSN usan frecuencias de comunicación ubicadas entre 433 MHz y 2.4 GHz.

5.2.4 Sensores.

Los sensores son dispositivos hardware que miden el cambio en un estado en el área que estén monitorizando (como por ejemplo temperatura, humedad, o presión), las características principales son que deben ser muy pequeños, tener un bajo consumo energético, capacidad de adaptabilidad al medio que se encuentre y funcionar desatendidamente. Según su aporte de energía, es posible

encontrar moduladores (precisan de fuente externa de alimentación) y generadores (toman únicamente la energía del medio donde sensar). Según la señal de salida los nodos pueden ser:

- Analógicos: La salida varia de forma continua. Normalmente la información está en la amplitud. Cuando la información está en la frecuencia se denominan "cuasi-digitales".
- Digitales: La salida varia en pasos discretos.

Según el Modo de Funcionamiento de los nodos es posible clasificar en:

- Deflexión: La magnitud medida genera un efecto físico (deflexión).
- Comparación: Se intenta mantener nula la deflexión mediante aplicación de un efecto opuesto generado por la magnitud medida.

Finalmente, según la magnitud o fenómeno físico medida es posible clasificarlos en: Temperatura, precisión, aceleración, PH, etc. [19]

5.2.5 Memoria.

Existen diferentes clases de memoria que son utilizados cada una para funciones puntuales, entre ellas están la memoria utilizada por el chip de un microcontrolador y la memoria flash. Las memorias se pueden utilizar para almacenar datos recopilados por el aplicativo y la memoria usada para almacenar el código que corre el aplicativo.

5.3 Protocolos De Comunicación Inalámbrica.

5.3.1. Wi-fi: Es una tecnología que se encarga de realizar la interconexión inalámbrica entre dispositivos electrónicos que estén habilitados con wifi (como computadoras, celulares,

televisores, tabletas, sistemas embebidos, videoconsolas, reproductores de música, entre otros) estos dispositivos pueden comunicarse entre sí o a través de un punto de acceso a la red inalámbrica. La tecnología está respaldada por el protocolo de la IEEE 802.11.(b, g ,n, ac) que opera en la banda de los 2,4 GHz y con la actualización más reciente también opera en la banda de 5 GHz, con velocidades desde los 11Mbit/s hasta los 300 Mbit/s.[20]

5.3.2. Zigbee: Hace referencia a al conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica que se utiliza con radiodifusión, opera en la banda de 2,4 GHz a nivel mundial ya que esta banda se encuentra libre, en un principio esta tecnología donde recobro más fuerza fue en el campo de la domótica, la razón de ello es que esta tecnología tenía unas características muy particulares a diferencia de otras tecnologías de comunicación inalámbrica ya que fue desarrollada para la transmisión de pequeñas cantidades de datos y en el menor consumo posible energía, lo que la hace un plus interesante para este tipo de aplicaciones. [21]

5.3.3. GSM: Las redes GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) se han desplegado por todo el mundo y se ha dado a conocer como la segunda generación de comunicaciones móviles, esta red fue diseñada en un comienzo para que brindara solamente el servicio de voz, pero también es capaz de establecer comunicaciones de datos con una carga máxima de 9,6 Kbit/s. [22]

5.3.4. GPRS: Esta tecnología se desarrolló para que los usuarios de las redes de GSM pudieran accede al servicio de datos, ya que la red GSM tenía muchas falencias para la transmisión de datos, GPRS es un servicio de datos capaz de prestar todos los servicios de datos, como navegación por internet, acceso WAP, SMS y MMS, GPRS usa la conmutación de paquetes lo que la puede llevar a una velocidad máxima de transmisión de 21,4 Kbit/s. [22]

5.3.5. Bluetooth: Es una especificación industrial para redes inalámbricas de área personal (WPAN) creada por bluetooth special interest group, esta tecnología hace posible la intercomunicación de dispositivos móviles mediante el enlace en la banda de los 2,4 GHz, es capaz de ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas para poder realizar la sincronización de datos entre equipos personales, pensada en la eliminación de los cables [23].

5.4 Internet De Las Cosas (IoT Ó Internet Of Things)

Es el termino conocido como el internet de las cosas, y si bien como su mismo nombre lo dice son cosas o dispositivos que están conectados a internet y que usualmente estos dispositivos suelen ser actuadores o recolectores de datos como sensores, si bien esto no es nuevo, lo que sí es realmente importante es que dado a que los dispositivos están conectados a internet, cuentan con una dirección IP única. El IoT es una capa adicional de información, interacción, transacción y acción que se agrega a Internet gracias a los dispositivos, equipados con capacidades de detección, análisis y comunicación de datos, que utilizan tecnologías de Internet. El Internet de las cosas conecta más las realidades físicas y digitales y potencia la automatización impulsada por la información y las mejoras en el nivel de negocios, la sociedad y la vida de las personas. [24]

5.5 Plataformas de Visualización (Plataformas IoT)

Estas plataformas de visualización son conocidas en la industria de TI como herramientas de visualización, estas herramientas tienen sus propias características, por lo general funcionan bajo la lógica de importar los datos, elegir las opciones de visualización y luego publicarla. Hoy las herramientas más conocidas se aseguran de que puedan usarse sin tener conocimientos de programación y que los gráficos que arrojan ya estén optimizados para móviles y que se puedan

compartir de inmediato en las redes sociales. Además, ofrecen versiones gratuitas y comunidades de usuarios para compartir consejos y buenas prácticas a la hora de usarlas. Algunas herramientas recomendadas para la visualización de datos: [25]

5.5.1 Ubidots: Nacido como una firma privada de servicios de ingeniería en 2012, Ubidots se especializó en hardware conectado y soluciones de software para monitorear, controlar y automatizar de manera remota los procesos para clientes de starups de atención médica. Entre 2012 y 2014, Ubidots amplió su servicio para que estuviera disponible para miles de industrias de soporte y realizó innumerables proyectos conectados a Internet en: salud, servicios públicos, fabricación, transporte y venta al por menor, aprendiendo los pequeños aspectos de IoT y proyectos habilitados en la nube [26].

5.5.2 Watson IoT Plataform: Watson IoT Platform le brinda la capacidad de administrar por completo su entorno IoT y tomar mejores decisiones comerciales, incluso en tiempo real. Aproveche los recursos de datos, análisis e instalaciones en la nube seguros, distribuidos a nivel mundial, capacidades de punta y un rico ecosistema de proveedores y proveedores de soluciones [27].

5.5.3 AWS IoT: Los servicios de AWS IoT permiten que conecte y gestione fácil y seguramente mil millones de dispositivos. Puede recopilar datos de origen, ejecutar análisis sofisticados y realizar acciones en tiempo real en su flota distinta de dispositivos de IoT desde el extremo a la nube.

5.5.4 ThingSpeak: ThingSpeak es un servicio de plataforma de análisis IoT que le permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube. ThingSpeak proporciona visualizaciones instantáneas de los datos publicados por sus dispositivos a

ThingSpeak. Con la capacidad de ejecutar código MATLAB en ThingSpeak puede realizar análisis y procesamiento en línea de los datos a medida que ingresa. ThingSpeak se usa a menudo para prototipos y sistemas de IoT de prueba de concepto que requieren análisis.[28]

5.6 Envolvente De Una Edificación

La envolvente térmica de un edificio es la piel que recubre el interior de la edificación, la capa más externa que define los límites entre el exterior y el interior. Este límite entre espacios habitables y no habitables está conformado por distintos elementos que deben cumplir unas prestaciones mínimas según la normativa en vigor en cada lugar. Para realizar un aislamiento efectivo se debe basar la construcción en tres principios básicos que usa la naturaleza para la transferencia de calor: Conducción, convención y radiación. En la planificación de una edificación los factores a regular comúnmente son la temperatura, la humedad y la ventilación, tanto los sistemas empleados como los materiales son de vital importancia para lograr el objetivo de confort y de reducción del consumo energético.[29]

5.7 Arquitectura Bioclimática

La arquitectura bioclimática consiste en la construcción y explotación de edificaciones y de entornos urbanos que aprovechan de manera inteligente el entorno de la zona donde están ubicados, en especial se utilizan a favor factores como (sol, luz natural, viento, vegetación, etc.) El objetivo de la Arquitectura Bioclimática es proporcionar un entorno de habitabilidad al usuario del edificio con un impacto mínimo en el entorno en términos de consumo de energía, integración paisajista, niveles de ruidos, emisiones contaminantes durante toda la vida del edificio: diseño, construcción, explotación y desmantelamiento llegado el caso. [30]

5.8 Confort Térmico

El Confort térmico es la manifestación subjetiva de conformidad o satisfacción con el ambiente térmico existente. Podríamos decir que existe «confort térmico» cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío; es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan. Evaluar el confort térmico es una tarea compleja, ya que valorar sensaciones conlleva siempre una importante carga subjetiva; no obstante, existen unas variables modificables que influyen en los intercambios térmicos entre el individuo y el medio ambiente y que contribuyen a la sensación de confort, éstas son: la temperatura del aire, la temperatura de las paredes y objetos que nos rodean, la humedad del aire, la actividad física, la clase de vestido y la velocidad del aire. [31]

5.9 Valores U

Los valores U se utilizan para medir que tan efectivos son los elementos de la estructura de un edificio como aislantes. Es decir, cuán efectivos son para evitar que el calor se transmita entre el interior y el exterior de un edificio. Cuanto menor sea el valor U de un elemento de la estructura de un edificio, más lentamente podrá transmitir el calor a través de él, y, por lo tanto, mejor funcionará como aislante. En términos generales, cuanto mejor (es decir, menor) el valor U del tejido de un edificio, menos energía se necesita para mantener las condiciones de confort dentro del edificio. [32]

6. Desarrollo Del Proyecto - Condiciones Y Requerimientos Generales

6.1 Variables Por Registrar

Las variables por registrar fueron elegidas por el grupo de expertos de GINVEARQUI a conveniencia con el fin de dar cumplimiento a los objetivos del proyecto, dentro del espectro de variables que fueron propuestas se establece que era de vital importancia conocer la temperatura ambiente, la temperatura de una de las ventanas de la fachada del edificio, la humedad relativa del ambiente, la cantidad de luz solar, y la cantidad de luz visible. Estas variables son censadas por los motes, pero adicionalmente en la cubierta del edificio está dispuesta la estación meteorológica la cual tiene la capacidad de recoger muchas más variables, a continuación, vamos a ver cada una de las variables que se van a tratar en el proyecto, tanto de los motes como de la estación meteorológica.

6.1.1 Temperatura Ambiente: La Temperatura ambientes la cual experimenta una persona en un ambiente dado, Esta temperatura es el resultado del intercambio de calor por conducción (a través de pisos o herramientas) y radiación (Muros, plafones y sol) [33].

6.1.2 Humedad Relativa: La humedad relativa es el porcentaje de humedad que contiene el aire con respecto al total que es capaz de contener como función de su temperatura y su presión. En otras palabras, humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua que tiene el aire y el máximo que podría contener a una temperatura y presión determinada [34].

6.1.3 Temperatura del Cristal: Lo que denominamos en el transcurso de nuestro proyecto como *temperatura del cristal* es la temperatura del material de vidrio de una ventana de la fachada del edificio Fray Angélico.

6.1.4 Radiación Solar: La radiación solar es la energía radiante emitida en el espacio interplanetario del Sol. Esta radiación se genera a partir de las reacciones termonucleares de fusión que se producen en el núcleo solar y que producen la radiación electromagnética en varias

frecuencias o longitudes de onda, que se propaga entonces en el espacio a las velocidades típicas de estas olas. Esta propagación permite llevar energía solar con ellas [35].

6.1.5 Radiación Visible: Esta medida es la cantidad de percepción de luz por el ojo del humano que crean nuestra sensación de visión, como magnitud física es la energía radiante de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 770 nm del espectro electromagnético. [36]

6.1.6 Velocidad del Viento: La velocidad del viento es la relación de la distancia recorrida por el aire con respecto al tiempo empleado en recorrerla. La velocidad media corresponde al caso de un intervalo de tiempo finito. En meteorología esta palabra se refiere, en general, a un movimiento de conjunto del aire cerca de la superficie terrestre o en altitud. El viento puede ser considerado como un vector con magnitud y dirección. La dirección del viento es la de su procedencia [37].

6.1.7 Dirección del Viento: Se llama dirección del viento al punto del horizonte de donde viene o sopla. Para distinguir uno de otro se les aplica el nombre de los principales rumbos de la brújula, según la conocida rosa de los vientos [38].

6.1.8 Cantidad de agua lluvia: Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0,5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas. Si no alcanza la superficie terrestre, no sería lluvia sino virga y si el diámetro es menor sería llovizna. La lluvia se mide en milímetros al año, menos de 200 son pocas, entre 200 y 500 son escasas, entre 500 y 1.000 son normales, entre 1.000 y 2.000 son abundantes y más de 2.000 son muchas. La lluvia depende de tres factores: la presión atmosférica, la temperatura y, especialmente, la humedad atmosférica [39].

