

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO DE VARIABLES DE
FUNCIONAMIENTO EN INCUBADORAS DEL SERVICIO DE NEONATOLOGÍA DE UN
HOSPITAL DE ALTA COMPLEJIDAD DE BOGOTÁ COLOMBIA A TRAVÉS DE
INTERNET DE LAS COSAS IoT**

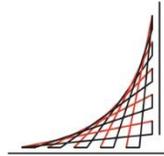
**Laura Vanessa Giraldo Suaza
Andriceth Karime Rodríguez Matías**

Práctica Profesional

**Tutor(es)
M.Sc. Pedro Antonio Aya Parra
M.Sc. Jefferson Steven Sarmiento Rojas**



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2021**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Corporación Hospitalaria Juan Ciudad (Méderi): Historia y servicios	5
1.2. Problema a solucionar	6
2. OBJETIVOS	9
2.1. General.....	9
2.2. Específicos	9
3. METODOLOGÍA	10
3.1. Fases del proyecto	10
3.1.1. Fase 1: Revisión sistemática de la literatura	10
3.1.2. Fase 2: Diseño metodológico.....	11
3.1.2.1. Definición de las variables a medir	11
3.1.2.2. Definición de los criterios de inclusión y exclusión para las incubadoras neonatales.....	11
3.1.2.3. Consideraciones éticas del dispositivo de adquisición	12
3.1.2.4. Proceso de estudio de componentes para desarrollar el dispositivo de adquisición	12
3.1.3. Fase 3: Validación de funcionamiento de los dispositivos de adquisición ...	13
3.1.3.1. Proceso de comprobación de adquisición de la información.....	14
3.1.3.2. Comparación entre dispositivos con protocolo WiFi y Sigfox	15
4. RESULTADOS	16
4.1. Fase 1: Revisión sistemática de la literatura	16
4.2. Fase 2: Diseño metodológico.....	19
4.2.1. Análisis de los sensores	19
4.2.2. Análisis de las tarjetas de desarrollo.....	20
4.2.3. Selección de componentes a utilizar en los dispositivos de adquisición.....	22
4.2.4. Desarrollo de los dispositivos de adquisición	22
4.3. Fase 3: Validación de funcionamiento de los dispositivos de adquisición	24
5. DISCUSIÓN.....	28
5.1. Fase 1: Comparación de protocolos WiFi y SigFox.....	28
5.2. Fase 2: Análisis de funcionamiento de los dispositivos de adquisición.....	29
6. TRABAJOS FUTUROS Y RECOMENDACIONES.....	30
7. CONCLUSIONES	32
REFERENCIAS	33
ANEXOS.....	36

LISTA DE TABLAS

Tabla I: CUADRO COMPARATIVO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS SENSORES DHT11, DHT22 y HTU21.....	20
Tabla II: CUADRO COMPARATIVO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MICROCONTROLADORES ESTUDIADOS.....	21
Tabla III: DATOS REGISTRADOS POR EL DISPOSITIVO CON PROTOCOLO WIFI DE LAS VARIABLES TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	24
Tabla IV: DATOS REGISTRADOS POR EL DISPOSITIVO CON PROTOCOLO SIGFOX DE LAS VARIABLES TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	25
Tabla V: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES POR LOS DISPOSITIVOS.....	27
Tabla VI: CARACTERÍSTICAS COMPARADAS ENTRE PROTOCOLOS WIFI Y SIGFOX.	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama del área de mantenimiento del Hospital Méderi	6
Figura 2. Diagrama de bloques sobre las fases del proyecto.	10
Figura 3. Diseño del dispositivo de captura de información con protocolo WiFi.....	13
Figura 4. Diseño del dispositivo de captura de información con protocolo Sigfox.....	13
Figura 5. Proceso de captura de información desde los dispositivos probados en ambientes normales de trabajo hacia la plataforma de visualización.....	14
Figura 6. Esquemático del montaje realizado para el dispositivo de monitoreo con protocolo WiFi	22
Figura 7. Montaje realizado para el dispositivo de monitoreo con protocolo WiFi	23
Figura 8. Esquemático del montaje realizado para el dispositivo de monitoreo con protocolo Sigfox.....	23
Figura 9. Montaje realizado para el dispositivo de monitoreo con protocolo Sigfox.	24
Figura 10. Flujo de información capturada desde los dispositivos hacia la plataforma.	30

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Corporación Hospitalaria Juan Ciudad (Méderi): Historia y servicios

El presente proyecto se implementó en la Corporación Hospitalaria Juan Ciudad la cual se remonta desde el año 1946 en la creación del Instituto Colombiano de los Seguros Sociales ICSS, institución pública la cual se encargaba de la Seguridad Social de empleados del sector privado con empleo formal, a través de la unidad de negocio salud: aseguramiento y prestación. Sin embargo, con el paso de los años, como el sistema al cual estaban afiliados millones de colombianos, estaba inmerso en una insostenible estructura que reportaba pérdidas inmanejables y servicios de baja calidad, fue necesario que el ICSS fuera liquidado y empezar una gestión de búsqueda de quien asumiría el riesgo de invertir, administrar y hacer la transformación organizacional y de aseguramiento que estos hospitales requerían [1].

La Corporación Hospitalaria Juan Ciudad comienza gracias a la unión de tres instituciones: la Caja de Compensación Familiar Compensar, el Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario (Universidad del Rosario) y la Orden Hospitalaria de San Juan de Dios. La Corporación consta de dos sedes: el Hospital Universitario Mayor y el Hospital Universitario Barrios Unidos, antiguas sedes de la Clínica San Pedro Claver y Clínica Misael Pastrana respectivamente, las cuales iniciaron su operación el 1 de mayo de 2008. Tres años más tarde, con el fin de crear una identidad institucional nace la marca Méderi, la cual busca tener reconocimiento y estar relacionada con sus dos atributos: Hospitalidad y Ciencia [1].

El área de ingeniería biomédica en Méderi se encuentra ubicado dentro del proceso de apoyo administrativo, específicamente en el área de mantenimiento y se encuentra organizado como se muestra en el organigrama de la Figura 1. El rol de los practicantes de ingeniería biomédica dentro del área es fundamental al momento de realizar las siguientes actividades:

- Actualizar las hojas de vida de los equipos y los cronogramas anuales de mantenimiento y metrología.
- Solicitar fichas técnicas de los equipos y tecnología necesaria para el funcionamiento de la institución.
- Acompañamiento a proveedores cuando se realicen los mantenimientos preventivos.
- Apoyo operativo al personal de mantenimiento, sobre todo en mantenimientos preventivos y correctivos, y en las rutinas de recorrido diario.
- Apoyo técnico en actividades de verificación de parámetros y/o calibración, utilización de los equipos patrones de calibración de acuerdo con los procedimientos de seguridad y manipulación y/o instructivos establecidos.

Méderi se caracteriza por tener diversos servicios médicos, dentro de los cuales principalmente se encuentran: urgencias, hospitalización, consulta externa, hemodinamia, radiología e imágenes diagnósticas, unidad de cuidados intensivos e intermedios, neonatología, cardiología y obstetricia. También cuenta con variedad de servicios quirúrgicos, dentro de los cuales, los que más destacan son: cirugía cardiovascular, cirugía maxilofacial, cirugía general, cirugía neurológica, cirugía ortopédica y cirugía urológica [2].

El servicio de neonatología se define como la subespecialidad médica derivada de la pediatría, dedicada al diagnóstico y tratamiento de patologías de los recién nacidos, durante sus 28 primeros días de vida. La Unidad Neonatal presta un cuidado integral a través de un equipo multidisciplinario de enfermería, terapia respiratoria, neonatología y apoyo logístico calificado, y brinda atención en los tres niveles de complejidad: cuidado intensivo con capacidad para 15 camas, intermedio y básico con capacidad para 13 camas [3].

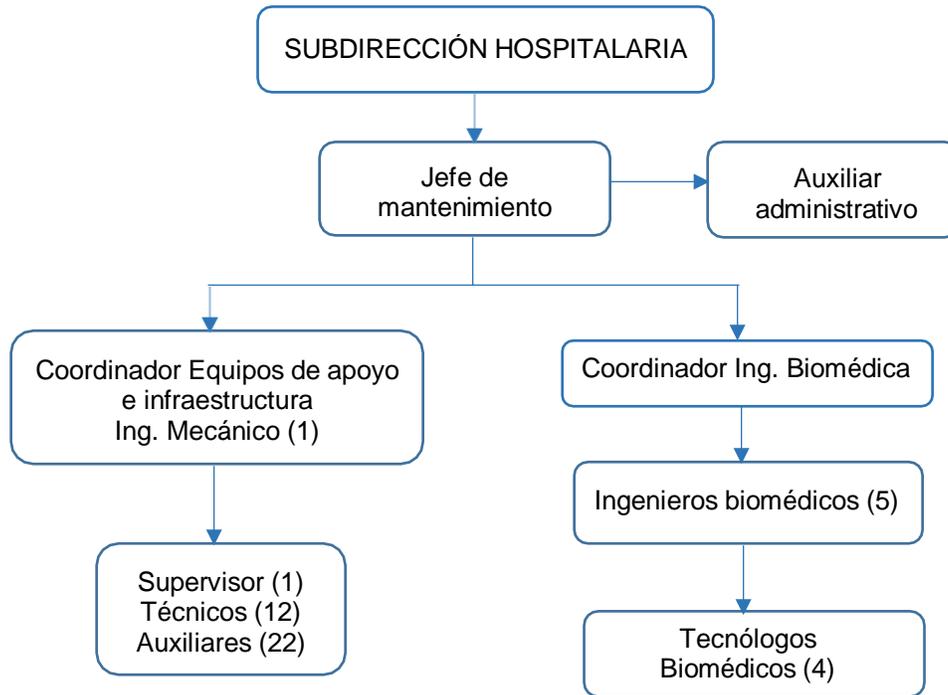


Figura 1. Organigrama del área de mantenimiento del Hospital Méderi.

La Unidad Neonatal cuenta con indicadores que evidencian la alta calidad en la atención brindada, con una tasa de mortalidad neonatal sensiblemente menor a los estándares internacionales de 4.3 x 1.000 recién nacidos vivos y tasas muy bajas de infección asociada al cuidado de la salud [3]. Actualmente, la unidad cuenta con incubadoras cuyo control de condiciones ambientales se realiza de manera manual a horas específicas por parte del personal del servicio, sin embargo, este manejo puede ocasionar inseguridad e incertidumbre en la correcta lectura de las variables medidas por la incubadora: temperatura y humedad relativa, las cuales se encuentran estrechamente implicadas en la calidad de oxígeno presente y la relación de consumo que tiene el bebé [4]. Otro problema presente es el ruido, lo que puede desencadenar en altos niveles de estrés para él bebé y perjudicar su salud.

1.2. Problema a solucionar

Un recién nacido prematuro es aquel que nace antes de completar la semana 37 de gestación, siendo la gestación una variable fisiológica fijada en 280 días. La mayor parte de las muertes neonatales ocurren en recién nacidos prematuros, y la prematuridad es un factor de alto riesgo de deficiencia y discapacidad, con sus repercusiones familiares y sociales [5]. En países de ingresos bajos, la tasa de mortalidad en bebés prematuros se estima entre un

50% y 90% según el grado de inmadurez, relacionado con la dificultad de adaptación extrauterina. Los principales problemas de la prematuridad son: problemas respiratorios, neurológicos, cardiovasculares, metabólicos, inmadurez renal, riesgo a infecciones, pérdidas sanguíneas, hiperbilirrubinemia fisiológica, dificultad en la alimentación, termo-regulación y acidosis metabólica tardía [6]. Una de las alternativas que permiten contrarrestar actualmente estos problemas es el uso de nuevas tecnologías como estrategia de control para las causas básicas de ocurrencia sobre las incidencias más comunes en neonatos.

Las incubadoras neonatales son dispositivos médicos cuya finalidad es generar un ambiente con condiciones óptimas para el desarrollo de un recién nacido [7]. Se usan principalmente en bebés prematuros, ya que aún dependen del vientre materno para poder vivir, es por eso por lo que, al no poder seguir en el vientre materno, las incubadoras simulan un ambiente parecido [8].

Inicialmente, las incubadoras solo suplían necesidades básicas de los recién nacidos, mediante el control de variables como temperatura, humedad y luminosidad. Sin embargo, a pesar de tener un diseño sencillo, eran de manejo complejo para el personal médico, lo cual implicaba mucha atención y un constante chequeo [9]. Es por ello por lo que gradualmente, con el paso del tiempo y el avance tecnológico, se ha trabajado en mejorar aspectos como el diseño, la seguridad y el control preciso de las variables; buscando que el recién nacido tenga más posibilidades de recuperarse y terminar su proceso de formación, a la vez que se posibilite al personal asistencial un manejo más sencillo de las variables medidas [10].

Actualmente, la mayoría de los hospitales y clínicas, cuentan con incubadoras neonatales más seguras y fáciles de manejar por el personal médico, siendo menos propensas a tener fallas y errores por desconocimiento de su manejo [11].

Una incubadora neonatal posee tres componentes fundamentales la cúpula, el chasis y el sistema de control de variables. La cúpula o cubierta es la responsable de aislar al bebé del medio y evitar que el exterior afecte las variables controladas como la temperatura y la humedad, además de las infecciones presentes en el ambiente [10]. La cubierta debe permitir la visibilidad del bebé y estar hecha de un material que no reaccione con el oxígeno, para evitar la corrosión en casos donde es necesaria la oxigenoterapia [9]. El chasis es la base metálica de la incubadora en donde se encuentran los diferentes sensores y la fuente de poder, y sobre el que se localiza el porta-colchón. El chasis debe ser de un material resistente que soporte el peso del recién nacido y el de la cúpula, además de ser altamente termorresistente, para que no se deforme fácilmente debido a las temperaturas que se registran dentro de la incubadora y el chasis [10].

Como se mencionó en el apartado anterior, uno de los servicios médicos encontrados en Méderi es la Unidad Neonatal, la cual cuenta actualmente con incubadoras cuyo control de variables se realiza de manera manual horas específicas por parte del personal médico, situación que genera inseguridad e incertidumbre en la correcta lectura de la temperatura y humedad relativa de la incubadora. Otro problema evidenciado en este servicio es la presencia constante de ruido que puede ocasionar altos niveles de estrés a los bebés perjudicando su salud [12]. Es por ello por lo que, mediante el desarrollo de este proyecto, se busca desarrollar un dispositivo que permita la monitorización de las variables disponibles en las incubadoras (temperatura, humedad relativa y sonido) a través de internet de las cosas (IoT), con el fin de brindar apoyo al personal médico en la toma de medidas de precaución y seguridad durante el cuidado de recién nacidos prematuros, además de que se espera facilitar la comunicación de datos en la Unidad Neonatal mediante el almacenamiento de los

registros de las variables y la notificación a través de alertas si existe alguna anomalía en las variables.

Sin embargo, es importante aclarar que en el presente documento se espera además de desarrollar un dispositivo de monitoreo de variables llegar a comparar dos protocolos de IoT, como lo son WiFi y Sigfox, esto con el fin de comparar un protocolo tan comúnmente utilizado como lo es WiFi, con un protocolo como Sigfox que funciona como una alternativa a la red WiFi. Además, la red Sigfox a diferencia de la red WiFi funciona con la tecnología de transmisión UNB (Ultra Narrow Band) que consiste en emplear canales de ancho de banda pequeños para alcanzar grandes distancias y evitarse interferencias con un requerimiento mínimo de energía [13]. Por otro lado, la red Sigfox cuenta con su propia infraestructura de antenas y de estaciones de base totalmente independientes de las redes existentes y puede llegar a cubrir un área de cobertura bastante grande, cuestiones en las que WiFi puede llegar a fallar. Sin embargo, el protocolo WiFi puede llegar a presentar ventajas frente al protocolo Sigfox, como lo es una transferencia de datos mayor lo que no limita la toma de datos en un tiempo específico [14].

2. OBJETIVOS

2.1. General

Desarrollar un dispositivo de monitoreo basado en Internet de las cosas (IoT), para la captura de variables del funcionamiento de incubadoras (temperatura, humedad relativa y sonido), en el servicio de neonatología de un hospital de alta complejidad de Bogotá, Colombia.

2.2. Específicos

- a) Establecer el estado del arte de la tecnología de internet de las cosas con relación a dos principales protocolos de comunicación.
- b) Definir las características técnicas de los componentes electrónicos que van a hacer parte de los dos dispositivos.
- c) Implementar dos prototipos de monitoreo que permitan la captura de las variables temperatura, humedad relativa y sonido.

3. METODOLOGÍA

3.1. Fases del proyecto

Este proyecto se desarrolló en 3 fases, como se logra visualizar en el diagrama de flujo de la figura 2. La primera fase consistió en realizar una revisión sistemática de literatura sobre internet de las cosas en salud, protocolos utilizados en IoT como WiFi y Sigfox, y proyectos relacionados con monitoreo de variables en incubadoras neonatales. La segunda fase consistió en especificar el diseño metodológico para el proyecto, como lo fue la definición de las variables a medir, los criterios de inclusión y exclusión a tener en cuenta en las incubadoras neonatales en las que se realizarían las pruebas, las consideraciones éticas del dispositivo a utilizar y el estudio de los componentes del dispositivo de adquisición desarrollado. Por último, la tercera fase consistió en especificar como se realizaría el proceso de validación de funcionamiento del dispositivo de adquisición mediante la comparación de la eficacia de envío de la información y lo que se recibe en los protocolos de IoT utilizados (WiFi vs. Sigfox). Cabe aclarar que las fases 2 y 3, se estructuraron en base a los avances ya realizados por los directores del actual proyecto, quienes en representación de la Universidad del Rosario han venido desarrollando la idea con Méderi y el diseño del dispositivo de adquisición.



Figura 2. Diagrama de bloques sobre las fases del proyecto.

Para llevar una mejor ejecución del proyecto, se procedió a especificar un cronograma de actividades mediante el uso de un diagrama de Gantt, en el cual se definieron los periodos de tiempo para las diferentes actividades realizadas en cada de las fases del proyecto anteriormente mencionadas, como se puede observar en el anexo 1.

3.1.1. Fase 1: Revisión sistemática de la literatura

La revisión de la literatura desempeña una labor fundamental en la recopilación y síntesis de la información. Con la revisión de literatura se aproximó al conocimiento sobre los temas a abordar en el proyecto y de paso, al proceso de investigación ya que permitió ayudar a identificar que avances hay sobre el tema y que vacíos existen sobre los temas de interés [15], además permitió identificar otros trabajos similares a este con el fin de orientar de mejor manera los objetivos a alcanzar en el proyecto.

Para el presente trabajo se realizó una búsqueda especializada en bases datos indexadas como Scopus, Springer, PubMed, Scholar y Scielo, y se buscaron artículos científicos, trabajos de grado y conferencias tanto en inglés como en español relacionados

con monitoreo de variables en incubadoras neonatales, internet de las cosas en salud y protocolos utilizados en IoT, enfocándonos sobre todo en los protocolos Sigfox y WiFi. Los términos de búsqueda utilizados en las diferentes bases de datos se conformaron con conceptos expresados en forma de palabras claves y de uno o más operadores booleanos, algunos ejemplos de estos términos fueron: Internet AND Of AND Things AND Neonatal AND Incubator, IoT AND Healthcare, Monitoring AND System AND Neonatal, y (Temperature OR Humidity OR Noise) AND Neonatal. Se incluyeron artículos que hablaran sobre aplicaciones de IoT en incubadoras neonatales con palabras claves como IoT, incubadora neonatal, sistema de monitoreo sanitario, temperatura, humedad o ruido neonatal, y se excluyeron artículos que incluyeran la aplicación de IoT en otro sector diferente al de la salud, publicaciones previas al 2010 y artículos de IoT que no hablaran sobre los protocolos Sigfox y WiFi.

3.1.2. Fase 2: Diseño metodológico

En la presente fase se procedió a definir aspectos importantes a tener en cuenta para desarrollar el dispositivo y ejecutar de manera correcta la adquisición de la información con este. Estos aspectos son explicados detalladamente en cada uno de los siguientes ítems.

3.1.2.1. Definición de las variables a medir

La definición de las variables a medir por el dispositivo de adquisición se basó en torno a las necesidades evidenciadas en el servicio de neonatología, y la inseguridad e incertidumbre que genera el manejo manual por parte del personal médico y los resultados que entrega la incubadora de estas variables. Por lo tanto, las variables a medir y las cuales serán la unidad de análisis son la temperatura, la humedad relativa y el sonido.

3.1.2.2. Definición de los criterios de inclusión y exclusión para las incubadoras neonatales

Para realizar la prueba piloto con el dispositivo de monitoreo de las variables medidas en las incubadoras a través de IoT, se tomarán en cuenta algunos criterios de selección para las incubadoras neonatales. A continuación, se expondrán los criterios de inclusión y exclusión pensados hasta el momento que se tomarían en cuenta:

Criterios de inclusión:

- Incubadoras pediátricas convencionales disponibles en la unidad de cuidado intensivo, cuidado intermedio o básico neonatal del hospital Méderi, con registro sanitario vigente, y clasificadas según el INVIMA en nivel de riesgo IIB.
- Incubadoras en buenas condiciones de uso según control reportado por el área de ingeniería biomédica de la institución.
- Incubadoras no dadas de baja por el departamento de ingeniería biomédica con los cronogramas y fechas de mantenimiento en regla.
- Incubadoras que permitan obtener las unidades de análisis (temperatura, humedad y sonido) en función de los lineamientos definidos por el servicio de ingeniería biomédica de la institución según protocolos y logística establecidos [16].

Criterios de exclusión:

- Incubadoras pediátricas abiertas.

- Incubadoras en uso o con paciente en el servicio [16].

Cabe aclarar que se decidieron tomar en cuenta estos criterios de exclusión debido a que el comprobar el dispositivo en incubadoras abiertas impediría la medición exacta de las variables, adicionalmente este tipo de incubadoras no miden humedad y solo se cuentan con dos en el servicio de Neonatología de Méderi. Por otro lado, en cuanto a porque no realizar pruebas en incubadoras con paciente en el servicio, se especifica debido a que lo que se busca realizar es un estudio que no genere ningún riesgo a los pacientes, es decir, implementar un dispositivo que sirva como apoyo y rectifique las variables de funcionamiento de las incubadoras.