6.1.9 Presión barométrica: Es la presión ejercida por la atmósfera de la tierra en un punto dado, equivalente a la presión ejercida por una columna de mercurio. También llamada presión barométrica. [40]

6.2 Puntos de medición

6.2.1 Selección de la Ubicación de Nodos.

El principal criterio es contar con un Mote en cada fachada y un punto adicional en la cubierta que va a estar junto con una estación meteorológica, esto para caracterizar el comportamiento térmico, y la incidencia de cada una de las variables medioambientales (Temperatura ambiente, Humedad relativa, Radiación visible, Radiación UV y temperatura de cristal) que deben ser analizadas y almacenadas para su posterior presentación al grupo de GINVEARQUI.

Para la selección de la ubicación de los motes en cada una de las fachadas se tuvo en cuenta que la edificación tiene a sus alrededores arboles de gran tamaño que podrían obstruir el trabajo de los sensores encargados de recopilar la información medioambiental, debido a esta restricción los motes deben ser ubicados en las plantas 5 y 6 del edificio, debido a que su altura supera la barrera que suponían los árboles.

Adicionalmente al obstáculo que representan los árboles de los alrededores al edificio Fray Angélico, se tiene como condición que las aulas donde van a ser ubicados los Mote no tengan películas polarizadas en las ventanas de la fachada y que el aula no esté climatizada con aire acondicionado, esto para que el valor de la temperatura del vidrio no sea alterado.

El Mote que va a ser ubicado en la fachada Norte la edificación como se puede observar en la *Figura 2* no presentaba oclusión por parte de ningún árbol ni otro tipo de objeto que supusiera una barrera en la toma de datos por parte de los sensores, este mote fue ubicado en la quinta planta

(aula 506), todos los Motes fueron situados cerca de un cristal para que por medio de un sensor de temperatura (LM 35) se pudiese censar la temperatura de uno de los cristales, los motes fueron ubicados respetando los parámetros y alcances de conectividad con las redes inalámbricas (Wifi y Celular), una posición que fuese de fácil acceso para que se pudiesen cambiar las baterías.



Figura 2. *Vista de la fachada norte- Ubicación del nodo*

El mote que está en la fachada sur se encuentra ubicado en el aula de clases 603, como se puede observar en la *Figura 3* en la parte más cercana al oeste, se encuentran arboles muy cerca de la fachada del edificio lo cual es una barrera importante para la medición de las variables que se desean censar, por lo cual fue necesario ubicar el Mote en la planta número seis del edificio, que es donde menos presenta obstaculización por parte de los árboles, el mote en esta cara del edificio fue ubicado en esta aula porque no estaba climatizado por medio de un sistema de aire

acondicionado, este sistema puede alterar los datos que son recopilados de la ventana que da al exterior ya que se necesita censar la temperatura de uno de estos cristales.



Figura 3. *Vista fachada sur. Ubicación del nodo*

En la fachada este se dispuso el nodo en el aula 509 que está ubicada en la planta número cinco de la edificación, como se puede observar en la *Figura 4,* el edificio cuenta con aulas dotadas de grandes ventanales y los motivos por los cuales fue escogida esta aula para la ubicación del Mote es que está a una altura en la cual los árboles cercanos a la fachada no presentan ninguna obstrucción, la ventana en la cual se instaló el sensor de temperatura de cristal no tiene película polarizada y el aula no es climatizada por medio de aire acondicionado.



Figura 4. *Vista fachada sur. Ubicación del nodo*

El Mote que se destinó para la fachada oeste se va a ubicar en la sexta planta del edificio en una de las ventanas que se encuentran en el pasillo que están frente a las escaleras que conducen a la quinta planta, en la *Figura 5* se puede ver desde el exterior de la edificación que en lugar que se desea ubicar el Mote no presenta barreras, pues la ventana no tenía película polarizada, no presentaba ningún tipo de obstrucción por parte de algún elemento exterior y es de fácil acceso para poder hacerle mantenimientos correctivos y preventivos al Mote.



Figura 5. Vista fachada Oeste. Ubicación del nodo

6.2.2 Distancia entre Nodos.

El edificio Fray Angélico tiene desplegada su red de internet inalámbrico, en cada planta se encuentra ubicado un punto de acceso a la red que cumple la función de host repetidor, se cuenta cos dos redes de Wi-Fi, una provista para el personal estudiantil y otra para el personal administrativo, para poder ubicar nuestros nodos como se expuso en el punto anterior, fue de gran importancia saber si la calidad de la señal donde se iban a ubicar los nodos era la adecuada para

que los Motes pudiesen establecer una conexión estable a internet, para poder constatar que en el punto de ubicación de cada Mote se cuenta con la suficiente intensidad de señal de la red Wi-Fi fue necesario realizar la medición por medio del aplicativo Net Analyzer disponible en la tienda de aplicaciones para Android Play Store, instalada en un smartphone con sistema operativo basado en Android, esta aplicación muestra la potencia de la señal recibida en dBs, de cada una de las redes incidentes en donde se esté realizando la medición, este criterio marca la distancia a la que cada Mote debe estar del punto de acceso a internet dispuesto en cada piso. Para el caso de la red inalámbrica de sensores que se va a desplegar en la edificación se plantea que la incidencia mínima de la señal para que el Nodo pueda tener una conexión estable se encuentra en el rango de -40 dB a -70 dB, en la *Figura 6* se presenta un pantallazo tomado al aplicativo Net Analyzer en la ubicación del aula 506 donde se plantea ubicar el Mote de la cara norte del edificio, donde se evidencia que se detectan dos redes con el mismo nombre, esto es porque está presente la señal de dos Router de la red desplegada por todo el Campus universitario, para la red Estudiantes tenemos dos conexiones posibles con una incidencia de señal de – 47 dBm y – 68 dBm y para la red Administrativos se tiene incidencias de señal con -48 dBm y – 68 dBm de potencia de señal recibida por el móvil, el mote debería conectarse a la red que tenga mayor incidencia en cada una de las ubicaciones de los Mote.



Figura 6. Captura de Net Analyzer

En la prueba piloto implementada en el Edificio Fray Angélico, se realizaron las mediciones entre los diferentes puntos, los cuales se evidencian en la vista superior del plano mostrado en la Figura 7. Las distancias específicas registradas de forma longitudinal se muestran en la tabla1.



Figura 7. Vista superior planta 5 con puntos de ubicación de nodos.

Tabla 1. Distancia entre puntos de ubicación de nodos de fachada

Puntos	Distancia
A-B	30.01 m
B-C	34.4 m
C-D	26.69 m
D-A	20.87 m

Fuente: Elaboración propia

Esta información se encuentra, evidentemente, relacionada con distancias SIN línea de vista ya que existen obstáculos propios de la estructura interna del edificio. Sin embargo, permitió generar requerimientos iniciales para la selección del tipo de comunicación y tipo de antena.

Finalmente, si bien no se muestra en la figura anterior, el nodo de cubierta (techo) se encuentra en un punto central del mismo y con una distancia no superior a 15 metros a cada uno de los nodos resaltados como A-B-C-D.

6.2.3 Estrategia de Visualización.

El medio de presentación escogido fue la plataforma Ubidots, una de las razones más importantes que nos llevó a escoger este medio fue que en el grupo de investigación se contaba con experiencia en esta plataforma de visualización, además que también debido a su coste relativamente bajo en comparación a otros medios de presentación evaluados.

Esta plataforma tiene diferentes maneras de operar en cuanto a licencias de uso, para nuestro caso de uso se escogió la licencia Desarrollador que tiene un costo de $ 20 Dólares mensuales, esta licencia cubre un total de 10 dispositivos activos que se encuentren subiendo activamente información a la plataforma, esta cantidad de dispositivos es suficiente para nuestra aplicación ya que a esta plataforma solo iban a ser cargados los datos de los Motes que tenían conexión inalámbrica, estos son 4 nodos que están conectados a la red WiFi del edificio. A continuación, se relaciona la *Figura 8*, de cómo es la presentación grafica del portal web donde son presentados los datos de las variables registradas:

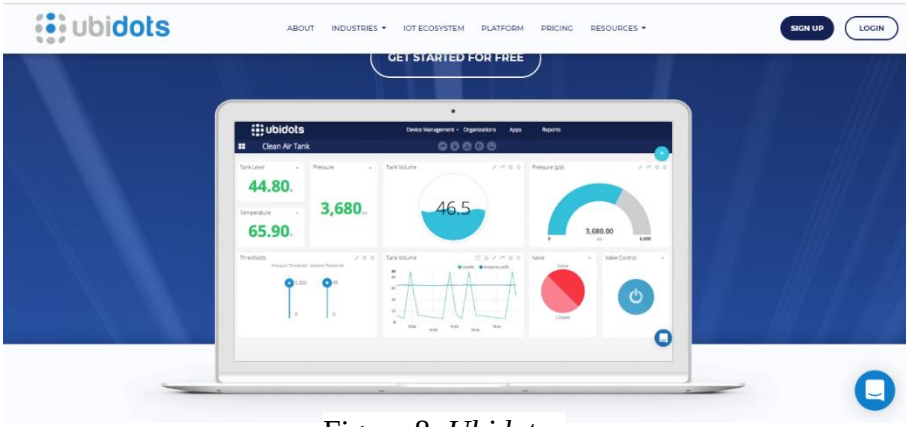
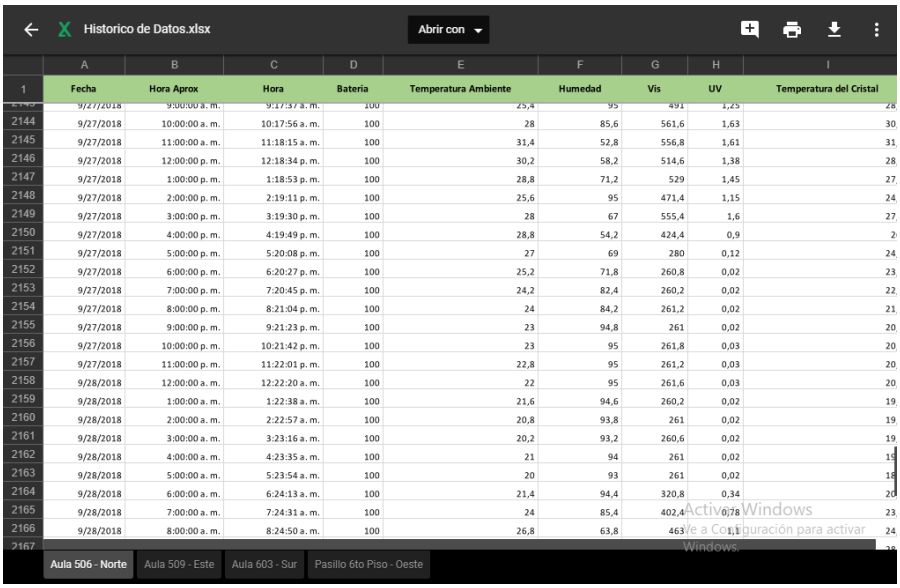


Figura 8. *Ubidots*

Para nuestro caso de investigación fue necesario tener un mote que almacenara los datos en memoria SD, dado a que no en todos los puntos de medición se contaba con una conexión a internet estable, se decidió que los datos debían ser almacenados en la memoria externa de la tarjeta de procesamiento, estos Motes debían ser intervenidos periódicamente, para realizar el cambio de las batería, en estas intervenciones se extraían los datos guardados en la memoria y estos datos eran organizados en hojas de cálculo para posteriormente ser presentados al grupo de expertos de arquitectura, estos datos eran dispuestos en la plataforma de Google Drive, donde se compartió una carpeta contenedora de la hoja de cálculo donde se iban guardando los datos que se extraían de los Motes con este método de almacenamiento. Como se puede observar en la *Figura 9* en el documento Excel hay 4 hojas que representan cada uno de los Motes y ahí se encuentran almacenados por orden cronológico los datos que fueron extraídos de las tarjetas.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Fecha	Hora Aprox	Hora	Bateria	Temperatura Ambiente	Humedad	Vis	UV	Temperatura del Cristal
2144	9/27/2018	10:00:00 a. m.	10:17:56 a. m.	100	28	85,6	561,6	1,63	30
2145	9/27/2018	11:00:00 a. m.	11:18:15 a. m.	100	31,4	52,8	556,8	1,61	31
2146	9/27/2018	12:00:00 p. m.	12:18:34 p. m.	100	30,2	58,2	514,6	1,38	28
2147	9/27/2018	1:00:00 p. m.	1:18:53 p. m.	100	28,8	71,2	529	1,45	27
2148	9/27/2018	2:00:00 p. m.	2:19:11 p. m.	100	25,6	95	471,4	1,15	24
2149	9/27/2018	3:00:00 p. m.	3:19:30 p. m.	100	28	67	555,4	1,6	27
2150	9/27/2018	4:00:00 p. m.	4:19:49 p. m.	100	28,8	54,2	424,4	0,9	2
2151	9/27/2018	5:00:00 p. m.	5:20:08 p. m.	100	27	69	280	0,12	24
2152	9/27/2018	6:00:00 p. m.	6:20:27 p. m.	100	25,2	71,8	260,8	0,02	23
2153	9/27/2018	7:00:00 p. m.	7:20:45 p. m.	100	24,2	82,4	260,2	0,02	22
2154	9/27/2018	8:00:00 p. m.	8:21:04 p. m.	100	24	84,2	261,2	0,02	21
2155	9/27/2018	9:00:00 p. m.	9:21:23 p. m.	100	23	94,8	261	0,02	20
2156	9/27/2018	10:00:00 p. m.	10:21:42 p. m.	100	23	95	261,8	0,03	20
2157	9/27/2018	11:00:00 p. m.	11:22:01 p. m.	100	22,8	95	261,2	0,03	20
2158	9/28/2018	12:00:00 a. m.	12:22:20 a. m.	100	22	95	261,6	0,03	20
2159	9/28/2018	1:00:00 a. m.	1:22:38 a. m.	100	21,6	94,6	260,2	0,02	19
2160	9/28/2018	2:00:00 a. m.	2:22:57 a. m.	100	20,8	93,8	261	0,02	19
2161	9/28/2018	3:00:00 a. m.	3:23:16 a. m.	100	20,2	93,2	260,6	0,02	19
2162	9/28/2018	4:00:00 a. m.	4:23:35 a. m.	100	21	94	261	0,02	19
2163	9/28/2018	5:00:00 a. m.	5:23:54 a. m.	100	20	93	261	0,02	18
2164	9/28/2018	6:00:00 a. m.	6:24:13 a. m.	100	21,4	94,4	320,8	0,34	20
2165	9/28/2018	7:00:00 a. m.	7:24:31 a. m.	100	24	85,4	402,4	0,78	23
2166	9/28/2018	8:00:00 a. m.	8:24:50 a. m.	100	26,8	63,8	463	1,1	24