3.1.2.3. Consideraciones éticas del dispositivo de adquisición

El proyecto desarrollado en el presente trabajo según normativa vigente colombiana artículo 11 de la Resolución 008430 del Ministerio de Salud puede clasificarse según su riesgo en la categoría: (a) Investigación sin riesgo, y teniendo en cuenta el artículo 4 de la misma resolución, la investigación para la salud comprende el desarrollo de acciones que contribuyan a: (d) Al conocimiento y evaluación de los efectos nocivos del ambiente de salud. Esto debido a que el presente proyecto se basa en la instalación de sensores y sistemas electrónicos, cuya información es obtenida de manera digital, lo que no genera ningún tipo de residuo tóxico o peligroso, impactando por lo tanto mínimamente al medio ambiente. De igual forma, en este proyecto no se tiene contemplado llegar a realizar pruebas en incubadoras con paciente en el servicio, por lo que, de esta manera, las pruebas se realizaran solo durante el periodo de mantenimiento según el cronograma establecido por la institución, en una cantidad reducida de horas al día y en franjas horarias donde se cuente con el acompañamiento y supervisión directa de los investigadores durante todo el momento de su manipulación y uso. Además, se buscará que el dispositivo de adquisición cumpla con los criterios de bioseguridad establecidos en la normativa nacional y sea verificado por el equipo de ingeniería biomédica de Méderi [16].

El propósito de la presente investigación es llevar a cabo un protocolo con el fin de obtener información indispensable que apoye en el mejoramiento de las actividades realizadas en la actualidad y responder a las necesidades presentes en el servicio de neonatología de Méderi. Por lo tanto, como resultado del proyecto, se espera brindar como beneficio potencial una arquitectura de IoT que permita la aplicación de nuevas alternativas que mejoren la supervisión y gestión de la información sobre el funcionamiento de la incubadora, permita el monitoreo de variables en tiempo real y acceso a la información de forma remota para supervisión y seguridad de los pacientes en el servicio (bebés prematuros) [16].

3.1.2.4. Proceso de estudio de componentes para desarrollar el dispositivo de adquisición

Primero, antes de desarrollar el dispositivo, se tomó en cuenta realizar dos prototipos con el fin de comprobar que protocolo de IoT sería el más adecuado de implementar en Méderi, si Sigfox o WiFi. De igual forma, se considera que el dispositivo cuente con un sensor de temperatura y humedad, una tarjeta electrónica o microcontrolador con una plataforma de desarrollo similar a Arduino con conexión WiFi, una tarjeta con protocolo Sigfox y una batería. Todo este sistema se espera que sea protegido por una cajaplástica de cierto material que sea resistente a altas temperaturas y permeable [16]. El diseño pensado para los dispositivos desarrollados se ilustra paso a paso en la figura 3. Cabe aclarar que en los prototipos

diseñados no se toma en cuenta por el momento el sensor de sonido, esto debido a que por problemas externos su adquisición se ha visto algo atrasada, por lo tanto, no se obtendrán datos sobre esta variable.

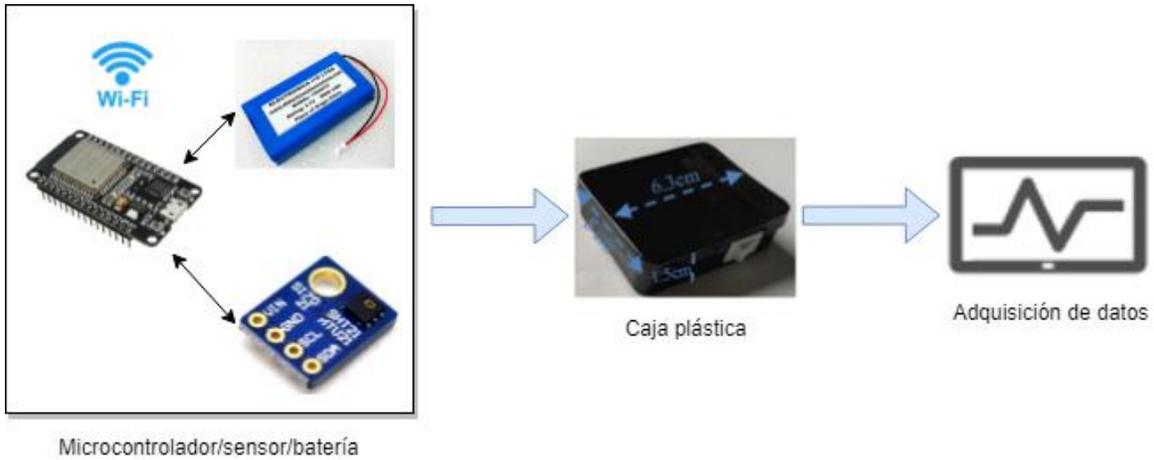


Figura 3. Diseño del dispositivo de captura de información con protocolo WiFi.

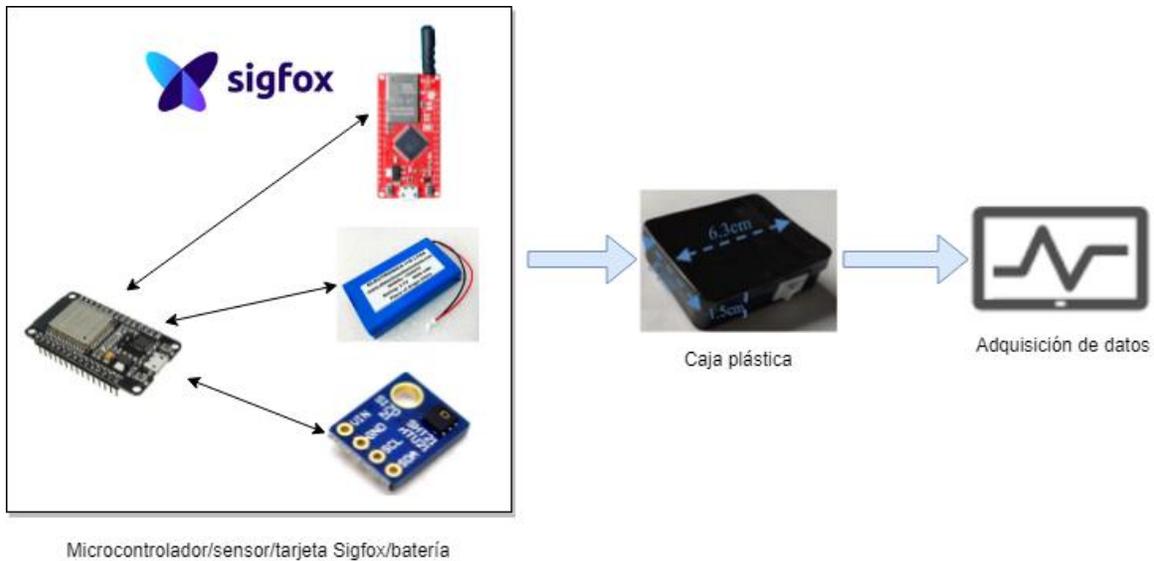


Figura 4. Diseño del dispositivo de captura de información con protocolo Sigfox.

Una vez definidos los componentes necesarios para poder desarrollar los dispositivos, se realizó una búsqueda de los posibles sensores y microcontroladores que podrían utilizarse en los dispositivos. Después de hecha la búsqueda, se realiza una tabla comparativa que demostrará las características técnicas de cada uno de los sensores y microcontroladores, con el fin de poder analizar y seleccionar la mejor opción y llegar a cumplir con el objetivo definido en el proyecto.

3.1.3. Fase 3: Validación de funcionamiento de los dispositivos de adquisición

Dado que en el presente proyecto se buscó desarrollar un dispositivo para la captura de variables del funcionamiento de incubadoras neonatales basado en los protocolos WiFi y Sigfox de IoT, esta fase consistió en validar el funcionamiento de los prototipos diseñados

mediante el desarrollo de pruebas de captura de la información y un análisis comparativo entre los dos protocolos con el objetivo de determinar que protocolo es más viable de utilizar en el dispositivo a implementar. Por lo tanto, a continuación, se explicará mediante los dos siguientes ítems como fue el proceso de comprobación de los dispositivos.

3.1.3.1. Proceso de comprobación de adquisición de la información

Para comprobar que los dispositivos desarrollados con los componentes escogidos realizaran las mediciones de las variables de forma correcta, primero se realizó el código en Arduino para programar la tarjeta de desarrollo. Este código se programó para que la captura de las variables temperatura y humedad fueran cada 10 minutos (600 segundos) tanto en el prototipo con protocolo WiFi como con el prototipo con protocolo Sigfox. De igual forma, se configura la red WiFi a la cual se conectará el dispositivo con protocolo WiFi, y las librerías indispensables para ejecutar el código como son la librería WiFi que permite que la tarjeta de desarrollo se conecte a internet; la librería PubSubClient que permite que la placa se comporte como un cliente MQTT, es decir, que se puedan publicar mensajes y suscribir a un topic o varios para recibirmensajes; la librería Wire que permite comunicarse a la placa por medio del módulo interno I2C, ya sea como maestro a otros dispositivos o como esclavo recibiendo peticiones y respondiendo datos; y la librería SHT2x que permite la conexión de la tarjeta con el módulodel sensor de temperatura y humedad. En cuanto al protocolo Sigfox, la seguridad es muy importante en esta red por lo que al dispositivo diseñado se le asigno un código de identificación, protocolos de encriptamiento VPN y emplea al final el protocolo HTTPS.

Por otro lado, los datos registrados por el dispositivo con protocolo WiFi son registrados en la herramienta de programación Node-RED, la cual permite conectar dispositivos de hardware mediante un editor de flujo donde se puede añadir o eliminar nodos y conectarlos entre sí con el fin de hacer que se comuniquen entre ellos. En cuanto al dispositivo con protocolo Sigfox son registrados en una plataforma especializada supervisada por uno de nuestros tutores de proyecto. Por último, cabe aclarar que los datos registrados por los dispositivos dan en formato hexadecimal, por lo que se realiza la respectiva conversión de los datos a formato decimal para facilitar la interpretación de los datos obtenidos.

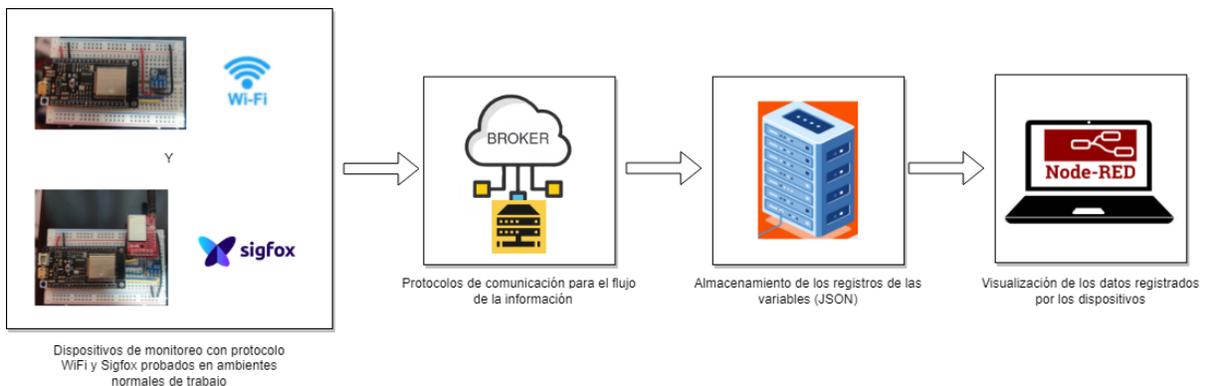


Figura 5. Proceso de captura de información desde los dispositivos probados en ambiente normales de trabajo hacia la plataforma de visualización.

3.1.3.2. Comparación entre dispositivos con protocolo WiFi y Sigfox

En esta parte del proyecto una vez se contó con los datos de las variables medidas por los dispositivos, se realizó una comparación de la eficiencia del envío de la información y lo que recibieron los dispositivos en cada protocolo, esto dependió de la frecuencia de muestreo establecida para los dos dispositivos, la cual fue de 10 minutos. Por lo tanto, para realizar esta comparación se realizó un análisis estadístico de los datos registrados en cada protocolo (temperatura y humedad) en un ambiente normal de trabajo y el tiempo que demora cada protocolo en realizar el envío de los datos. Este análisis estadístico consistió en realizar el cálculo del promedio, moda, desviación estándar, valor mínimo y máximo y rango de los datos registrados en los dispositivos. Cabe aclarar que el análisis estadístico realizado fue de tipo descriptivo ya que lo que se busca es conocer al detalle la información que se obtuvo y la forma en la que se estructura la información, al igual que se busca realizar deducciones directamente a partir de los datos obtenidos.

4. RESULTADOS

4.1. Fase 1: Revisión sistemática de la literatura

Al realizar la búsqueda inicial se obtuvieron 7744 resultados. Después del filtrado de resultados, limitándolo a publicaciones y revistas académicas, y material de conferencias, y de excluir estudios no relacionados con el objetivo, se evaluaron críticamente 12 artículos potencialmente relevantes. Finalmente, dentro de la revisión, 6 artículos fueron seleccionados acorde con los criterios de búsqueda. Los estudios finalmente incluidos fueron publicados entre el 2016 y el 2020.

Los avances realizados en la nueva era de la Internet, denominada Internet de las cosas (IoT), han sido desarrollados de forma vertical y fragmentada, desplegados más bien por áreas específicas de la industria como la salud, el transporte, la producción, el hogar, entre otras. La mayor fortaleza del concepto de la IoT proviene del impacto que tiene y tendrá en los próximos años en la vida diaria y el comportamiento de los usuarios. En el contexto de los usuarios privados el paradigma está teniendo un protagonismo singular en escenarios tales como la domótica, e-health, asistencia doméstica, aprendizaje mejorado, etc. Desde la perspectiva de los negocios tendrá un gran impacto en campos como la automatización y fabricación industrial, logística, gestión de negocios y procesos, transporte inteligente de personas y mercancías, etc [17].

De esta forma, se conocen problemas en el sector salud que han pasado desapercibidos en los marcos de los servicios médicos tradicionales. Sea como fuere, los marcos de trabajo basados en IoT han sido útiles para verificar y analizar la información del paciente sin esfuerzo. En los servicios médicos basados en IoT, diferentes dispositivos apropiados ensamblan, diseccionan y toman un descanso de los datos de restauración en la nube, a lo largo de estas líneas, lo que hace posible recopilar, almacenar y examinar los enormes flujos de información en algunas estructuras nuevas. Esta información que asegura la visión del mundo permite el acceso continuo y universal desde cualquier dispositivo asociado a través de Internet. Es por ello el número tan elevado de arquitecturas y mecanismos de gestión propuestos, los cuales a su vez están conformados por tecnologías, protocolos y estándares diferentes [17].

Un aspecto importante del planeamiento de un proyecto con tecnología de IoT es determinar los protocolos de IoT de los dispositivos, es decir, cómo se conectan y se comunican los dispositivos. En la pila de tecnologías de IoT, los dispositivos se conectan a través de puertas de enlace o de funcionalidad integrada. El tipo de conectividad que se utiliza como parte del protocolo de IoT depende del dispositivo, de su función y de los usuarios. Normalmente, la distancia a la que los datos deben viajar (corta o larga) determina el tipo de conectividad de IoT necesaria. Dentro de los protocolos más utilizados para IoT se encuentra el protocolo WiFi, como una red de corto alcance y bajo consumo, y el protocolo SigFox, como una red de área extensa de bajo consumo (LPWAN) [18].

La red WiFi es una de las opciones más populares para IoT en el entorno hogareño. La mayoría de los hogares disponen de una red WiFi capaz de soportar una docena de dispositivos IoT sin cambiar nada. No obstante, muchos routers pueden fallar o no conectar muchos dispositivos. Los dispositivos IoT WiFi consumen mucha más energía que los dispositivos con otros protocolos más eficientes, por ello para conectar dispositivos que funcionen con batería existe el WiFi HaLow, una versión de bajo consumo y largo alcance

del estándar IEEE 802.11 [19].

Dentro de las ventajas importantes de WiFi es que permite la transferencia de grandes cantidades de datos de manera muy rápida. También con respecto a su velocidad y flujo de datos, de 6 Gbps en WiFi 5 se pasó a 9,6 GBPS aproximadamente, por lo tanto, se podrá pasar más cantidad de información en menor tiempo gracias a la tecnología OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) que permite enviar y recibir más información simultáneamente. WiFi 6 también permite mayores longitudes de transferencia tanto en espectros 2,5 Ghz como en 5 Ghz manteniendo la conexión incluso cuando la red está congestionada [19].

Por otro lado, Sigfox proporciona una forma estándar de recopilar datos de sensores y dispositivos con un único conjunto de API basadas en patrones. Además, la tecnología de Sigfox completa la máquina a máquina (M2M machine to machine) celular tradicional al permitir que sea global, ubicuo y ultra largo lo que permite ofrecer soluciones de duración de la batería al menor costo [20]. Este protocolo de comunicación tiene un gran potencial como solución de conectividad secundaria para permitir menos consumo de batería y mejor experiencia de usuario, ya que, proporciona a la red, la tecnología y el ecosistema experto, que son necesarios para ayudar a las empresas y organizaciones, a aprovechar al máximo la tecnología basada en la internet de las cosas (IoT) basándose en sus principales ventajas respecto a otros protocolos, como se pueden ver a continuación [19]:

- *Comunicaciones de largo alcance:* Hasta 10 km en entorno urbano y 30-35 km en entorno rural.
- *Banda ultra estrecha:* Sigfox usa 192KHz de la banda disponible públicamente para intercambiar mensajes a través del aire. La modulación es banda ultra estrecha. Cada mensaje es de 100 Hz de ancho y transferido con una velocidad de datos de 100 o 600 bits por segundo dependiendo de la región.
- *Acceso aleatorio:* El acceso aleatorio es una característica clave para lograr una alta calidad de servicio, por ejemplo, cuando la transmisión no está sincronizada entre la red y el dispositivo, el dispositivo emite un mensaje en una frecuencia aleatoria y luego envía 2 réplicas en diferentes frecuencias y tiempo, lo que se llama "diversidad de tiempo y frecuencia".
- *Recepción cooperativa:* El principio de la recepción cooperativa es que un objeto no está unido a una estación base específica a diferencia de los protocolos celulares. El mensaje emitido es recibido por cualquier estación base que este cerca las cuales en promedio el número de estaciones base es 3. Esto se llama "diversidad espacial".
- *Mensajes pequeños:* Para abordar las restricciones de costo y autonomía de los objetos remotos, Sigfox ha diseñado un protocolo de comunicación para pequeños mensajes. El tamaño del mensaje va de 0 a 12 bytes, es decir, una transmisión de 12 bytes es suficiente para transferir datos de comunicación, el estado de un evento como una alerta, coordenadas GPS o incluso datos de aplicación.

En el estudio encontrado más relevante se construyó un dispositivo de bajo costo, programado en C++ a través del entorno de Arduino, con sistema de monitorización vía WiFi para monitorear las variables de temperatura y humedad relativa de una incubadora neonatal en el sector de cuidados intensivos neonatales y pediátricos. Los datos fueron transferidos al servidor de ThingSpeak, una plataforma analítica de IoT con una robusta interfaz de programación de aplicaciones (API) abierto que actúa como un host para una variedad de datos enviados al nivel de la nube, y mostrados gráficamente a lo largo del tiempo. El sistema ofrece una alta precisión de monitorización y activa alertas visuales si las variables

monitorizadas sufren oscilaciones no deseadas. Un factor determinante para la eficiencia de este dispositivo fue la frecuencia de actualización de la aplicación web de la variación de temperatura y humedad, donde la interfaz del sistema se actualiza cada 20 segundos, permitiendo el seguimiento de variables desde cualquier parte del mundo mediante acceso a internet [21].

Para probar la precisión del dispositivo, se obtuvieron dos muestras con 35 valores recolectados cada 10 minutos durante 6 horas. Con estos datos, se realizó una prueba t de muestras independientes que no mostró diferencia significativa entre las lecturas de la incubadora ($M = 34.997$, $SD = 0.0382$) y el dispositivo propuesto ($M = 34.974$, $SD = 0.0611$), $p = 0,066$. Es importante notar la pequeña diferencia observada entre los promedios de las muestras, aproximadamente 0.023 °C, lo que demuestra una medición adecuada [21].

Otro dispositivo fue diseñado con una plataforma IoT de código abierto, NodeMCU, que se prefiere considerablemente sobre otras placas debido a su bajo costo, bajo consumo de energía, tamaño reducido y soporte integrado de Wi-Fi. NodeMCU es la plataforma IoT programada en lenguaje de programación C y está conectado a un servidor web a través de Wi-Fi para actualizar sus propios datos y verificar si se le envían comandos remotos. El programa monitorea la lectura de temperatura del sensor de temperatura y humedad cada 0.5 segundos, y el dispositivo de IoT renueva la información enviada desde la incubadora al teléfono cada minuto. En este estudio, los parámetros físicos dentro de la incubadora de bebés se midieron mediante sensores inteligentes sin ningún bebé en el dispositivo y para observar el comportamiento del sistema, se tomaron las lecturas de temperatura y humedad de la incubadora cada 5 minutos. Se demostró la efectividad de la plataforma IoT para monitorear la temperatura y la humedad del dispositivo. El IoT se ha aplicado ampliamente en la interconexión de dispositivos médicos y sensores al ayudar a los médicos a monitorear con precisión la salud de sus pacientes [22].

En la Universidad Pontificia Bolivariana se realizó un estudio en el que se buscó monitorear y controlar variables como la temperatura y la luminosidad dentro de un prototipo de incubadora por medio del sistema microprocesado Arduino Ethernet, que permite enviar los datos de interés a través de Internet a la plataforma virtual que permite el almacenamiento de la información de las variables en la nube y con ello generar alarmas, gráficas en tiempo real y tener aplicaciones del internet de las cosas, ya que se logra una interconexión digital entre los sensores del equipo con Internet; lo cual permitió observar las ventajas que tiene el utilizar el IoT mediante plataformas económicas y de fácil acceso. Los datos medidos con el Arduino se envían a la plataforma virtual UBIDOTS y ésta se recarga cada segundo, de forma que los datos observados en Internet son actualizados constantemente [23].