Figura 9. *Google Drive*

7. Desarrollo Del Proyecto - Diseño De La Red

La red de sensores inalámbrica se va a diseñar de acuerdo con los parámetros que se establecieron en el punto anterior, debido a la ubicación de los motes en el edificio Fray Angélico se determinan las posibles opciones de materiales que se pueden utilizar en la elaboración de los motes pertenecientes a la WSN y la manera como se deben implementar para su correcto funcionamiento en la adaptación de cada mote de acuerdo con la diversidad de los métodos de almacenamiento y comunicación que plantea el ambiente IoT actual con los demás motes de la red, para realizar la elección de los elementos necesarios para construir la red se debe realizar un estudio minucioso sobre las opciones brindadas por las marcas de fabricantes más reconocidos y con mayor trayectoria en el espectro de las WSN.

7.1 Elección De La Placa De Procesamiento De Datos

En este apartado se van se realizó la investigación sobre las opciones de placas que se podrían implementar en los Motes, para esto hicimos una recopilación de las placas que mejor pueden adaptarse a los requerimientos de la red, a continuación, se presentan las marcas de los fabricantes más populares y con mayor presencia en el ambiente IoT junto con sus productos propuestos y una descripción técnica breve con la cual se evaluara cuáles son los elementos adecuados.

7.1.1 Arduino.

Arduino es un fabricante de hardware y software de código libre mundialmente reconocido en el ambiente IoT, que aporta soluciones tecnológicas de fácil implementación y muy completas,

que además cuentan con una gran comunidad que aporta documentación valiosa sobre los productos desarrollados por la marca. De este fabricante hemos seleccionado tres tarjetas que cumplen con los requisitos para el desarrollo del proyecto, a continuación, vamos a ver la En la *Tabla 2* la descripción de la placa de desarrollo *Arduino MKR1000*.

Tabla 2. *Arduino MKR1000*

ARDUINO MKR1000				
Batería Compatible	Li-Po de una sola célula, 3.7V, 700mAh mínimo			
Alimentación de la tarjeta (USB/VIN)	5V			
Voltaje de Funcionamiento del Circuito	3.3V			
Pines de Entrada y salida Digital	8			
Botones PWM	**Microcontrolador**			
12 (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, A3 o 18-, A4 ó 19)	SAMD21 Cortex-M0 + 32 bits de baja potencia ARM MCU			
Comunicación	**Velocidad del Reloj**	**SRAM**	**Memoria Flash**	**Salida Analógica**
UART, SPI, I2C	32,768 kHz (RTC), 48 MHz	32 KB	256 KB	1 (DAC 10 bit)
Pines de Entrada Analógica	**Corriente CC por pin E/S**	**Longitud**	**Ancho**	**Peso**
7 (bit ADC 8/10/12)	7 mA	61.5 mm	25 mm	32 gr
Precio	**(Tasa de Cambio del día 22 de noviembre de 2017)**			
$ 88.706 COP + Gastos de Envió	1 USD = 2.982,73 COP			
Enlace de Compra	https://store.arduino.cc/usa/arduino-mkr1000			



Figura 10. *Arduino MKR1000* [41]

La segunda placa de procesamiento que se ha seleccionado como la posible elección es la placa *Arduino Ethernet Rev3 sin POE* la cual se presenta en la *tabla 3* con sus características principales.

Tabla 3. *ArduinoEthernet Rev3 Sin POE*

ARDUINO ETHERNET REV3 SIN POE				
Microcontrolador	**Voltaje de Operación**			
ATmega328	5V			
Voltaje en Plug de Entrada (Recomendados)				
7 – 12V				
Voltaje en Plug de Entrada (Limites)				
6-20V				
Pines Digitales E/S		**Voltaje de Entrada en POE (Limites)**		
14 (De los cuales, 4 proporcionan salida PWM)		36-57V		
Pines Arduino reservados				
10 a 13 utilizados para SPI	4 utilizados para la tarjeta SD	2 interrupciones W5100 (en puente)		
Pines Análogos de Entrada	**Corriente CC por pin de E/S**	**Corriente CC por pin de 3.3V**		
6	40 mA	50 mA		
Memoria Flash			**SRAM**	
32 KB (ATmega328P) de los cuales 0.5 KB utilizados por el gestor de arranque			2 KB (ATmega328P)	
EEPROM	**Velocidad de Reloj**	**Longitud**	**Ancho**	**Peso**
1 KB (ATmega328P)	16 MHz	68.6 mm	53.3 mm	28 gr
Precio	**(Tasa de Cambio del día 22 de noviembre de 2017)**			
$ 130.912 COP + Gastos de Envió	1 USD = 2.982,73 COP			
Enlace de Compra	https://store.arduino.cc/usa/arduino-ethernet-rev3-without-poe			



Figura 11. *Arduino Ethernet Rev3 sin POE* [42]

La tercera placa de procesamiento es la *Arduino TIAN* la cual se presenta en la *Tabla 4* con sus

características principales.

Tabla 4. *Arduino TIAN*

ARDUINO TIAN				
Microprocesador Arduino				
Procesador	**Arquitectura**			
Atheros AR9342	MIPS			
Memoria Flash	**RAM**			
16MB + 4GB eMMC	64MB DDR2			
Voltaje de Operación	**USB**			
3.3 V	2.0 Host			
Velocidad de Reloj	**Wi-Fi**		**Ethernet**	
560 MHz	802.11 b/g/n 2.4 GHz dual-band		802.3 10/100/1000 Mbit/s	
Microcontrolador Arduino				
Microcontrolador	**Arquitectura**	**Voltaje de Operación**	**Memoria Flash**	**SRAM**
SAMD21G18	*ARM Cortex-M0+*	*3.3 V*	*256 KB*	32 Kb
Velocidad de Reloj	**Pines Analógicos de E/S**		**Corriente CC por Pines de E/S**	
48 MHz	6		7mA (I/O Pins)	
Generales				
Voltaje de Entrada	**Salida de PWM**	**Consumo de Energía**	**Dimensión**	**Peso**
5 V	12	470 mA	53 x 68.5 mm	36 gr
Precio	**Tasa de Conversión del 27/11/2017**		**Enlace de Compra**	
$ 285.447 COP + Gastos de Envió	1 USD = 2.982,73 COP		https://store.arduino.cc/usa/arduino-tian	



Figura 12. *Arduino TIAN* [43]

7.1.2 SeeedStudio.

Por otra parte, también se investigó sobre las placas que ofrecía la marca SeeedStudio, la cual se encarga de fabricar hardware IoT. Las placas desarrolladas por esta marca también han sido estudiadas y como resultado se presenta tres opciones donde se muestran las placas de mayor conveniencia para el proyecto.

Tabla 5. *Dragrove-Gateway Generico Prara IoT*

DRAGROVE- GATEWAY GENÉRICO PARA IoT			
Dragrove es una puerta de enlace genérica basada en código abierto para internet de las cosas. Combina Dragino (acceso fácil a Internet, CPU potente, sistema Linux), placa de interfaz compatible con Arduino (monitoreo y control del mundo físico) y redes de RF como X-Bee. Dragino MS12 es un dispositivo habilitado para wifi / linux para proyectos de MCU. El objetivo de Dragino es resolver el problema de conectividad y mejorar enormemente los productos de microcontroladores.			
			Figura 13. Dragrove Gateway Genérico para **[44]**
Microcontrolador	**Almacenamiento**	**Alimentación**	**Comunicación**
ATmega328	8M Flash, 32M SDRAM	DC Input 9V~15V	Wifi 802.11b/g Potencia: 20 dbm Banda de Frecuencia: 2.412 GHz – 2.472 GHz Antena Externa
Conectores			
8 conectores externos para sensores y 2 internos con conectores Grove.			
Enlace de Compra		**Precio**	**Tasa de Cambio del día 22 de noviembre de 2017**
https://www.seeedstudio.com/Dragrove-Generic-gateway-for-internet-of-things-p-1118.html		$ 116.327 COP + Gastos de Envió	Cambio, 1 USD=2.982,73COP

Tabla 6. *Seeedstudio Beaglebone Green Wireless*

SEEEDSTUDIO BEAGLEBONE GREEN WIRELESS			
Seeed Studio BeagleBone® Green Wireless es un esfuerzo conjunto de BeagleBoard.org y Seeed Studio. Basado en el diseño de hardware de código abierto de BeagleBone® Black, el nuevo Seeed Studio BeagleBone® Green Wireless ha agregado dos conectores Grove, lo que facilita la conexión a la gran familia de sensores Grove. Es la primera placa Wi-Fi + Bluetooth de baja energía (BLE) de la comunidad BeagleBone®.			
Procesador	**RAM**	**Flash**	**USB**
AM335x 1GHz ARMR Cortex-A8	512MB DDR3	4 GB eMMC	4 puertos x USB 2.0
Micro USB Admite	**Conectores Grove**		**GPIO**
Alimentación y Comunicación	2 x (uno I2C y uno UART)		2 x 46 pines encabezados
Ethernet	**Bluetooth**		**Temperatura de Funcionamiento**
Wi-Fi 802.11b / g / n 2.4GHz	4.1 LE		0 ~ 75 °C
Dimensiones	**Peso**		**Batería**
126mm x76mm x24mm	88g		Incluida
Precio	**Tasa de Cambio del día 22 de noviembre de 2017**		**Enlace de Compra**
$ 148.839 COP + Gastos de Envió	1 USD = 2.982,73COP		https://www.seeedstudio.com/SeeedStudio-BeagleBone-Green-Wireless-p-2650.html

Figura 14. Beaglebone Green Wireless (SeeedStudio) [45]

Tabla 7. *Seeeduino Stalker V 3.1*

SEEEDUINO STALKER V 3.1				
Seeeduino Stalker V3.1 no es solo una simple actualización de V3.0. La principal sorpresa que encontrará sobre la placa es un consumo de energía impresionantemente bajo, en modo de reposo, la corriente de salida de toda la placa será tan baja como 100uA, La razón principal de este progreso es que en V3.1, cuando MCU está en modo de suspensión, todos los demás suplementos de alimentación, incluido el puerto de área de abeja, el puerto de 3.3v, el VCC se pueden cortar manualmente, de modo que realmente se puede ahorrar energía.			 *Figura 15. Seeeduino Stalker V3.1 (SeeedStudio)* [46]	
Microcontrolador	**Almacenamiento**	**Batería**	**Comunicación**	**Conectores**
ATmega328P	32 KB (ATmega328)	celdas de litio	X-Bee	2 Grove
Precio	**Tasa de Cambio del día 22 de noviembre de 2017**		**Enlace de Compra**	
$ 87.991 COP + Gastos de Envió	USD=2.982,73COP		https://www.seeedstudio.com/Seeeduino-Stalker-V3.1-p-2686.html	

7.1.3 Linkit One y Zolertia.

En este apartado se van a presentar las tarjetas Linkit One de la marca fabricante SeeedStudio y la placa Zolertia Re-mote donde se presentan las características principales en la *tabla 8* y *tabla 9* que según lo que se puede establecer en la investigación estas tarjetas tienen características que son muy convenientes para cumplir con los objetivos del proyecto, y cuentan con una gran cantidad de proyectos desarrollados sobre estas placas lo que hace que códigos ya se encuentren disponibles en librerías listas para ser incluidas.

Tabla 8. *Linkit One*

LinKit ONE					
La placa de desarrollo LinkIt ONE es una placa de código abierto de alto rendimiento para prototipos de dispositivos IoT. Se basa en el SoC líder del mundo para Wearables, MediaTek Aster (MT2502) combinado con chipsets de alto rendimiento Wi-Fi (MT5931) y GPS (MT3332) para proporcionarle acceso a todas las funciones de MediaTek LinkIt. También proporciona características similares de pines a las placas Arduino, lo que facilita la conexión a varios sensores, periféricos y escudos Arduino. [48]				 Figura 16. *LinKit ONE*	
Detalles Técnicos					
Dimensiones	**peso**	**Batería**	Batería Jack	voltaje	
180 mm x 75 mm x 33 mm	106 g	Celdas de litio	3.7 ~ 4.2V Li-batería	3.3v	
Microcontrolador					
Chipset	**Núcleo**	**Velocidad de reloj**	**RAM**	**Voltaje**	**Pines Analógicos**
MT2502A (Aster)	ARM7 EJ-S ™	260 MHz	4 MB	0 ~ 5V	3 (A0, A1, A2)
Pines digitales de E/S	**Salida PWM**	**GPS**		**GPRS**	**Wi-Fi**
16 (D0 ~ D13, SDA, SCL)	2 (D3 y D9)	GPS / GLONASS / BEIDOU		Clase 12	802.11 b / g / n
GSM	**Bluetooth**	**Tarjeta SD**			**RAM**
850/900/1800 / 1900MHz	BR / EDR / BLE (modo dual)	Hasta 32 GB (Clase 10)			2 MB
Precio		**Enlace de Compra**			
$ 175.982 COP + Gastos de envió		https://www.seeedstudio.com/LinkIt-ONE-p-2017.html			

Tabla 9. *Tarjeta Zolertia Re-Mote*

Plataforma Zolertia Re-Mote	
El RE-Mote es una plataforma de desarrollo de hardware diseñada juntamente con universidades y socios industriales, en el marco del proyecto de investigación europeo RERUM (flexible, resistente y segura para las aplicaciones de ciudades inteligentes). El objetivo de RE-Mote es llenar el vacío de las plataformas IoT existentes que carecen de un diseño de grado industrial y un consumo de energía ultra-baja, pero que permite a los fabricantes e investigadores desarrollar aplicaciones de IoT y productos conectados. [49]	 Figura 17. *Zolertia RE-*
Comunicación	ISM 2.4 GHz IEEE 802.15.4 y radio compatible con Zigbee. ISM 863-950-MHz ISM / SRD banda IEEE 802.15.4 radio compatible. Interruptor de RF programable para conectar una antena externa a la interfaz RF de 2,4 GHz o Sub a 1 GHz a través del conector RP-SMA.
Procesador	ARM Cortex-M3 Velocidad de reloj de 32 MHz, Flash de 512 KB y 32 KB de RAM (16 KB de retención)
Batería	Consumo hasta 150 nA usando el modo de apagado. Cargador de batería incorporado (500 mA), lo que facilita la recolección de energía y la conexión directa a los paneles solares y a las baterías estándares LiPo.
Precio	$ 339.912 COP (Tasa de Cambio del día 22 de noviembre de 2017, 1 USD=2.982,73COP)
Enlace de Compra	https://zolertia.io/product/re-mote-suite/

En la actualidad se puede encontrar una gran cantidad de marcas fabricantes de hardware y software que desarrollan gran cantidad de soluciones para el ambiente de IoT, esto supone una

ventaja para el desarrollo de los objetivos del proyecto que se deben aprovechar para lo cual es muy importante realizar cuidadosamente la elección de la mejor opción teniendo en cuenta las condiciones y limitantes anteriormente mencionadas. Como resultado a la investigación de cada una de las tarjetas propuestas anteriormente fueron seleccionadas las tarjetas LinKit ONE y Zolertia REmote para la implementación de los Motes, las razones principales por las cuales se escogieron estas dos tarjetas son que para el caso puntual de las LinKit ONE, esta tarjeta cumplía a cabalidad con los requerimientos técnicos que se plantearon como base para llevar a cabo la red inalámbrica de sensores, fue de gran importancia el valor agregado que nos brinda esta tarjeta al ser compatible con Arduino ya que la plataforma Arduino ya era reconocida por el grupo de UNITEL, también vale la pena resaltar que los fabricantes de la tarjeta LinKit ONE tienen disponibles actualmente una gran variedad de sensores que se pueden adaptar fácilmente a la placa mediante las conexiones físicas dispuestas tanto en la placa como en los sensores, para el caso de nuestra investigación se va a necesitar conexiones adicionales para poder realizar la conexión de los sensores necesarios, para cumplir este objetivo se necesita adaptar a la placa de procesamiento un placa adicional que nos provea de al menos 4 puertos grove en las que pueda otra placa llamada Base Shield V2 que ampliaba la capacidad de conexiones físicas que se requerían para manejar las 5 variables por registrar.

7.2 Elección de Sensores

Las variables por registrar, según las indicaciones del grupo de arquitectos expertos, fue que debíamos registrar las variables de temperatura ambiente, humedad relativa del medio, radiación visible, radiación UV y la temperatura de uno de los cristales de la fachada donde se iba a disponer

el Mote. Para realizar estas mediciones elegimos los sensores que se relacionan en las tablas de la 10 a la 12. Como característica principal se tiene que, los sensores son fabricados por la misma marca que fabrica las placas de procesamiento de datos, debido a esto los sensores y las placas son diseñados para que puedan adaptarse fácilmente en sus disposiciones físicas.

Tabla 10. *Sensor DHT11*

Sensor de Temperatura Ambiente y Humedad Relativa (DHT 11)	
Rango de Temperaturas	**Rango de Humedad**
De 0 a 50 °C	20% - 90%
Voltaje de Operación	**Precio**
3.3 V – 5 V	$ 17.599 COP
Tasa de Cambio	**Enlace de Compra**
1 USD=2.982,73 COP	https://www.seeedstudio.com/Grove-Temperature-Humidity-Sensor-DHT1-p-745.html

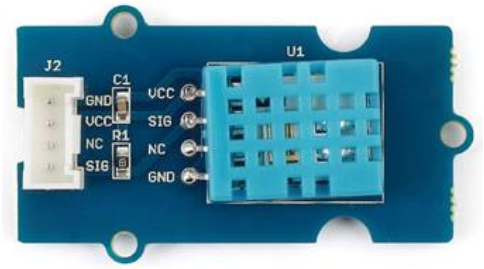


Figura 18. *Sensor Grove de Temperatura y Humedad (DHT 11)*

Tabla 11. *Sensor de Luz Solar*

Sensor de Luz Solar – Grove	
Rango de detección de amplio espectro	Sensor de luz digital
Configuración programable	Suministro 3.3 / 5V
Detecta la luz solar y radiación visible	Compatible con Grove
Interfaz I2C (7 bits)	Precio: $ 29.530 COP
Tasa de Cambio	**Enlace de Compra**
1 USD=2.982,73 COP	https://www.seeedstudio.com/Grove-Sunlight-Sensor-p-2530.html

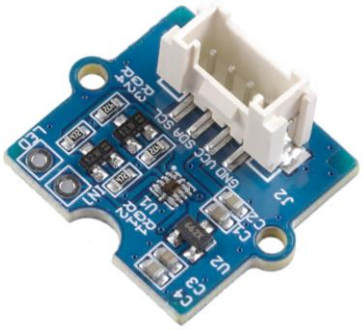


Figura 19. *Sensor Grove de Luz Solar*

Tabla 12. *Sensor Lm 35*

Sensor de Temperatura del Cristal (LM 35)		
Grado Precisión	**Rango de Temperatura**	**Salida Lineal**
+- 0.4 °C	-55 °C a 155 °C	10 mV
Suministro de Corriente		**Precio**
91.5 µA.		$ 5.950 COP
Tasa de Cambio	**Enlace de Compra**	
1 USD=2.982,73 COP	https://www.seeedstudio.com/Grove-Temperature-Humidity-Sensor-DHT1-p-745.html	

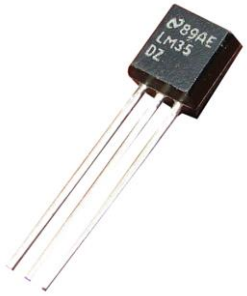


Figura 20. *Sensor de Temperatura LM 35*

7.3 Elección de las Fuentes de Alimentación de Energía

Las fuentes de alimentación que utilizan los Motes son baterías de polímero de iones de litio de 6000 mAh, la descripción de la batería se encuentra en la *Tabla 13*.

Tabla 13. *Batería*

Batería
Esta es una batería de polímero de ion litio de peso ligero y alta densidad energética. Cada celda genera un nominal de 3.7v a 2000mAh. Este paquete sólido de 3 celdas (6 Ahr) viene terminado con un conector JST de 2 pines estándar, espacio de 2,0 mm entre pines, cuenta con una excelente tasa de auto descarga a largo plazo. **Dimensiones:** 67.5x49.5x17mm **Peso:** 100 g **Precio:** COP $ 52.000 + cotos de envió nacional
Enlace de Compra
https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/baterias-cargadores/recargables-1/tipo-lipo-1/3-7v/bateria-lipo-6000mah-37v-3173-bater%C3%ADa-litio-pol%C3%ADmero-recargable-pila-1s-detail



Figura 21. *Batería de Polímero de Iones de Litio*

Adicionalmente fue incluido en el montaje del mote un panel solar que tiene como objetivo incrementar el tiempo de operación del mismo mote, en teoría este panel puede darnos un 50 % adicional de tiempo de trabajo, esto hace que el mote pueda funcionar hasta por 23 días continuamente.

Tabla 14. *Panel Solar*

Panel Solar	
Dimensiones	**Voltaje típico**
180x80x2.5 (± 0.2) mm	5.5V
Corriente típica	**Tensión en circuito abierto**
360mA	8.2 V
Voltaje máximo de carga	**Precio**
6.4V	COP $ 38.300 + costos de envió nacional
Enlace de Compra	
https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/energia-solar/paneles/panel-solar-2w-80x180-mm-paneles-solares-celda-solar-energ%C3%ADa-solar-seeed-studio-detail	



Figura 22. *Panel Solar*

7.4 Elección de Elementos Adicionales

En la implementación de cada mote es necesario que este adaptado para funcionar en ambientes exteriores, por este motivo se pensó en que se iba a necesitar una caja de circuitos para condiciones de exteriores que cumpliese con la función de proteger todo el sistema de conexión de los sensores y batería con la placa procesadora (LinkitOne), también se necesitaban de los cables adecuados de conexión entre los sensores y la placa, estos cables fueron escogidos de acuerdo a los periféricos que se encontraban tanto en la placa como en los sensores, adicionalmente como los sensores que utilizamos no estaban diseñados para trabajo en exteriores, en respuesta adecuamos a nuestra caja

contenedora, un corte de vidrio para que pudiese proteger a los sensores del agua lluvia que pudiese caerle y dañarlos, en las *tablas de la 15 a la 19* presentamos los elementos que escogimos para cumplir con lo narrado anteriormente.

Tabla 15. *Placa Base Grove V2*

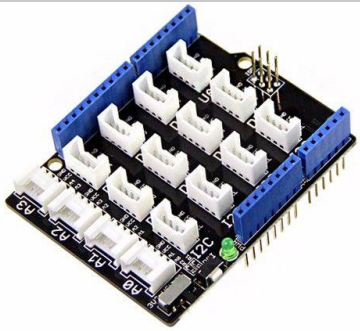
Placa Base Grove V2			
La placa base Grove V2 tiene la importante tarea de ampliar las conexiones físicas de las placas de procesamiento de datos, que cuentan con pocas conexiones físicas, en las cuales se cuenta con conexiones físicas limitadas. [50] 1 LED verde para indicar el estado de alimentación. 1 botón de Reinicio (RST)			
Figura 23. *Placa Base Grove V2*			
1 interruptor de voltaje que puede variar el voltaje de los pines de Vcc de cada uno de los puertos entre 5V y 3.3V.			
Puertos Digitales	**Puertos Analógicos**	**Puertos UART**	**Puertos I2C**
7	4	1	4
Precio	**Enlace de Compra**		
$ 13.274 COP + costos de envió.	https://www.seeedstudio.com/Base-Shield-V2-p-1378.html		

Tabla 16. *LiPo Rider V 1.3*

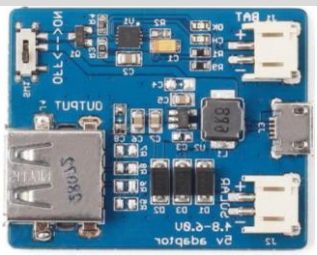
LiPo Rider V 1.3	
Esta tarjeta es quien hace el trabajo de manejar el flujo de potencia, esta placa tiene como objetivo alimentar la placa de procesamiento a través de la energía que es aportada por la batería y por el panel solar, esto hace que la carga de la batería dure en promedio un 50% más, gracias a la carga que aporta la energía captada por el panel solar.	
Figura 24. *LiPo Rider V 1.3*	

Tabla 17. *Cable Grove*

Cable (Grove – Grove)
El cable Grove sirve para hacer la conexión de los sensores de temperatura y humedad y el sensor UV con la placa de procesamiento de datos (LinkitOne). Estos cables vienen incluidos en el embalaje con los sensores grove.

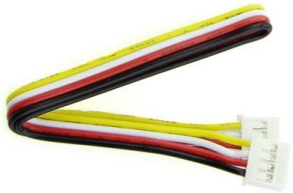


Figura 25. *Cable Grove - Grove*

Tabla 18. *Caja de Conexiones Para Exteriores*

Caja de Conexiones Para Exteriores
La caja de conexiones para exteriores cumple con el objetivo de resguardar la tarjeta de procesamiento (LinKitOne), la batería, la tarjeta de adaptación de corriente para la batería y el panel y las conexiones de los sensores a la placa LinKitOne. Esta caja se encarga de que los materiales que se encuentran dentro de ella estén totalmente aislados del agua lluvia.