Todos los estudios elegidos manejan un protocolo de comunicación de internet de las cosas, dando a relucir que cumplen su objetivo de interconectar objetos para la monitorización de parámetros específicas en un entorno variable, en este caso, las incubadoras neonatales, gracias a esto, se puede conocer el estado del neonato en cualquier instante a través de un celular, computador o tableta, mientras se tenga conexión a la red. De igual forma, se pueden analizar aspectos como la eficacia y la eficiencia del protocolo utilizado haciendo diversas comparaciones entre ellos, y como se pudo ver en los estudios, cada uno de ellos cuenta con diferencias significativas que lleven a considerar cuál puede ser mejor o cuál protocolo de comunicación es el más apto para la funcionalidad que se quiera llevar a cabo.

4.2. Fase 2: Diseño metodológico

En esta fase, como se explicó en la metodología, se realizaron tablas comparativas con el fin de determinar que sensor de temperatura y humedad, y tarjeta de desarrollo o microcontrolador escoger para desarrollar los prototipos de los dispositivos con protocolo WiFi y Sigfox. Por lo tanto, esta fase se explicará en los siguientes cuatro apartados, donde se mostrará los análisis realizados a los sensores y microcontroladores, y como con base en los resultados de estos análisis realizamos la escogencia de los componentes más adecuados y se desarrollaron los prototipos de los dispositivos de adquisición.

4.2.1. Análisis de los sensores

Como se mencionó en la metodología, para poder desarrollar los dispositivos de monitoreo basados en IoT que realicen la captura de las variables de funcionamiento de las incubadoras (temperatura y humedad relativa), se realizó una búsqueda de los posibles componentes con los que se podrían desarrollar los dispositivos. A partir de esta búsqueda se evidenció la posible escogencia entre los sensores: DHT11, DHT22 y HTU21. Para poder seleccionar correctamente el sensor de temperatura y humedad con el que se desarrollarían los dispositivos, se analizaron cada una de las opciones en la tabla I, donde se compararon las especificaciones técnicas de cada sensor.

Los sensores DHT11, DHT22 y HTU21 que se comparan en la tabla I, son sensores de temperatura y humedad, fáciles de implementar con cualquier microcontrolador, Arduino o Raspberry. Los sensores DHT11 y DHT22 utilizan un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestran los datos mediante una señal digital en el pin de datos. La diferencia entre estos dos sensores radica en el rango y precisión de las mediciones de cada uno, ya que el DHT22 posee un mayor rango de medición de temperatura y humedad, y una precisión más pequeña lo que indica que posee menor error en la medición que el DHT11. Tal vez una desventaja de estos es la velocidad de las lecturas y el tiempo que hay que esperar para tomar nuevas lecturas, ya que se obtienen nuevos datos una vez cada 2 segundos. Otra desventaja de estos sensores es que su voltaje de operación es poco alto ya que va de los 3V a los 5V, sin embargo, su consumo es bastante reducido, con sólo 1 mA como máximo [27][28].

El sensor HTU21, a diferencia de los sensores DHT11 y DHT22, posee un voltaje de operación menor de los 2.1V a los 3.8V, un rango de medición de temperatura y humedad más amplio (-40°C a 125°C y 0 a 100% RH), una precisión no tan alta y una resolución menor [29]. Aunque el sensor HTU21 puede presentar una precisión de medición de temperatura un poco mayor a la de los sensores DHT11 y DHT22, la salida de temperatura en el rango de -30 a los 90°C tiene una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ [30]. Sin embargo, lo que más destaca de este sensor es su tiempo de sensado, ya que el tiempo que hay que esperar para tomar nuevas lecturas ya no es de 2 segundos como en los sensores DHT11 y DHT22, sino que pasa a ser de 50 milisegundos, siendo por tanto más veloz la obtención de nuevos datos. Adicionalmente, este sensor obtiene sus datos por medio de protocolo I2C, uno de los más utilizados para comunicarse con sensores digitales, ya que a diferencia del puerto Serial que utilizan los sensores DHT11 y DHT22, su arquitectura permite tener una confirmación de los datos recibidos dentro de la misma trama, siendo una ventaja, al igual que la conexión de varios dispositivos al mismo bus [31]. Por último, este sensor es más común y especial para usarse en equipos médicos [29].

Tabla I: CUADRO COMPARATIVO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS SENSORES DHT11, DHT22 y HTU21 [24][25][26].

Especificaciones técnicas	Sensores		
	DHT11 	DHT22 	HTU21 
Voltaje de operación	3V – 5V DC	3V – 6V DC	2.1V – 3.8V DC
Rango de medición de temperatura	0 a 50 °C	-40°C a 80°C	-40°C a 125°C
Precisión de medición de temperatura	±2.0 °C	<±0.5 °C	±3 °C
Resolución temperatura	0.1°C	0.1°C	0.02°C
Rango de medición de humedad	20% a 90% RH	0 a 100% RH	0 a 100% RH
Precisión de medición de humedad	4% RH	2% RH	±2% RH
Resolución humedad	1% RH	0.1% RH	0.04% RH
Tiempo de sensado	2 s	2 s	50 ms

4.2.2. Análisis de las tarjetas de desarrollo

Adicionalmente, se realizó una búsqueda de las posibles tarjetas de desarrollo que se podrían utilizar en los dispositivos, entre los cuales tuvimos en cuenta: Wemos D1 mini, Node MCU y ESP32. Al igual que con los sensores, se analizaron cada una de las opciones a través de la tabla II donde se comparan las especificaciones técnicas de cada una de las tarjetas.

Los módulos Wemos D1 mini, Node MCU y ESP 32 son tarjetas de desarrollo basados en sistemas WiFi, orientados al Internet de las cosas (IoT). Las placas Wemos D1 Mini y Node MCU son plataformas de desarrollo similares a Arduino, tienen como núcleo al SoM (System on Module) ESP-12E que a su vez está basado en el SoC (System on Chip) Wi-Fi ESP8266, tienen un procesador de 32 bits y memoria flash de 4MB, con una resolución ADC de 10 bits. Ambas manejan una velocidad de reloj entre 80 a 160 MHz, siendo una especificación clave debido a que determina la rapidez con la que la unidad central de procesamiento (CPU) puede recuperar e interpretar instrucciones, ayudando a completar las tareas de forma más rápida [32][33].

Los sistemas basados en ESP8266 Y ESP32 tienen unos modos de ahorro de energía que se pueden implementar en los sensores de IoT. En el modo light-sleep se mantiene la conexión WiFi, pero reduce el consumo de energía en los momentos en los que no hay envío de información. Por el contrario, en el modo deep-sleep la única parte de la placa que funciona durante este es el reloj en tiempo real (Real Time Clock o RTC) para poder reiniciarla cuando haya finalizado el tiempo de reposo, es el modo que genera mayor ahorro, pero a costa de dejar la placa en suspenso. En los módulos Wemos D1 mini y NodeMCU el consumo de energía en estos modos son en el orden de miliamperios, mientras que en el ESP-WROOM-32 el consumo en el modo deep sleep es en el orden de microamperios, equivalente a una diferencia significativa.

Tabla II: CUADRO COMPARATIVO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MICROCONTROLADORES ESTUDIADOS [34][35][36].

Especificaciones técnicas	Tarjetas de desarrollo		
	WEMOS D1 MINI	NODE MCU	ESP-WROOM-32
			
SoC	ESP8266	ESP8266	ESP32
CPU	Tensilica Xtensa LX3 (32 bit)	Tensilica Xtensa LX3 (32 bit)	Tensilica Xtensa LX6 (32 bit) (2 núcleos)
Voltaje de operación	2.58V – 3.6V DC (3.3V)	2.58V – 3.6V DC (3.3V)	2.7V – 3.6V DC (3.3V)
Frecuencia de reloj	80/160 MHz	80MHz/160MHz	240MHz
WiFi	IEEE 802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n 2.4 GHz hasta 150 Mbps
Resolución ADC	10 bit	10 bit	12 bit
Pines digitales	11	17	34
Pines análogos	1	1	2
Puertos SPI/I2C/UART	1/1/1	2/1/2	2
Memoria Flash Externa	4 MB	4 MB	4 MB (hasta 16 MB)
Consumo corriente promedio	70mA	~	20µA - 240mA
Light Sleep	0.68 mA	10 mA	~
Deep Sleep	0.17 mA	9 mA	5µA
Dimensiones	35*26*12 mm	49*26*12 mm	18*25.5*3.1 mm
Peso	6 gramos	9 gramos	3 gramos

Por otro lado, el módulo ESP-WROOM-32 es un potente módulo que integra WiFi y Bluetooth. El uso de WiFi permite una comunicación de mediano alcance y conectarse a una red LAN y a través de un Modem Router conexión a Internet, mientras que el Bluetooth permite conectarse directamente a otro dispositivo como un celular. También cuenta con un microprocesador Tensilica Xtensa LX6 de doble núcleo con una frecuencia de reloj de hasta 240 MHz, más rápida que las tarjetas comparadas, además de una conectividad inalámbrica de mayor alcance. ESP32 logra un consumo de energía ultra bajo a través de funciones de ahorro de energía que incluyen sincronización de reloj de resolución fina, como lo es la corriente de reposo del chip, inferior a 5 µA, por lo que es adecuado para aplicaciones de electrónica portátiles con batería [35].

Cabe destacar, la diferencia significativa que tienen las tarjetas en dimensión y peso, dado que son relevantes a la hora de escoger el mejor componente para dicha aplicación. La ESP32 comprende menos espacio, y, pesa tres veces menos que la Node MCU y dos veces menos que la Wemos D1 mini.

4.2.3. Selección de componentes a utilizar en los dispositivos de adquisición

Por lo tanto, con base con lo anteriormente analizado, se determina que el sensor de temperatura y humedad, y la tarjeta de desarrollo adecuados para desarrollar los dispositivos con los protocolos WiFi y Sigfox son el sensor HTU21 y el microcontrolador ESP32. Esto debido a que el sensor HTU21 resulta tener características técnicas mejores que los sensores DHT11 y DHT22, como lo son menor voltaje de operación, mayor rango de medición de temperatura y humedad relativa, precisión no tan alta y menor tiempo de sensado. Por otro lado, el microcontrolador ESP32 resulta consumir menos energía, tener un microprocesador más rápido, pesar y ocupar menos espacio que las tarjetas Node MCUy Wemos D1 mini.

4.2.4. Desarrollo de los dispositivos de adquisición

De acuerdo con los componentes seleccionados, a continuación, se mostrarán y describirán los montajes desarrollados para cada uno de los dispositivos.

Para el dispositivo con protocolo WiFi se realiza el esquemático y montajes presentados en las Figuras 6 y 7, donde se puede observar las conexiones realizadas del microcontrolador, sensor y batería sobre un protoboard. Cabe especificar que la batería empleada corresponde a una batería para dispositivos inteligentes delgada y liviana basada en la química de iones de Polímero de Litio, con una salida nominal de 3.7V a 6000 mAh, compuesta por la combinación de 2 baterías de 3000 mAh, con conector JST-PH y con dimensiones de 75x45x15 mm aproximadamente [37]. El sensor HTU21 posee 4 pines: un voltaje de operación +3.3 V, conexión a tierra (GND), reloj (SCL) conectado al puerto G16 del microcontrolador y la salida de datos (SDA) al puerto G4. El microcontrolador de igual forma cuenta con conexiones en sus pines a voltaje (positivo) y tierra (negativo).