Figura 26. *Caja para Exteriores*

Tabla 19. *Corte de Vidrio Protector*

Corte de Vidrio Protector
El corte de vidrio tiene como objetivo resguardar del agua lluvia a los sensores que están adheridos al exterior de la caja de conexiones, la caída de agua a los sensores y a la conexión de estos con el cable pueden ocasionar que se sulfaten los sensores y dejen de funcionar correctamente.



Figura 27. *Corte de Vidrio*

7.5 Elección de la Estación Meteorológica

En el mercado actual se encuentran por suerte una gran cantidad de propuestas de estaciones meteorológicas que nos pueden servir para cumplir con el objetivo de ser el punto de referencia para analizar y comparar los datos obtenidos por los Mote, para el proyecto es importante que esta estación cuente con sensores de precisión, en este orden de ideas hemos basado la búsqueda de la estación con proveedores nacionales con el objetivo de reducir los costos, como resultado tenemos una propuesta muy interesante de la marca MeteoAgro que son especialistas en la venta de equipos e instrumentación para mediciones meteorológicas, asesoría en instalación de estaciones meteorológicas (siguiendo lineamientos internacionales), transmisión de datos a través de internet, consulta y descarga de los datos en servidores propios y públicos y asesorías en análisis de información meteorológica, agroclimática y ambiental [51]. En base al catálogo presentado por la empresa se ha escogido por conveniencia del proyecto la estación meteorológica solar MA 3081 porque es de bajo coste, ofrece calidad, fiabilidad y fácil manejo.

7.5.1 Estación Meteorológica Solar MA 3081 (Básica).

La estación Meteorológica MA 3081 (Básica) es fabricada por la empresa Colombiana MeteoAgro, esta es una casa fabricante especializada en desarrollos para el Agro y el ambiente, el objetivo de poner en funcionamiento esta estación es realizar la comprobación de los datos obtenidos por los Mote frente a los presentados por los sensores de la estación, nos va a servir como punto de referencia y modelo a posibles correcciones que en su momento sean necesarias para poder alcanzar valores más reales y estables por los Mote.



Figura 28. *Estación Meteorológica Solar MA 3081*

La estación meteorológica cuenta con un sistema de alimentación energética a través de la captación de energía solar, quien se encarga de abastecer el consumo de energía generado por los sensores con los cuales está equipada la estación y también alimenta al transmisor, adicionalmente la estación cuenta con 3 baterías AA alcalinas en la estación base y dos baterías AA recargables en el transmisor. La estación tiene como una de sus características principales la visualización remota de todos los datos que ofrece y también datos referentes a la operación de la misma estación, los datos se visualizan en una pantalla LCD táctil de rápida lectura, la pantalla puede estar a una distancia máxima de 100 metros y recibe cada 48 segundos la información proveniente de la estación, él envió de datos se realiza por medio de radiofrecuencia, por medio de la banda de frecuencia de 433 MHz. La estación cuenta con los siguientes Sensores:

- Sensor de dirección del viento
- Sensor de velocidad del viento
- Sensor de humedad relativa y temperatura

- Sensor de presión atmosférica
- Pluviómetro
- Sensor de rayos UV
- Sensor de Luminosidad (Lux/m2)

7.6 Topología de Red

Una vez que se tenían definidos todos los dispositivos que iban a ser parte de la red inalámbrica de sensores, se procedió a iniciar el diseño de la topología de red, para esto fue necesario plantear el bosquejo físico en cuanto a la distribución espacial de cada uno de los Motes con los requerimientos planteados por el grupo de expertos de GINVEARQUI y a sus limitaciones operacionales, esto con el objetivo de tener la certeza de la funcionalidad de los diferentes tipos de Motes de acuerdo con su protocolo de comunicación. La topología de la red se basa en el protocolo de comunicación que utiliza la red, la topología de red es el mapa de la transición de los datos a través de la red, es de resaltar que la placa LinKitOne tiene la capacidad de trasmisión de datos mediante los protocolos de comunicación Wifi, GSM, GPRS y Bluetooh, para el caso de nuestra red vamos a implementar la comunicación mediante el protocolo de Wifi, una de las principales razones para implementar la comunicación con el protocolo Wifi, es que en el edificio Fray Angélico ya se encuentra desplegada la red Wifi que provee de acceso a internet a la comunidad que hace uso de sus instalaciones, adicional, este protocolo de comunicación no tiene costos adicionales para la implementación en los motes, a diferencia de si usamos las redes celulares (GSM) donde si tendríamos que tener un plan activo de datos con un operador móvil que nos pueda proveer esta conexión, en paralelo se quiere realizar un guardado de seguridad de la información transmitida, en la tarjeta de memoria externa del LinKit One para cuando se presenten fallas en la

conexión con la red inalámbrica Wifi. Una vez establecido el protocolo de comunicación, sabemos que en las plantas del edificio donde deben estar ubicados los motes, se encuentran puntos de acceso a la red Wifi, estos puntos de acceso son (marca y referencia de los Host) y nos brindan la intensidad de señal necesaria para que los motes puedan enviar la trama de datos que se espera. Como resultado de estas pruebas se decide que la topología de red va a ser estrella, en la cual cada uno de los motes estará realizando él envió de datos a el punto de acceso que más le convenga producto de la intensidad de señal recibida, en la *Figura 31* se puede observar la topología de red que se requiere implementar.

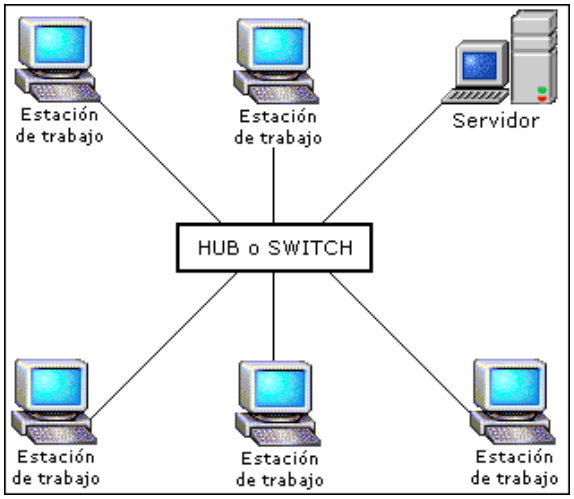


Figura 29. *Topología de Red tipo Estrella*

7.7 Elaboración del Mote

En este apartado encontramos la presentación de la elaboración de los motes para poder ampliar esta información se puede referir al *Apendice A* donde se encuentra el paso a paso detallado, adicional a los motes se va a presentar el manual de la puesta en operación de la estación

meteorológica solar MA3081 de la marca productora nacional MeteoAgro la cual nos entrega un informe en tiempo real de las principales variables medioambientales, como también guarda en su memoria Micro SD un historial por 30 días de los datos censados, la puesta en marcha de la estación tiene como objetivo realizar la monitorización de las variables para luego ser comparadas con las variables entregadas por los sensores dispuestos en los motes de la WSN, la verificación de los datos se lleva a cabo para realizar la entrega de datos lo más aproximada posible a la realidad medioambiental de la envolvente del edificio Fray Angélico.

A continuación, se va a resumir el manual de elaboración de los Mote en tres pasos, los materiales necesarios para la construcción son los siguientes:

- Caja de Exterior.
- 3 conos pasa cables.
- 2 cables de Grove – Grove
- 1 cable de Hembra – Grove
- Cable USB – Micro USB
- Corte de Vidrio de 5 cm x 10 cm.
- Panel Solar de 18 cm x 8 cm
- Sensor Grove de Temperatura y humedad DHT11
- Sensor Grove de luz solar
- Sensor de temperatura LM 35
- Placa Base V2
- Li-Po Rider V1.3

El primer paso es realizar la adecuación de las cajas de exterior en las que van a ser dispuestos la tarjeta de procesamiento junto con sus accesorios necesarios, la adecuación consiste en realizar una apertura en cada una de sus tres caras laterales para poder introducir los cables de los sensores, los pasa cables permiten que la caja cuente con el hermetismo suficiente como para no permitir la

filtración de agua, en *la Figura 32* se puede ver cómo queda la caja de exterior finalmente luego de las adecuaciones para pasar los cables.



Figura 30. *Caja para Exteriores con Adecuación*

El segundo paso consiste en adherir a la caja de exteriores los sensores Grove, el corte de vidrio que va a realizar la tarea de proteger a los sensores de la caída de agua directa y el panel solar, para que posteriormente puedan ser conectados a la placa de procesamiento LinKit One, con los cables que han pasado por el cono pasa cables de la caja de exterior en la *Figura 33* se puede observar cómo queda la adhesión de los sensores y el vidrio protector en la caja de exteriores.

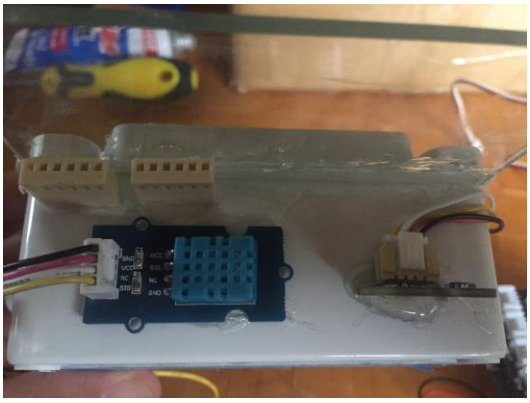


Figura 31. *Caja de Exterior con los sensores y vidrio de protección*

En el **Tercer Paso** se va a realizar la disposición de los interruptores de la placa LinKit One en sus posiciones adecuadas para el funcionamiento del mote, las posiciones de los interruptores puede variar según el uso que se quiera dar a la placa, y cada Mote tanto el de conexión Wi-Fi y GSM como el de almacenamiento interno, tienen una configuración en la disposición de los interruptores que es diferente el uno del otro, es de resaltar que para que el Mote funcione se debe cargar un código que es generado con el IDE de Arduino, este código permite que la placa funcione según los comandos que se cargue en cada una de sus líneas, para tener mayor información de las líneas de código de cada uno de estos programas se puede dirigir a los *Apendice B, C y D.*



Figura 32. *LinKit ONE Con disposición de Interruptores*

Como **cuarto paso** vamos a realizar la adecuación de la tarjeta LinKit One junto con sus accesorios necesarios, en este paso la tarea es realizar todas las conexiones que se requieren tanto de los sensores como de los elementos que hacen parte de la alimentación energética, todo esto va conectado a la placa procesadora, esto debe estar debidamente organizado dentro de la caja para que se utilice el espacio interior de forma adecuada de manera que al momento de cerrar la caja no se ejerza presión sobre ninguno de los componentes que se encuentran al interior, esto se realiza

con el objetivo de que no se presenten obstrucciones en el funcionamiento del Mote, en la *Figura 35* se puede ver el mote terminado, para la ubicación del Mote se prosigue a cerrar la tapa de la caja de exteriores y a ubicar el sensor LM 35 en una ventana de manera que pueda tomar la temperatura del cristal.

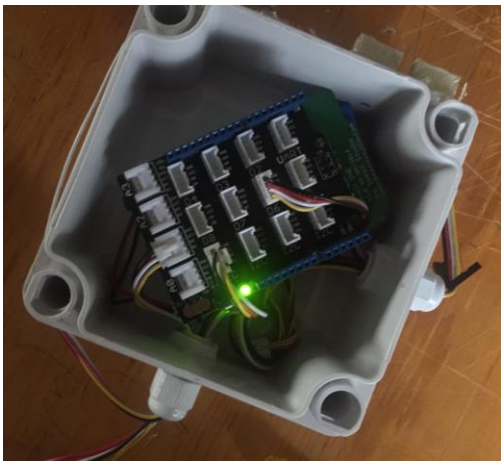


Figura 33. *Mote con Conexiones terminadas*

7.8 Montaje de la Estación Meteorológica

En esta sección se presenta el manual del montaje para la estación meteorológica, la puesta en operación y la correcta recuperación de datos y posterior visualización. En la *Figura 30* se puede ver el módulo de la estación con cada una de sus partes y sensores. Para realizar el montaje de los sensores y demás de la estación se elabora el manual del montaje de la estación Meteorológica que se puede encontrar en el *Apéndice E* donde se puede encontrar el paso a paso del montaje y la puesta en operación de la estación meteorológica.

Es de vital importancia que el sensor de dirección del viento sea ajustado de tal forma que las direcciones en el sensor concuerden con la ubicación real, si el sensor no es posicionado correctamente durante la instalación, se presentaran errores permanentes en los datos.

El primer paso que se va a realizar es insertar dos baterías alcalinas AA recargables de 1.5 V en el sensor remoto, en seguida se deben colocar dos baterías AA de 1.5 V en la consola, cuando la consola este energizada la pantalla LCD se activara y comenzara a mostrar datos de temperatura, humedad y presión atmosférica de la ubicación donde se encuentre la consola. De esta manera la unidad entra al estado RF (Radio Frecuencia), donde esta recibe datos del sensor remoto, cuando los datos sean recibidos la consola automáticamente al modo de visualización normal, donde ya mostrara la operación según sea su configuración.

8. Desarrollo Del Proyecto- Pruebas En Laboratorio Y En Campo.

En la narración que se hace en el anterior punto se describe como realizar el montaje de los nodos, en este apartado se va a describir el paso a paso de la puesta en funcionamiento de los nodos y de su sistema de comunicación, para esta tarea vamos primero a realizar las pruebas en un ambiente controlado o de laboratorio donde vamos a realizar la configuración probando sus diferentes protocolos de comunicación inalámbrica con el objetivo de establecer parámetros y límites de operación de los nodos según su protocolo de comunicación, también se quiere establecer los tiempos de operación de las baterías, este tema es muy importante ya que la idea es que los motes tengan un bajo consumo de energía y que además de abastecerse por medio de la

energía que proporciona la batería , también pueda recolectar energía solar por medio del panel y ver la optimización de los tiempos de operación.

Después de establecer los parámetros de funcionamiento de los motes, superando las pruebas de laboratorio, vamos a realizar las pruebas en campo, en la cual vamos a ubicar los nodos en el edificio Fray Angélico de la Universidad Santo Tomas, en los puntos acordados con los expertos de GINVEARQUI respetando los resultados que obtuvimos en las pruebas de laboratorio, con el objetivo de monitorear el correcto funcionamiento de los mote y sus diferentes sistemas de comunicación y los tiempos de operación de las baterías con el apoyo del panel solar.

8.1 Pruebas de Laboratorio

La primera prueba que vamos a realizar es la del nodo que tiene la configuración del almacenamiento interno de datos en su tarjeta Micro SD, esto con el objetivo de ver como se guarda la trama de datos y de poder establecer los tiempos de escritura en la memoria del linkit One, este sistema va a ser muy importante ya que va a cumplir con el objetivo de realizar el respaldo de información cuando se presenten problemas con la comunicación inalámbrica, esto es para acotar la probabilidad de perdida de datos durante el tiempo de la implementación del proyecto. El primer paso es, luego de adoptar el modelo de configuración designado para este mote, vamos a cargar el código a la tarjeta Linkt One, el código que se carga para realizar para realizar estas pruebas se encuentra en el Apéndice C, se puede referir a él si se necesita ampliar la información sobre el código, este código está escrito en el entorno de programación Arduino IDE, en respuesta a la compilación y ejecución de este código, el Linkit One recibe los datos provenientes de los sensores de Humedad relativa del medio y temperatura ambiente, Luz solar y

luz visible y la temperatura del cristal en el punto de ubicación, estos datos son recolectados en unidades de voltaje y mediante códigos cargados en las librerías para cada uno de los sensores, se realiza el procesamiento de los datos para ser presentados en valores de las unidades establecidas para cada una de las variables, estos datos son escritos en la memoria externa Micro SD de la placa Linkit One, según las especificaciones técnicas de las baterías nos pueden abastecer de la energía necesaria durante 45 días en operación continua. En la ilustración # se muestra el resultado

8.1.1 Pruebas en Mote con Almacenamiento Interno.

La primera prueba que vamos a realizar es la del nodo que tiene la configuración del almacenamiento interno de datos en su tarjeta Micro SD, esto con el objetivo de ver como se guarda la trama de datos y de poder establecer los tiempos de escritura en la memoria del linkit One, esta opción de mote va a ser muy importante ya que va a cumplir con el objetivo de realizar el respaldo de información cuando se presenten problemas con la comunicación inalámbrica, esto es para acotar la probabilidad de perdida de datos durante el tiempo de la implementación del proyecto. El primer paso es, luego de adoptar el modelo de configuración designado para este mote, vamos a cargar el código a la tarjeta Linkt One, el código que se carga para realizar para realizar estas pruebas se encuentra en el *Apéndice C*, se puede referir a él si se necesita ampliar la información sobre el código, este código está escrito en el entorno de programación Arduino IDE, en respuesta a la compilación y ejecución de este código, el Linkit One recibe los datos provenientes de los sensores de Humedad relativa del medio, temperatura ambiente, Luz solar, luz visible y la temperatura del cristal en el punto de ubicación, estos datos son recolectados en unidades de voltaje y mediante códigos cargados en las librerías para cada uno de los sensores, se

realiza el procesamiento de los datos para ser presentados en valores de las unidades establecidas para cada una de las variables, estos datos son escritos en la memoria externa Micro SD de la placa Linkit One, según las especificaciones técnicas de las batería, nos pueden abastecer de la energía necesaria durante 45 días en operación continua y al ser guardado el archivo de texto plano, la cantidad de bites que ocupa de espacio en memoria es relativamente pequeño con respecto a la capacidad de almacenamiento que tiene una memoria Micro SD de 8 Gb. En la *Figura 34* se muestra un pantallazo de la trama de datos guardados en la memoria SD.

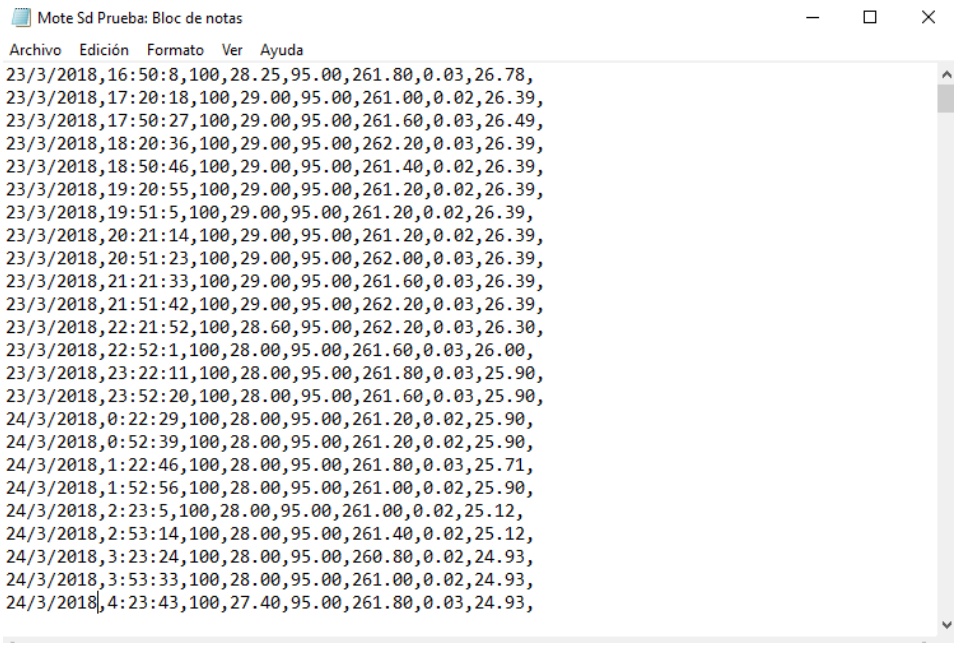
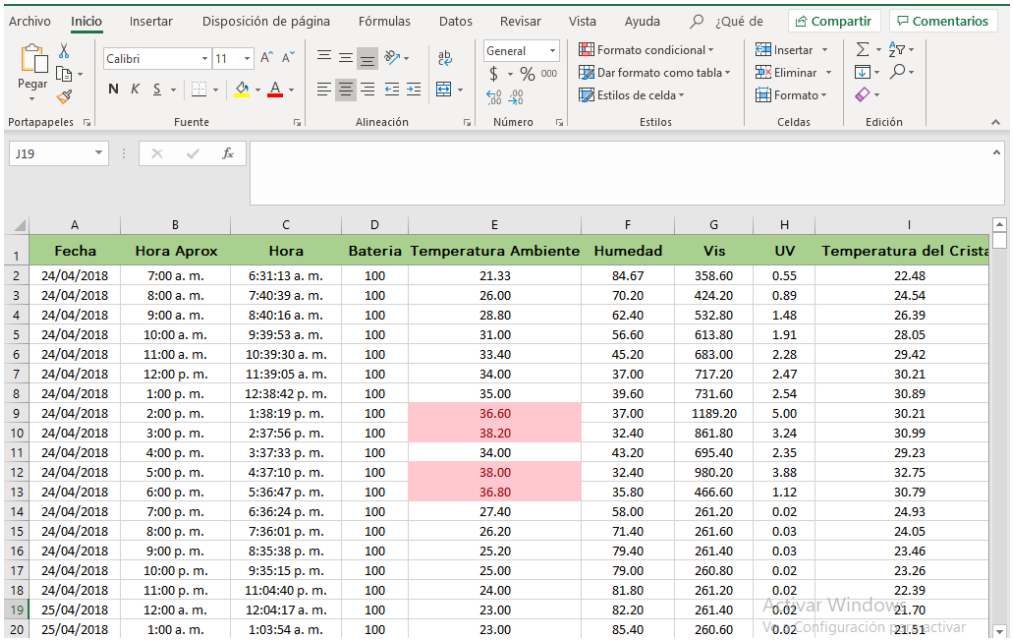


Figura 34. *Datos de Prueba, Mote Sd*

Estos datos representan el valor de las variables y datos cronológicos de cada una de las mediciones, los datos de las variables son separados por una coma, su orden inicia de izquierda a derecha con la fecha, hora, porcentaje de carga de la batería, temperatura ambiente, humedad, luz visible, luz solar y temperatura del cristal, esta trama de datos es pasada a una hoja de cálculo para

que los datos puedan ser presentados de una manera más fácil de diferenciar, como se puede ver en la *Figura. 35*, ahí se pueden apreciar los datos de una manera más agradable. Este archivo fue analizado con el objetivo de encontrar datos que no coincidieran con la realidad del medio donde estaba operando el mote y por ende se consideran como datos erróneos, estos datos se diferencian por tener sombreada la casilla en color rojo.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Fecha	Hora Aprox	Hora	Bateria	Temperatura Ambiente	Humedad	Vis	UV	Temperatura del Crista
2	24/04/2018	7:00 a. m.	6:31:13 a. m.	100	21.33	84.67	358.60	0.55	22.48
3	24/04/2018	8:00 a. m.	7:40:39 a. m.	100	26.00	70.20	424.20	0.89	24.54
4	24/04/2018	9:00 a. m.	8:40:16 a. m.	100	28.80	62.40	532.80	1.48	26.39
5	24/04/2018	10:00 a. m.	9:39:53 a. m.	100	31.00	56.60	613.80	1.91	28.05
6	24/04/2018	11:00 a. m.	10:39:30 a. m.	100	33.40	45.20	683.00	2.28	29.42
7	24/04/2018	12:00 p. m.	11:39:05 a. m.	100	34.00	37.00	717.20	2.47	30.21
8	24/04/2018	1:00 p. m.	12:38:42 p. m.	100	35.00	39.60	731.60	2.54	30.89
9	24/04/2018	2:00 p. m.	1:38:19 p. m.	100	36.60	37.00	1189.20	5.00	30.21
10	24/04/2018	3:00 p. m.	2:37:56 p. m.	100	38.20	32.40	861.80	3.24	30.99
11	24/04/2018	4:00 p. m.	3:37:33 p. m.	100	34.00	43.20	695.40	2.35	29.23
12	24/04/2018	5:00 p. m.	4:37:10 p. m.	100	38.00	32.40	980.20	3.88	32.75
13	24/04/2018	6:00 p. m.	5:36:47 p. m.	100	36.80	35.80	466.60	1.12	30.79
14	24/04/2018	7:00 p. m.	6:36:24 p. m.	100	27.40	58.00	261.20	0.02	24.93
15	24/04/2018	8:00 p. m.	7:36:01 p. m.	100	26.20	71.40	261.60	0.03	24.05
16	24/04/2018	9:00 p. m.	8:35:38 p. m.	100	25.20	79.40	261.40	0.03	23.46
17	24/04/2018	10:00 p. m.	9:35:15 p. m.	100	25.00	79.00	260.80	0.02	23.26
18	24/04/2018	11:00 p. m.	11:04:40 p. m.	100	24.00	81.80	261.20	0.02	22.39
19	25/04/2018	12:00 a. m.	12:04:17 a. m.	100	23.00	82.20	261.40	0.02	21.70
20	25/04/2018	1:00 a. m.	1:03:54 a. m.	100	23.00	85.40	260.60	0.02	21.51

Figura 35. *Datos de Prueba en Hoja de Datos*

Esta prueba aporta datos significativos sobre el consumo energético de los motes, según los datos recopilados vemos que desde el tiempo de la puesta en operación del mote (24 de abril de 2018) se obtuvieron datos continuos hasta el 15 de mayo de 2018, esto suma 21 días continuos de datos con un intervalo por medición de 60 minutos.

8.1.2 Prueba en Mote con Comunicación Wi-Fi.

En este punto vamos a realizar las pruebas en ambiente controlado, estas pruebas son realizadas en el laboratorio de comunicaciones de la Universidad Santo Tomas seccional Bucaramanga, a

diferencia del hardware que se presenta en el mote con almacenamiento interno, este mote tiene conectada la antena Wi-Fi a la tarjeta de procesamiento (Linkit One), en cuanto al montaje en físico del mote solo difiere en este punto con respecto al mote presentado en el punto anterior, donde si se presentan cambios sustanciales es en el código que se carga en el Linkit One ya que en primera instancia se debe acceder a una red Wi-Fi que tenga una potencia de señal en el rango de –40 dB a –60 dB, este rango de potencia recibida es en el cual se puede establecer una conexión fiable, de esta manera en el código se tiene que referenciar las credenciales de acceso a la red Wi-Fi como lo son el nombre de la red, su contraseña y el protocolo de seguridad que utiliza, un cambio bastante notorio en este código es que se arma una trama de datos como resultado de un promedio de los valores obtenidos en cuatro (4) lecturas que se realizan en un espacio de tiempo de 30 minutos, esta trama de datos es enviada a la plataforma de visualización Ubidots donde se pueden ver los datos en tiempo real, en la *Figura 36* se puede ver la manera en que son presentados los datos en Ubidots.