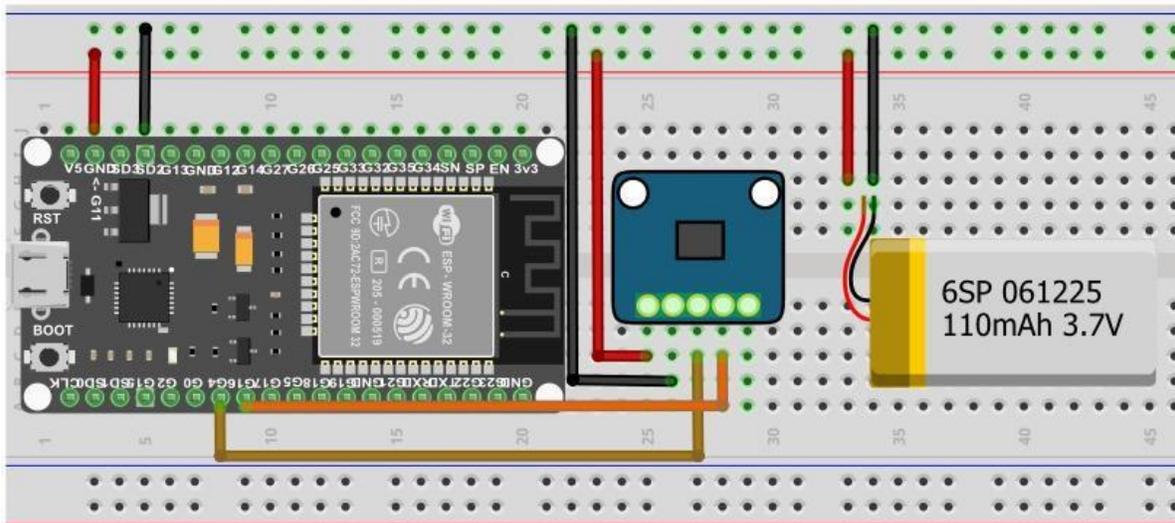


Figura 6. Esquemático del montaje realizado para el dispositivo de monitoreo con protocolo WiFi.

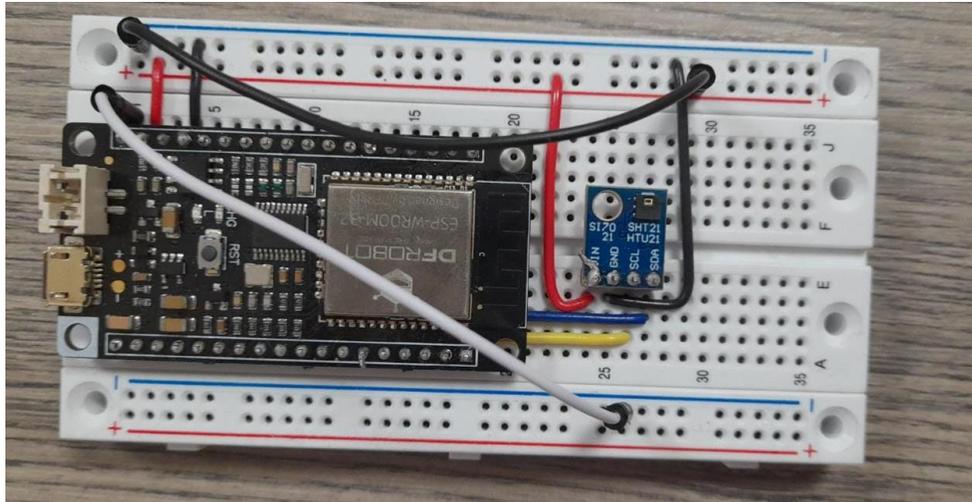


Figura 7. Montaje realizado para el dispositivo de monitoreo con protocolo WiFi.

Por otro lado, para el dispositivo con protocolo Sigfox se realiza el esquemático y montajes observados en las figuras 8 y 9, donde se puede observar también las conexiones realizadas del microcontrolador, sensor y batería con la tarjeta con protocolo Sigfox (UFOX) sobre un protoboard. Al igual que el dispositivo con protocolo WiFi, el sensor HTU21 cuenta con las mismas conexiones con el microcontrolador, sin embargo, se añaden las conexiones del microcontrolador con la tarjeta UFOX, la cual utiliza un protocolo de comunicación serial, es decir que transmite los datos en la línea Tx y recibe los datos por la línea Rx, cuyos pines se encuentran conectados a los puertos SD1 y SD0 del microcontrolador respectivamente, los cuales son exclusivos para ese uso. De igual forma, la tarjeta con protocolo Sigfox se encuentra conectada a voltaje (positivo) y tierra (negativo), y cuenta con una antena integrada con opción de conexión de antena externa por medio conector RF UF-L, y con reconocimiento automático en PC por medio de puerto USB [38].

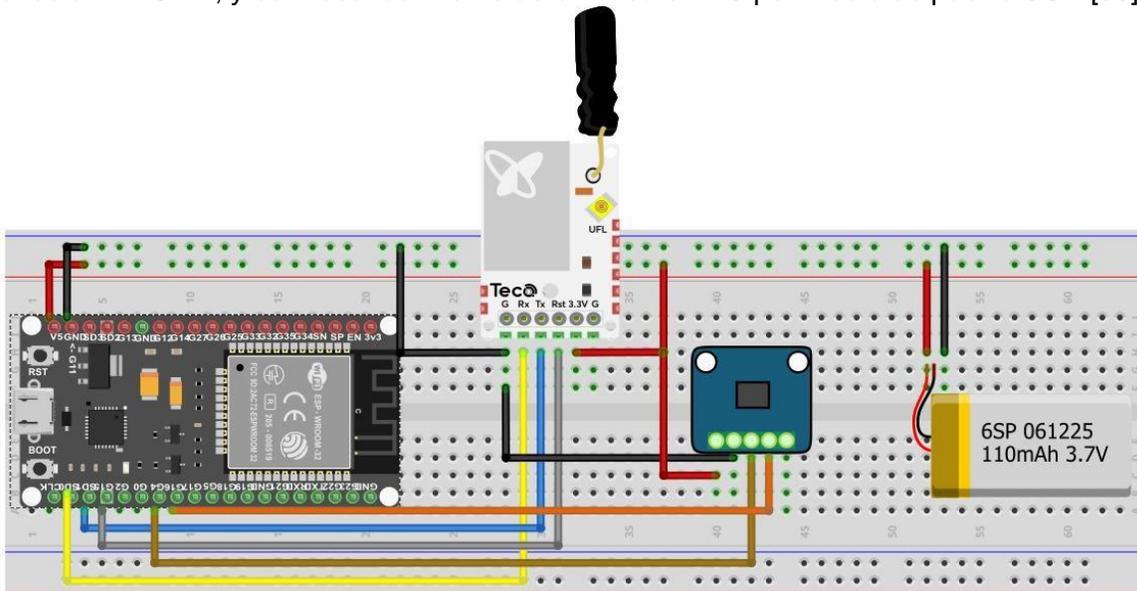


Figura 8. Esquemático del montaje realizado para el dispositivo de monitoreo con protocolo Sigfox.

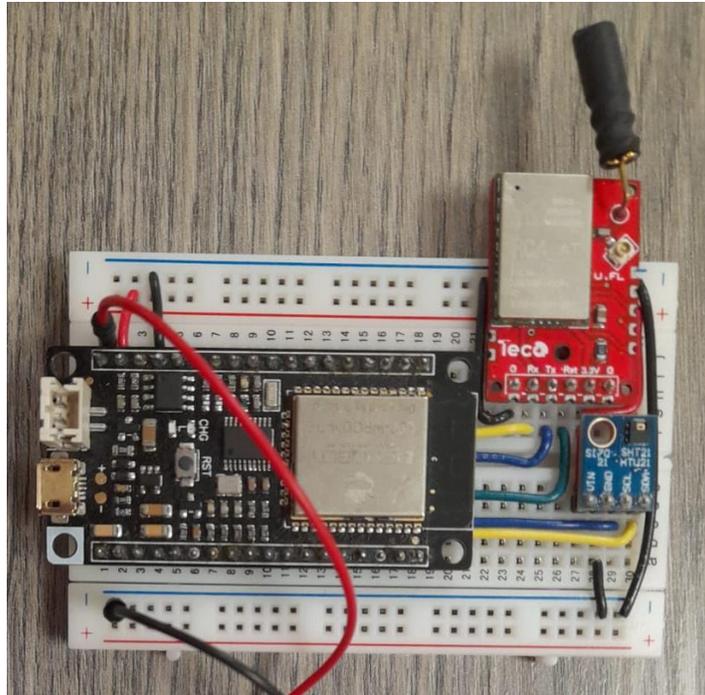


Figura 9. Montaje realizado para el dispositivo de monitoreo con protocolo Sigfox.

4.3. Fase 3: Validación de funcionamiento de los dispositivos de adquisición

Una vez se contaron con los dispositivos montados, se procedió a registrar los datos de temperatura y humedad obtenidos de las tarjetas, al igual que la fecha y hora de cada uno de los registros realizados cada 10 minutos. Como se puede observar en las tablas III y IV, el registro de datos se realizó en dos días diferentes en ambientes normales de trabajo, siendo en el primer día un registro de 4 datos por temperatura y humedad, y en el segundo día un registro de 37 datos por temperatura y humedad comenzando desde las 7:20 a.m. hasta las 15:55 p.m.

Tabla III: DATOS REGISTRADOS POR EL DISPOSITIVO CON PROTOCOLO WIFI DE LAS VARIABLES TEMPERATURA Y HUMEDAD.

Fecha	Hora	Temperatura	Humedad
17/11/2021	10:51:00	20.43	68.81
17/11/2021	11:11:03	20.37	69.55
17/11/2021	11:21:04	20.39	70.61
17/11/2021	11:31:07	20.39	71.19
18/11/2021	7:20:48	20.40	71.42
18/11/2021	7:30:45	19.99	63.20
18/11/2021	7:40:46	19.95	64.22
18/11/2021	7:50:48	19.88	64.42
18/11/2021	8:00:51	19.90	64.21
18/11/2021	8:10:52	19.89	64.13
18/11/2021	8:20:52	19.92	64.42
18/11/2021	8:30:53	19.92	64.75
18/11/2021	9:00:57	19.95	65.14

18/11/2021	9:10:58	20.02	63.61
18/11/2021	10:01:18	20.06	64.05
18/11/2021	10:11:22	21.07	61.05
18/11/2021	10:35:11	20.79	62.46
18/11/2021	10:45:14	20.87	61.83
18/11/2021	10:55:16	20.74	62.50
18/11/2021	11:05:17	20.63	64.63
18/11/2021	11:15:18	20.45	63.35
18/11/2021	11:25:19	20.37	62.83
18/11/2021	11:35:20	20.33	62.90
18/11/2021	11:45:20	20.30	63.31
18/11/2021	11:55:21	20.30	63.84
18/11/2021	12:15:24	20.29	63.71
18/11/2021	12:25:25	20.27	64.59
18/11/2021	12:35:26	20.24	65.00
18/11/2021	12:45:27	20.32	66.20
18/11/2021	12:55:29	20.29	66.64
18/11/2021	1:05:33	20.27	67.51
18/11/2021	1:15:34	20.25	68.70
18/11/2021	1:25:03	20.29	68.58
18/11/2021	1:35:37	20.28	68.72
18/11/2021	1:45:42	20.28	68.86
18/11/2021	2:52:42	20.28	69.83
18/11/2021	3:06:01	21.09	65.04
18/11/2021	3:15:54	20.75	65.71
18/11/2021	3:25:55	20.62	65.82
18/11/2021	3:45:57	20.45	65.05
18/11/2021	3:55:58	20.30	66.35

Tabla IV: DATOS REGISTRADOS POR EL DISPOSITIVO CON PROTOCOLO SIGFOX DE LAS VARIABLES TEMPERATURA Y HUMEDAD.