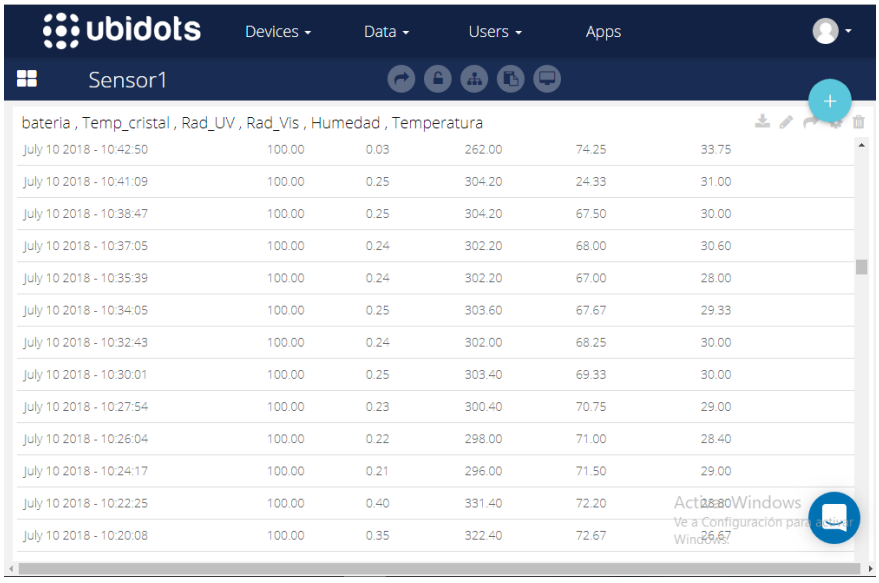


Figura 36. *Prueba con Ubidots*

En la *Figura 38* se puede observar como la interfaz muestra de una manera ordenada y cronológica los valores que van siendo enviados por el mote hacia el servidor web de la página, las pruebas nos arrojan resultados favorables ya que la placa de procesamiento se logra conectar de manera efectiva con la plataforma Ubidots e interpreta la trama de datos proveniente del Linkit One, las condiciones de la red inalámbrica de internet por ser en un ambiente controlado cuentan con la incidencia de la señal recibida en un rango optimo el cual le permite al Linkit One enviar las tramas de datos sin perdidas. Las pruebas se realizan a una distancia de 10 metros de un punto de acceso a la red de internet inalámbrica del laboratorio donde no se tiene obstrucciones de ningún tipo de material. Esta prueba nos muestra que los motes enviaron información desde el día 17 de mayo de 2018 hasta el 5 de junio de 2018 lo cual nos da un total de 18 días continuos de medición, a diferencia del mote con almacenamiento interno este mote tiene un tiempo de operación un poco menor, durante los días de la prueba piloto el mote realizo el correcto envió de cada una de las tramas de datos que se recopilaban y eran enviadas a Ubidots cada 58 minutos en promedio.

8.2 Pruebas de Campo

Las pruebas de campo son realizadas en las instalaciones de la Universidad Santo Tomas seccional Floridablanca, en el edificio Fray Angélico, las ubicaciones ya habían sido concertadas junto con el grupo de expertos de GINVEARQUI, se decide que se va a iniciar probando el mote que cuenta con comunicación vía Wi-Fi.

8.2.1 Pruebas de campo con Mote Wi-Fi.

Los motes son ubicados en cada uno de los cuatro puntos clave en la fachada, cada mote tiene cargado un código similar en su placa de procesamiento (Linkit One), cada programa cargado en los cuatro Motes tiene un token específico para que el aplicativo software (Ubidots) pueda diferenciarlos a la hora de la visualización de los datos, este programa ya ha sido testeado en las pruebas de laboratorio, el edificio Fray Angélico cuenta con su propia red inalámbrica de conexión a internet, y se tiene un punto de acceso ubicado en la planta número seis el cual va a ser el punto de acceso en común para los 4 motes, este es un punto de acceso de la marca *Rockus*, este punto de acceso tiene tasas pico de 300 Mbps en la banda de 2.4 GHz y 867 Mbps en la banda de 5 GHz y cuenta con antenas internas 2x2 SU-MIMO.



Figura 37. *Punto de Acceso Rockus R310*

La sexta planta cuenta con la distribución espacial que se puede apreciar en la *Figura 38* que, en si es el plano de esta planta, ahí mismo se puede observar la ubicación de cada uno de los dos motes que van a ser ubicados en esta planta, más la ubicación del punto de acceso.



Figura 38. *Distribución planta 6*

Como se puede observar en la *Figura 38* el punto de acceso a la red inalámbrica de internet está ubicado en la parte central de la sexta planta del edificio lo cual nos ha sido provechoso porque de esta manera no queda tan distantes de los Motes, las distancias de cada uno de los motes al punto de acceso Sin línea de vista se describen en la *Tabla 20.*

Tabla 20. *Distancia de los Nodos al Router sin Línea de Vista*

Ubicación	Distancia
Punto de Acceso – Pasillo 6to piso (Este)	*17 mts*
Punto de Acceso – Aula *603 (sur)*	*45 mts*
Punto de Acceso – Cubierta	*2 mts*
Punto de Acceso – Aula 506 (Norte)	*38 mts*
Punto de Acceso – Aula 509 (Oeste)	*28 mts*

En las Figuras 39, 40, 41 y 42 se puede observar la incidencia de la señal de Wi-Fi para cada mote en las dos bandas de frecuencia que ofrece el punto de acceso, esta información ha sido recopilada con la aplicación móvil (***Net Analyzer***) disponible en la tienda de aplicaciones (***Play Store***) de Android, según esta información se demuestra que cada uno de los mote cuentan con la suficiente calidad de señal para poder realizar el correcto envió de la trama de datos a ser enviada.



Figura 42. *Señal Wi-Fi en Aula 506*



Figura 41. *Señal Wi-Fi en Aula 509*



Figura 39. *Señal Wi-Fi en Aula 603*



Figura 40. *Señal Wi-Fi en Pasillo 6to Piso*

Los motes tienen cargada la configuración cada uno para conectarse vía Wi-Fi, lo cual quiere decir que todos van a conectarse al mismo punto de acceso, estos paquetes tienen información que permite que sean diferenciados en la plataforma de visualización (Ubidots) para que puedan ser presentados los datos de cada uno de los motes por aparte.

Como vimos en las pruebas de laboratorio con la configuración del mote con la comunicación vía Wi-Fi, el tiempo de descarga de un ciclo de carga de la batería duraba en promedio 18 días en continuo funcionamiento, para esta prueba como se va a dejar el mote ubicado en la fachada del edificio, le vamos a ubicar un panel solar de 18 cm x 8 cm sobre la cara superior de la caja de exterior, el panel va a extender la duración de la batería en teoría en un 50%, esto supondría que el mote puede recopilar información y enviarla durante un periodo de 27 días seguidos. Los motes son puestos en operación el día 24 de abril de 2018 y va a ser monitoreado en remoto, desde el aplicativo web que tiene dispuesto el medio de visualización (Ubidots).

Se puede observar en el seguimiento que se realiza desde la página web de Ubidots, que los mote tienen problemas de conectividad en un momento determinado, este problema de conectividad se presenta regularmente en un mismo rango de hora y cada 2 días en promedio, esto hace que el tipo de comunicación no sea efectivo ya que como se tenía planteado, el mote cuenta con las condiciones favorables que se pensaban que se iban a dar para bien en pro del correcto funcionamiento, los resultados que nos encontramos en la práctica no fue la que se tenía en el plan de desarrollo del proyecto.

Como un plan de choque para poder abordar estas eventualidades se decide que se va a dejar un Mote adicional con la configuración de almacenamiento de datos en memoria SD en cada ubicación trabajando en paralelo con el Mote de comunicación Wi-Fi, con el objetivo de realizar el respaldo en la captura de datos en los momentos en que el Mote Wi-Fi no pueda establecer la comunicación.

8.2.2 Pruebas con Mote GSM

La placa de procesamiento (Linkit One) cuanta con la capacidad para conectarse a redes celulares 3G, para esto cuenta con compartimiento donde se almacena la tarjeta Sim de un operador celular, en este apartado se va a comprobar la estabilidad de la comunicación con este tipo de comunicación, para esto se necesita adaptar el código que debe ser cargado al Linkit One, este código se encuentra en el *Apéndice D*. Conocemos que la desventaja de este tipo de comunicación es que se necesita que la tarjeta sim tenga un plan de datos activo el cual me pueda dar la conexión con el aplicativo web Ubidots, esto hace que el coste de operación en comparación con los otros tipos de comunicación sea superior. Para realizar las pruebas vamos a cargar el código en un solo mote y lo vamos a cambiar de ubicación semanalmente hasta que se tengan los datos de los cuatro puntos de ubicación de los Mote, las pruebas se van a comenzar el día 14 de junio de 2018 y se van a monitorear los datos desde el aplicativo para verificar la fiabilidad de la conexión.

El resultado que se obtiene no es muy diferente al del tipo de comunicación con Wi-Fi pues el mote al momento de iniciar la operación el mote establece la comunicación con el aplicativo Ubidots y comienza a cumplir con el flujo de trabajo programado en el código que se carga en la tarjeta, la operación del mote dura estable de corrido como máximo 48 horas seguidas y luego se interrumpe la comunicación, para que se vuelva a establecer la comunicación se debe oprimir el botón de reinicio en la placa de procesamiento, lo cual hace que sea poco practica la operación, el mismo inconveniente se presenta con la comunicación vía Wi-Fi y la placa de procesamiento no puede trabajar en paralelo realizando el envío de datos por un medio inalámbrico y realizando el respaldo en la memoria SD, la placa Linkit One no cuenta con esta funcionalidad.

9. Conclusiones

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo general implementar una red de sensores inalámbricos en la fachada del Edificio Fray Angélico de la Universidad Santo Tomás-Seccional Bucaramanga, orientado al registro, almacenamiento y visualización de datos asociados a las variables medioambientales de interés en el análisis del comportamiento de la envolvente térmica de la edificación, para cumplir con este objetivo nos centramos en que la red inalámbrica de sensores que se requería diseñar fuese capaz de responder a los requerimientos técnicos con el fin de aportar datos confiables sobre las condiciones medioambientales de la fachada del Edificio, los cuales eran claves para el proyecto de investigación que se desarrolla desde la Facultad de Arquitectura en el grupo de trabajo GINVEARQUI, que tiene como objetivo reducir el consumo de energía del Fray Angélico manteniendo el confort climático dentro del edificio, de esta manera el paso inicial fue realizar una búsqueda exhaustiva de trabajos que se hubiesen presentado anteriormente en el campo de la arquitectura bioclimática especialmente en las edificaciones que se requerían rediseñar, como resultado de esta búsqueda encontramos una gran cantidad de trabajos que se habían desarrollado a nivel mundial en construcciones que por su valor histórico y demás, se quería que permanecieran en pie pero que a su vez tuviesen una reducción significativa en el consumo de energía y que también se brindara confort climático y que para recopilar los datos de las variables de interés se hubiesen utilizado redes de sensores inalámbricos, esta información que se recopilo fue significativa para realizar la tener una idea clara del estado del arte y para plantear la justificación del presente trabajo de grado.

Teniendo claro el cómo se iba a desarrollar el proyecto basados en la información recopilada y la experiencia en el trabajo con redes inalámbricas de sensores, se realiza el levantamiento técnico de la información que se requiere para el diseño de la WSN, apoyándonos en las especificaciones dadas por el grupo de investigación GINVEARQUI sobre los posibles puntos de medición, esta información fue la que marco el desarrollo del proyecto ya que puntualizo las variables que se debían registrar, los puntos donde se iban a ubicar los nodos de la red, la frecuencia con que se debían registrar las variables y como se debía presentar la información recopilada. Teniendo los parámetros iniciales se plantea que se va a ubicar un mote por cada cara de la fachada del edificio, costado Norte, costado Sur, costado Este y Costado Oeste, realizando la inspección al edificio se tiene claro que los puntos de medición deben ser ubicados en las plantas superiores de la edificación para que los árboles que están ubicados en sitios aledaños al edificio no interfieran en el trabajo que deben realizar los sensores y de esta manera se puedan obtener datos lo más posibles reales, se decidió que la distribución de los Motes también iba a estar condicionada por la distancia a la cual estaban de los puntos de acceso a la red Wi-Fi que está desplegada por el Edificio, para esto se realizan pruebas de la potencia de la señal de Wi-Fi incidente para cada uno de los puntos de ubicación, este trabajo nos da como resultado que se tenga la certeza que en estos puntos de ubicación los Mote se puedan comunicar efectivamente con el punto de Acceso a Wi-Fi.

Una vez teniendo claras las especificaciones y la carga de trabajo que debe soportar la WSN pasamos a realizar el diseño, para esto el primer paso es realizar la búsqueda de los materiales que son necesarios para el montaje de cada uno de los Nodos de la red, el elemento determinante fue la placa de procesamiento LinKit One la cual la elegimos entre el rango tan amplio que propone el mercado actual de IoT, porque nos da la opción de poder conectarse a redes Wi-Fi, redes

celulares GSM, GPS y también puede almacenar información en una memoria Micro SD extraíble, también tiene como ventaja de una buena relación costo/rendimiento, cuenta con un buen número de puertos para conexiones entrantes y salientes, adicional se le va a adaptar una placa base Grove V2 para poder expandir el número de puertos que vamos a necesitar para realizar la conexión de los sensores, los sensores que fueron elegidos se adaptaron perfectamente a los puertos disponibles en la placa base Grove y cuentan con el rango de error en la medición que aconsejaba el grupo GINVEARQUI. El sistema de alimentación de energía para cada note tiene una batería de Litio con 6.000 mAh recargable que nos daba un tiempo de operación de máximo 18 días, adicional se implementó en cada Mote un panel solar que incremento el tiempo de operación en un 50 % al que aportaba la batería de Litio, la caja de Exterior que se eligió contaba con el hermetismo que se requería para que la placa de procesamiento, batería y las conexiones con la batería y sensores que estaba en su interior no fuese afectada por el clima, durante el desarrollo del proyecto nunca se presentaron filtraciones de agua al interior de alguna de los Mote.

La WSN fue desplegada en los puntos de medición que se habían pactado y fue puesta en funcionamiento, como experiencia para el presente proyecto de grado y futuros trabajos, determinamos que se tuvieron inconvenientes con la operación de la placa de procesamiento LinKit One debido a que como se observa en los resultados presentados, la estabilidad de conexión con los tipos de comunicación inalámbrica son muy inestables, pues se estaba deteniendo la operación después de que la placa había trabajado en promedio durante 48 horas de seguido, en respuesta a este impedimento se quería que la placa guardara un registro de respaldo en la memoria interna Micro SD para los momentos en los que fallara la conexión inalámbrica, vimos que el LinKit One **no** tiene la capacidad de operar en paralelo con una conexión inalámbrica y realizar el

respaldo de información en la tarjeta Micro SD, pues estaba limitada por un interruptor de dos puestos en el cual se debe elegir un modo de operación, esto me llevo a implementar un mote adicional por punto de medición el cual se encargaba de realizar el respaldo de datos para cuando la conexión inalámbrica fallara.

La WSN estuvo recopilando datos desde el 24 de abril de 2018 hasta el 14 de diciembre de 2018, como vimos en la anterior conclusión que en cada punto de medición se trabajaron dos Mote, uno con comunicación por Wi-Fi y el otro que guardaba los datos en la Memoria Micro SD interna del LinKit One, cada uno de estos dos tipos de Mote nos aportaban datos en un tipo de archivo diferente, el Mote con la comunicación Wi-Fi nos estaba alimentando un documento de Hoja de Cálculo (.xls) que era cargada y visualizada en tiempo real en la plataforma de Visualización Ubidots y el otro mote escribía en un archivo de texto plano (.txt) en el cual estaban los datos donde estaba separada cada trama de datos por una coma y por un espacio cada tipo de dato. A la final debíamos presentar una hoja de cálculo la cual iba a estar alimentada por los datos que venían de cada uno de los dos Mote puestos en cada punto de medición, el resultado es que durante el total del tiempo de operación de la WSN hubo una pérdida de datos menor que fue producto a de la manipulación de los Mote por parte del personal ajeno al desarrollo del proyecto que para su momento hacían uso del Edificio Fray Angélico, como también de que en su momento se realizaron una mala conexión del sistema de alimentación o en la carga del código en la placa de procesamiento, ya que para que funcionara correctamente el Mote, el LinKit One debía tener los interruptores en las ubicaciones específicas, y por último también vimos que se pudieron presentar perdida de datos por que el sistema de alimentación no abasteció la demanda energética del Mote durante el tiempo que se tenía planeado en cada ciclo de carga de las baterías.

10. Recomendaciones y Trabajo Futuro

El proyecto que planteo el grupo de investigación GINVEARQUI tiene un tiempo de operación mayor a nuestro proyecto de grado, nuestro aporte fue puntual y era entregar los datos medioambientales que estaban impactando la fachada del edificio Fray Angélico, adicional a esto el grupo debe realizar la recopilación de las variables ambientales que impactan al edificio en su interior, y como experiencia se determina que se debe cambiar la placa de procesamiento si se quiere implementar la red solamente basando los Mote con el tipo de comunicación inalámbrica, ya que el LinKit One no cumplido con la carga de trabajo deseado. Se debe analizar otra placa de procesamiento que tenga la capacidad de mantener una conexión Wi-Fi entre el punto de acceso a la red inalámbrica de internet del edificio y el Mote, esta sería el único elemento que se debería cambiar para la implementación de la WSN al interior del edificio, ya que los demás elementos trabajaron como lo había previsto en el diseño de la red. Esto pensando en el desarrollo del proyecto planteado para el grupo GINVEARQUI, porque esta WSN tiene una gran versatilidad y escalabilidad, se probó que tiene la capacidad de trabajar en exteriores y puede desarrollarse una solución a medida, dependiendo el área o ambiente donde se quiera llegar a implementar lo trabajado con nuestra WSN.

11. Referencias

[1] P. de las N. U. para el D. PNUD, “Objetivos de Desarrollo Sostenible,” 2017. [Online]. Available: http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html.

[2] GITC, “Nuevas Tecnologias que estan Revolucionando la construcción.” [Online]. Available: http://www.gitc.cl/nuevas-tecnologias-que-estan-revolucionando-la-construccion/.

[3] ONU, “Desarrollo sostenible,” *Onu*, 2017. [Online]. Available: http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml.

[4] CEPAL, “América Latina y el Caribe. Desafíos dilemas y compromisos de una agenda urbana común.,” p. 62, 2016.

[5] P. E. L. Desarrollo, D. E. N. Local, and E. N. La, “Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el camio climático.”

[6] Parlamento Europeo and Consejo de la Unión Europea, “Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios,” *Doce*, vol. 4-01–2003, no. L 1, pp. 65–71, 2003.

[7] USTA, “Universidad_Santo_tomas_Bucaramanga.” .

[8] A. Martínez-Molina, I. Tort-Ausina, S. Cho, and J.-L. Vivancos, “Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 61, pp. 70–85, Aug. 2016, doi: 10.1016/J.RSER.2016.03.018.

[9] M. Frei, J. Hofer, A. Schlüter, and Z. Nagy, “An easily-deployable wireless sensor network for building energy performance assessment,” *Energy Procedia*, vol. 122, pp.

523–528, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.07.309.

[10] G. Ulpiani, M. Benedettelli, C. di Perna, and B. Naticchia, “Overheating phenomena induced by fully-glazed facades: Investigation of a sick building in Italy and assessment of the benefits achieved via model predictive control of the AC system,” *Sol. Energy*, vol. 157, pp. 830–852, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.SOLENER.2017.09.009.

[11] J. Li, J. He, and A. Arora, “ThermoNet: Fine-Grain Assessment of Building Comfort and Efficiency,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 10, pp. 349–356, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.PROCS.2012.06.046.

[12] Ministerio de ambiente y desarrollo, *Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana*. 2012.

[13] J. Muangprathub, N. Boonnam, S. Kajornkasirat, N. Lekbangpong, A. Wanichsombat, and P. Nillaor, “IoT and agriculture data analysis for smart farm,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 156, no. December 2018, pp. 467–474, 2019, doi: 10.1016/j.compag.2018.12.011.

[14] R. Di Pietro, Y. Law, S. Etalle, P. Hartel, and P. Havinga, “State of the art in security of wireless sensor networks,” *IEEE Comput.*, vol. 2, no. December 2007, 2002.

[15] D. Alexander *et al.*, “Redes de Sensores Inalámbricos,” no. January 2011, 2016.

[16] R. Fernández Martínez *et al.*, *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*. 2009.

[17] T. Atmel, H. Performance, L. Power, A. Avr, and M. Family, “ATmega328 / P,” 2016.

[18] “MT2502A SOC Processor Technical Brief,” pp. 1–53, 2014.

[19] J. Fraden, H. N. Norton, S. Middelhoek, S. A. Audet, and S. Sensors, “2. Sensores 1.,” *Sensores*, vol. IV, p. 33 Pag, 2002.

[20] L. a N. Man, S. Committee, and I. Computer, *IEEE Std 802®-2014 (Revision of IEEE Std 802-2001), IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture*, vol. 2014, no. February. 2014.

[21] I. Standard and I. C. Society, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks — Part 15 . 4 : Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) IEEE Computer Society S ponsored by the*, vol. 2011, no. September. 2011.

[22] R. & Schwarz, "Principios básicos de GSM / GPRS / EDGE Evolution / VAMOS." [Online]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/es/soluciones/comunicaciones-inalambricas/gsm-gprs-edge-evolution-vamos/fundamentos/principios-basicos-de-gsm_106328.html.

[23] I. C. Society, "802.15.1," vol. 2005, no. June, 2005.

[24] D. Fletcher, "Internet of Things," *The Internet of Things (IoT) – essential IoT business guide*, 2015. [Online]. Available: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-23585-1_2.

[25] BBVA, "10 herramientas para la visualización de datos | Centro de Innovación BBVA," *2016*, 2016. [Online]. Available: https://www.bbva.com/es/10-herramientas-visualizacion-datos/.

[26] G. A. Agustin P., "Sobre Ubidots." .

[27] IBM, "Watson IoT Plataform." [Online]. Available: https://www.ibm.com/internet-of-things/spotlight/watson-iot-platform.

[28] Thinkspeak, "ThingSpeak." [Online]. Available: https://thingspeak.com/pages/learn_more.

[29] J. M. Evans and S. Schiller, "Rol de la envolvente en la Edificación sustentable," *Rev. la*

Construcción, vol. 4, no. 1, pp. 5–12, 2005.

[30] E. M. Rivera, “Arquitectura bioclimática,” 2009. [Online]. Available: https://www.simulacionesyproyectos.com/blogs/arquitectura-bioclimatica/.

[31] C. N. D. C. De Trabajo, “Confort térmico,” *Erga*, no. 99, p. 2007, 2007.

[32] “Valores U - Diseño de Edificios Wiki.” [Online]. Available: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/U-values.

[33] E. C. de I. J. Garavito, “TEMPERATURA PROTOCOLO Curso de Higiene y Seguridad Industrial,” 2008.

[34] jabernalm, “Humedad Relativa Media, Dane,” no. 20, 2011.

[35] Solar-Energia.net, “Radiación Solar,” 2017.

[36] Luces, “Radiación visible.” [Online]. Available: https://www.lucescei.com/estudios-y-eficiencia/extractos-libro-blanco-de-iluminacion/radiacion-visible-luz/.

[37] F. Tecnica, “ VVd para u,” 2013.

[38] H. Herrera, Pilotzi, “¿Que es el,” 2007. [Online]. Available: http://www.citizenstrade.org/ctc/wp-content/uploads/2011/01/que_es_el_alca.pdf.

[39] Metelobios, “Lluvia.” [Online]. Available: http://www.meteolobios.es/lluvia.htm.

[40] “Definición de presión barométrica | Diccionario de arquitectura y construcción.” [Online]. Available: http://www.parro.com.ar/definicion-de-presi%F3n+barom%E9trica. [Accessed: 19-Feb-2019].

[41] Arduino, “Arduino MKR1000 WIFI,” 2017. [Online]. Available: https://store.arduino.cc/usa/arduino-mkr1000.

[42] Arduino, “Arduino Ethernet Shield WITHOUT PoE Module,” 2018. [Online]. Available:

https://store.arduino.cc/usa/arduino-ethernet-shield-without-poe-module.

[43] Arduino, “Arduino TIAN,” 2016. [Online]. Available: http://www.arduino.org/products/boards/arduino-tian.

[44] SeeedStudio, “Dragrove - Generic gateway for internet of things,” 2011. [Online]. Available: https://www.seeedstudio.com/Dragrove-Generic-gateway-for-internet-of-things-p-1118.html.

[45] SeeedStudio, “BeagleBone Green Wireless - Seeed Wiki,” 2014. [Online]. Available: http://wiki.seeed.cc/BeagleBone_Green_Wireless/.

[46] SEEDSTUDIO, “Seeeduino Stalker v2.3,” 2013. [Online]. Available: http://www.seeedstudio.com/wiki/Seeeduino_Stalker_v2.3.

[47] SEEDSTUDIO, “Seeeduino Stalker v2.3,” 2013. .

[48] SeeedStudio, “LinkIt ONE,” 2017. [Online]. Available: https://www.seeedstudio.com/LinkIt-ONE-p-2017.html.

[49] A. Lignan, “Zolertia RE-Mote,” 2016. [Online]. Available: https://github.com/Zolertia/Resources/wiki/RE-Mote.

[50] SeeedStudio, “Base Shield V2.” [Online]. Available: https://www.seeedstudio.com/Base-Shield-V2-p-1378.html.

[51] Meteoagro, “Meteoagro ::::::::::” [Online]. Available: https://www.meteoagro.co/. [Accessed: 05-Mar-2019].

[52] Prevencionar, “¿Que es Confort Térmico?” [Online]. Available: http://prevencionar.com.co/2016/05/24/que-es-confort-termico/.