Fecha	Hora	Temperatura	Humedad
17/11/2021	10:52:00	19.03	65.24
17/11/2021	11:12:03	19.03	65.66
17/11/2021	11:21:14	19.03	65.53
17/11/2021	11:31:27	19.05	64.77
18/11/2021	7:21:48	19.03	65.40
18/11/2021	7:30:55	18.97	65.30
18/11/2021	7:40:56	19.03	65.77
18/11/2021	7:50:58	19.05	66.17
18/11/2021	8:01:01	19.03	66.37
18/11/2021	8:10:58	19.05	66.73

18/11/2021	8:20:53	19.07	67.17
18/11/2021	8:30:55	19.03	66.57
18/11/2021	9:01:07	19.03	65.95
18/11/2021	9:10:59	19.05	65.44
18/11/2021	10:01:48	19.01	65.26
18/11/2021	10:11:42	19.05	65.24
18/11/2021	10:35:31	19.07	64.34
18/11/2021	10:45:54	19.05	64.98
18/11/2021	10:55:36	19.03	66.10
18/11/2021	11:05:47	19.07	60.40
18/11/2021	11:15:28	19.05	58.14
18/11/2021	11:25:29	19.07	59.32
18/11/2021	11:35:40	19.07	60.02
18/11/2021	11:45:30	19.05	61.37
18/11/2021	11:55:51	19.05	61.50
18/11/2021	12:15:14	19.07	61.34
18/11/2021	12:25:55	19.03	62.58
18/11/2021	12:35:16	19.05	64.93
18/11/2021	12:45:47	19.07	65.42
18/11/2021	12:55:49	19.05	67.59
18/11/2021	1:05:53	19.03	67.09
18/11/2021	1:15:54	19.07	69.20
18/11/2021	1:25:23	19.09	70.17
18/11/2021	1:35:47	19.07	70.71
18/11/2021	1:45:52	19.07	70.76
18/11/2021	2:52:52	19.07	70.36
18/11/2021	3:06:51	19.03	69.84
18/11/2021	3:15:24	19.07	68.81
18/11/2021	3:25:35	19.07	67.68
18/11/2021	3:45:37	19.09	68.87
18/11/2021	3:55:48	19.09	69.06

Como se menciona en la metodología, para realizar el análisis de que protocolo de IoT es el más indicado para implementar en el dispositivo se realizará una comparación de los datos registrados por cada dispositivo. Esta comparación consistirá en realizar el cálculo de medidas estadísticas como el promedio, moda, desviación estándar, valor mínimo, valor máximo y rango, al igual que el análisis de las horas de registro de cada uno de los datos de forma que se determine la eficiencia de envío de la información de los dispositivos. En la tabla V se puede evidenciar los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado.

Tabla V: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES POR LOS DISPOSITIVOS

	Protocolo Wifi		Protocolo Sigfox	
	Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad
Promedio	20.33	65.58	19.05	65.69
Moda(s)	20.28, 20.29, 20.30	64.42	19.07	65.24
Desviación estándar	0.30	2.66	0.023	3.10
Valor mínimo	19.88	61.05	18.97	58.14
Valor máximo	21.09	71.42	19.09	70.76
Rango	1.21	10.37	0.12	12.62

De igual forma, al analizar la revisión de literatura realizada sobre los protocolos de IoT abordados en este proyecto, se desarrolla un cuadro comparativo que nos evidencie un resumen de las características que pueden encontrarse tanto en el protocolo WiFi como en el protocolo Sigfox. En la tabla VI, se puede observar esta comparación de características.

Tabla VI: CARACTERÍSTICAS COMPARADAS ENTRE PROTOCOLOS WIFI Y SIGFOX.

Tecnología	Consumo	Alcance	Madurez	Disponibilidad	Usabilidad	Tasa de datos
Sigfox	Bajo	Medio	Alto	Medio	Alta	Muy baja
WiFi	Alto	Bajo	Muy alto	Alto	Alta	Muy alta

5. DISCUSIÓN

5.1. Fase 1: Comparación de protocolos WiFi y SigFox

Sigfox usa una porción de frecuencia de 120KHz en donde envía mensajes en un ancho de banda de 100 Hz cada uno, además la velocidad de transmisión de esta tecnología va desde los 100 hasta 600 bits/s. Dependiendo de la región de implementación usa las siguientes frecuencias de uso libre como la de 868-868.2 MHz en Europa y en el resto del mundo usa la frecuencia de 902-928 MHz. En el caso de Colombia, la última frecuencia es de uso libre y se podría implementar una red Sigfox [39].

Para la comunicación de datos en una red Sigfox existe un protocolo de envío de cortos mensajes que puede ir desde 0-12 bytes según el requerimiento o servicio del dispositivo o sensor. Tienen 12 bytes para la carga que es suficiente para enviar datos de estado de los servicios para la red, sin embargo, permite enviar 140 mensajes al día según la regulación para el uso de este protocolo, y para no llegar al límite diario de mensajes de Sigfox habría que hacerlo cada 10 minutos.

Por otro lado, WiFi utiliza dos bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) gratuitas: 2,4 GHz y 5,8 GHz. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones de Internet de las cosas utilizan 2,4 GHz dado su mejor rango operativo y propiedades, que son lo suficientemente apropiados para la mayoría de los casos de uso de IoT. La banda WiFi de 2,4 GHz utiliza 14 canales con un ancho de banda de 22 MHz cada uno y un espaciado de 5 MHz [40].

Algunas de las principales ventajas del estándar WiFi son la alta difusión e integración de dispositivos, pero, sobre todo, la alta capacidad de transmisión (11-300 Mbit/s), la baja latencia y el rango operativo, lo suficientemente amplio como para cubrir casas pequeñas con un único Punto de Acceso (AP) central, ya que puede alcanzar fácilmente 50 metros de alcance con obstáculos y paredes. En un entorno de espacio abierto libre, la cobertura operativa puede llegar hasta los 100 metros y más. Sin embargo, el mayor inconveniente de los protocolos WiFi es el alto consumo de energía, que, para las aplicaciones de IoT, lo hace adecuado solo para algunos casos de uso muy particulares, como transferencias de datos entre puertas de enlace, nodos que se pueden alimentar desde la red eléctrica o dispositivos con altos tiempos de sueño profundo [40].

Debido a la baja velocidad de transmisión del dispositivo Sigfox, ambos protocolos se han configurado a trabajar en un tiempo de 10 minutos, con el fin de obtener datos en el mismo tiempo y poder realizar una comparación precisa. El consumo de cada una de ellas es mínimo por la configuración de sueño profundo (Deep-Sleep), estas funcionan de modo en que se encienden en el tiempo ajustado (cada 10 minutos), recogen el dato, lo envían y se apagan. Así, los consumos aproximados para el dispositivo Sigfox y WiFi son 240 μ A y 150 μ A, respectivamente, mientras está enviando la información, y luego, cuando entran en modo Deep-Sleep, su consumo baja a 4-5 μ A aproximadamente en ambas tarjetas. Sin embargo, el dispositivo WiFi necesita conectarse a la red, proceso que puede tardar un tiempo si no ha sido configurado con antelación, y que, por ende, puede llevar a consumir mayor energía cada vez que se intente.

Como se pudo ver en la práctica, fue complicado conectar la tarjeta WiFi a la red puesto que todos los puertos de conexión en el hospital manejan doble autenticación, y, por consiguiente, se tuvo que utilizar otro dispositivo que pudiera funcionar como router

inalámbrico y permitiera una conexión de forma.

Teniendo en cuenta las características encontradas entre los protocolos evaluados, se puede observar en la Tabla VI, que nos permite decidir qué protocolo es mejor para esta aplicación, se puede decir que el protocolo SigFox es la opción más viable en esta implementación, a pesar de que tenga tasa de datos más baja, puede llegar a consumir menor energía por su facilidad de conexión, y ser más accesible en el sitio de implementación. Además, que la tecnología SigFox tiene un rango de alcance en orden de kilómetros, a diferencia de la tecnología WiFi que funciona en un límite de metros.

5.2. Fase 2: Análisis de funcionamiento de los dispositivos de adquisición

En las Tablas III y IV se encuentran los datos tomados para cada protocolo y las horas exactas en las que fueron registradas. Como se puede ver, 35 de ellos fueron registrados más rápido por el protocolo WiFi, con un promedio de diferencia de 20 segundos, que puede deberse a su alta velocidad de transmisión, a pesar de que fueron configurados a una misma frecuencia de muestreo. No obstante, esto no quiere decir que sea el más efectivo, ya que no se tienen datos bases con los que se puedan verificar la confiabilidad de los datos.

De la Tabla V, en cuanto a valores mínimos, se evidencia que la tarjeta Sigfox llegóa registrar valores de temperaturas menores a 19°C y valores de humedad menores a 58.2%, a comparación de la tarjeta WiFi, que el valor mínimo que logra registrar es mayor, siendo 19.88°C para la temperatura y 61% para la humedad. En valores máximos, el protocolo WiFi de igual forma logra registrar valores más grandes que el protocolo Sigfox.

Se evidencia también en los resultados obtenidos que la variable humedad en el protocolo Sigfox tiene mayor dispersión con respecto a la media, y que la variable temperatura en el protocolo WiFi tiene mayor dispersión con respecto a la media, teniendo en cuenta el rango y la desviación estándar, sin embargo, estos resultados de dispersión pueden llegar a atribuirse más al lote de sensores utilizados que a los protocolos.

Como ya se mencionó, el análisis estadístico que se logra realizar es una interpretación objetiva de los datos recopilados, pero, no puede llegar a tener una validación del registro de las variables ya que no se tienen datos tomados por algún dispositivo de metrología previamente calibrado.

Para el cálculo de la vida útil de la batería, se debe dividir la capacidad de la batería (mAh) por el consumo total del dispositivo (mA). Se sabe que la capacidad de la batería es de 6000 mAh, y el consumo total es la suma del consumo individual de cada tarjeta empleada, en este caso, 390 μ A que es equivalente a 0.39 mA. Esto nos da 15385 horas estimadas de duración de la batería, es decir, que la vida útil es de aproximadamente 1.76 años, específicamente 1 año y 276 días, si los dispositivos realizan la captura de los datos las 24 horas del día.

6. TRABAJOS FUTUROS Y RECOMENDACIONES

Como el proyecto realizado tan solo tuvo alcance hasta el desarrollo de los prototipos del dispositivo de medición de las variables temperatura y humedad, y la comprobación de estos prototipos en ambientes normales de trabajo. Como trabajos futuros se pretende continuar con el proyecto mediante la realización de pruebas de monitoreo con los dos prototipos diseñados en las incubadoras neonatales. Estas pruebas de monitoreo se tienen pensado realizarlas de la siguiente manera:

1. Mientras el equipo de Ingeniería Biomédica de Méderi realice el mantenimiento preventivo a la incubadora neonatal, se verificará que esta cumpla con los criterios de selección estipulados en el proyecto.
2. Una vez se ha hecho esta comprobación y el respectivo mantenimiento, se procederá a instalar los dispositivos desarrollados en la incubadora.
3. Para el dispositivo con protocolo WiFi se configurará automáticamente a la red inalámbrica más cercana a la incubadora, la cual se pretende sea una red WiFi de Méderi. A diferencia del dispositivo con protocolo Sigfox que se conectará a su red correspondiente.
4. En el momento de inicio de las pruebas de funcionamiento de la incubadora se encenderán los dispositivos y se empezará la adquisición y envío de los datos. La frecuencia de adquisición o muestreo y envío de los datos será, de igual forma, cada 10 minutos aproximadamente. Esta información se registrará también en Node-RED en el caso del dispositivo con protocolo WiFi y en el Servidor de la Universidad del Rosario especializado en el caso del dispositivo con protocolo Sigfox. Los principales datos que se registrarán de igual forma serán: fecha, hora, temperatura y humedad relativa.
5. En el mismo periodo de tiempo, se supervisará la toma de los datos de las variables de forma manual en el mismo intervalo de 10 minutos.
6. Los pasos del 1 al 5 se repetirán con cada una de las incubadoras a las que se les llegue a realizar mantenimiento preventivo.

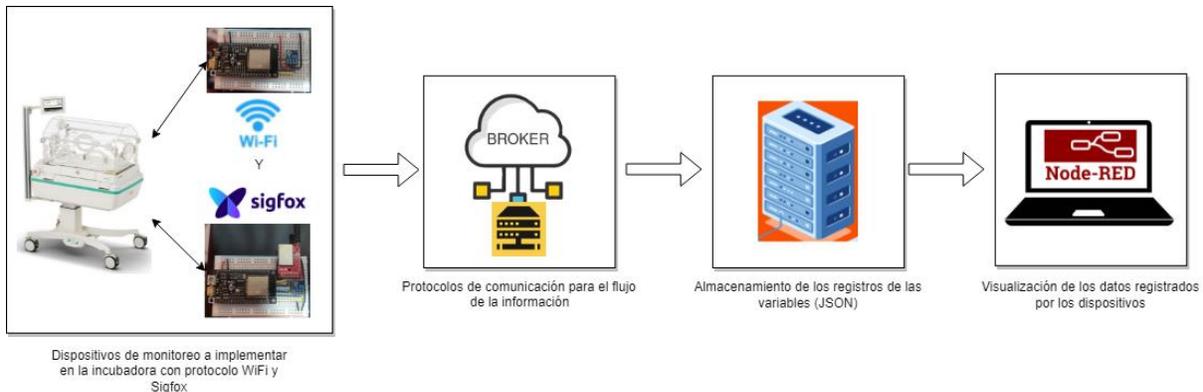


Figura 10. Flujo de información capturada desde los dispositivos hacia la plataforma.

De igual forma, como trabajo futuro se espera desarrollar una interfaz gráfica o plataforma que les permita observar al equipo de ingeniería biomédica de la institución, el comportamiento de las variables adquiridas por los dispositivos y la configuración de las alarmas si desean que sean enviadas vía correo electrónico, mensajes de texto o que solo sean enviadas a través de la plataforma. Por último, aunque no se haya podido implementar por el momento el sensor de sonido se espera en un futuro incluirlo dentro de los dispositivos y

realizar al igual que con el sensor de temperatura y humedad las mismas pruebas de funcionamiento y monitoreo en las incubadoras neonatales.

Por otro lado, se recomienda una vez se hayan realizado las pruebas de monitoreo en las incubadoras, diseñar una caja plástica que proteja todo el sistema con un material como el ácido poliláctico, también conocido como PLA, el cual es un material biodegradable, resistente a altas temperaturas y permeable. Al igual que se recomienda especificar los criterios de bioseguridad del dispositivo, mediante la realización de protocolos de limpieza y desinfección, donde se describan los cuidados, recomendaciones de manipulación y pasos a realizar para la limpieza del dispositivo.

7. CONCLUSIONES

Se pudo implementar un dispositivo de monitoreo basado en internet de las cosas (IoT), para la captura de variables del funcionamiento de incubadoras (temperatura y humedad), aunque su alcance fue limitado dado al corto tiempo de implementación, y que solo se pudo probar en un entorno de trabajo, diferente al servicio de neonatología de la institución de salud.

Se logró compilar el estado del arte de la tecnología de internet de las cosas con relación a dos principales protocolos de comunicación, WiFi y Sigfox. Asimismo, se pudo definir las características técnicas de los componentes electrónicos que hicieron parte de los dispositivos de adquisición de datos.

El protocolo SigFox, a pesar de tener un rango de alcance en orden de kilómetros, tiene una tasa de velocidad de transmisión muy baja dado a su ancho de banda, lo que nos limita en la toma de datos en un tiempo específico, disminuyendo el flujo de información de los parámetros evaluados. Sin embargo, es la opción más viable en esta implementación debido a que puede llegar a consumir menor energía por su facilidad de conexión, y ser más accesible en el sitio de implementación.

Se encontró que los datos fueron registrados más rápido con el protocolo WiFi, con un promedio de diferencia de 20 segundos, que puede deberse a su alta velocidad de transmisión, a pesar de que fueron configurados a una misma frecuencia de muestreo. No obstante, esto no quiere decir que sea el más efectivo, ya que no se tienen datos bases con los que se puedan verificar la confiabilidad de los datos.

También, se puede concluir que el análisis estadístico que se logra realizar es una interpretación objetiva de los datos recopilados, pero, no puede llegar a tener una validación del registro de las variables ya que no se tienen datos tomados por algún dispositivo de metrología previamente calibrado con qué comparar.

REFERENCIAS

- [1] Méderi, “Nuestra Historia”, [En línea]. Disponible en: <https://www.mederi.com.co/sobre-nosotros/historia>.
- [2] Méderi, “Servicios por sede”, [En línea]. Disponible en: <https://www.mederi.com.co/content/servicios-por-sede>.
- [3] Méderi, “Neonatología”, [En línea]. Disponible en: <https://www.mederi.com.co/servicios/servivios-complementarios/salud-sexual-y-reproductiva/neonatalogia>.
- [4] M. Aguilar. Tratado de Enfermería Infantil: Cuidados Pediátricos. 1st ed. Madrid: Elsevier; 2003.
- [5] S. Rellán Rodríguez, C. García De Ribera, M. Paz, and A. García, “El recién nacido prematuro,” 2008, [En línea]. Disponible en: www.aeped.es/protocolos/.
- [6] Organización Mundial de la Salud, “Nacimientos prematuros.”, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/preterm-birth>.
- [7] B. Castrillón *et al.*, “Burbuja Artificial Neonatal (BAN)”. II Congreso Colombiano de Bioingeniería e Ingeniería Biomédica, Bogotá, Colombia, 2005.
- [8] A. Hernández *et al.*, “Sistema e-Salud para el monitoreo de un prototipo de incubadora neonatal,” *Cienc. e Ing.*, vol. 38, pp. 107–112, 2017.
- [9] L. Restrepo Pérez, N. D. Londoño, N. Gómez Suárez, F. González Ramírez, and N. Rivera Bonilla, “Prototipo de incubadora neonatal,” *Ing. Biomed*, vol. 1, 2007.
- [10] I. Zaragoza *et al.*, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE INCUBADORA CONTROLADO POR LÓGICA DIFUSA,” *Comput. Sci.*, 2001.
- [11] Food and Drug Administration (FDA), “Guidance for Industry and FDA Reviewers/Staff,” 2006. [En línea]. Disponible en: <http://www.fda.gov/cdrh/>.
- [12] Restin *et al.*, “Newborn incubators do not protect from high noise levels in the neonatal intensive care unit and are relevant noise sources by themselves”, *Children*, vol. 8, 2021.
- [13] 330 Ohms. “¿Qué es Sigfox y cómo funciona?”, [En línea]. Disponible en: <https://blog.330ohms.com/2017/05/11/que-es-sigfox-y-como-funciona/>
- [14] V. Ferrer. “¿Qué es Sigfox?”, [En línea]. Disponible en: <https://vicentferrer.com/sigfox/>
- [15] S. J. A. Guirao Goris, “Utilidad y tipos de revisión de literatura,” *Ene*, vol. 9, no. 2, pp. 0–0, 2015, doi: 10.4321/S1988-348X2015000200002.
- [16] P. Aya and J. Sarmiento, “Sistema piloto de monitoreo de variables de funcionamiento en incubadoras del servicio de neonatología de un hospital de alta complejidad de Bogotá Colombia a través de internet de las cosas IoT”, Universidad del Rosario y Méderi, Bogotá, Colombia, 2021.
- [17] C. Sinha, K. Mukhopadhyay, H. N. Saha, and S. Auddy, “Health Care using Internet of Things,” *2018 IEEE 9th Annu. Inf. Technol. Electron. Mob. Commun. Conf. IEMCON 2018*, pp. 1337–1345, 2019, doi: 10.1109/IEMCON.2018.8614977.
- [18] Microsoft Azure, “Protocolos y tecnologías de IoT”. [En línea]. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/internet-of-things-iot/iot-technology-protocols/>.
- [19] M. Forero and M. Ramírez, “Revisión sistemática del uso de los diferentes protocolos de interconexión para Internet de las Cosas (IoT),” Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., 2019.
- [20] L. González, O. Sofía, D. Laguía, E. Gesto, and K. Hallar, “Internet del Futuro – Estudio de tecnologías IoT,” *Inf. Científicos Técnicos - UNPA*, vol. 12, no. 3, pp. 105–137, Dec. 2020, doi: 10.22305/ICT-UNPA.V12.N3.744.

- [21] S. P. N. Netto, P. F. S. Chacon, A. M. C. de Morais Junior, C. L. B. de Rubim Costa, and F. L. Brasil, *Remote Monitoring of Temperature and Humidity—A Reliable and Inexpensive Device Development Applied in Neonatal Incubators*, vol. 70, no. 1. Springer Singapore, 2019.
- [22] S. C. Nwaneri, J. W. Sojobi, A. O. Oyelade, and B. N. Ezenwa, “A Low-Cost IoT Based Neonatal Incubator for Resource Poor Settings,” vol. 43, no. 1, pp. 11–20, 2020.
- [23] A. Hernández *et al.*, “Sistema e-Salud para el monitoreo de un prototipo de incubadora neonatal,” *Cienc. e Ing.*, vol. 38, pp. 107–112, 2017.
- [24] Alibaba, “Digital-output relative humidity & temperature sensor/module - DHT11”, 2014.
- [25] Aosong (Guangzhou) Electronics, “Digital-output relative humidity & temperature sensor/module - DHT22”, 2015.
- [26] Measurement Specialties, “Digital relative humidity sensor with temperature output”, 2013.
- [27] TodoMicro, “Sensor de temperatura y humedad DHT11”, [En línea]. Disponible en: <https://www.todomicro.com.ar/insumos/224-sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11-arduino.html>
- [28] TodoMicro, “Sensor de temperatura y humedad DHT22”, [En línea]. Disponible en: <https://www.todomicro.com.ar/arduino/225-sensor-de-humedad-y-temperatura-dht22-arduino.html>
- [29] Electronilab, “Sensor de temperatura y humedad HTU21”, [En línea]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-humedad-y-temperatura-htu21/>
- [30] TodoMicro, “Sensor de temperatura y humedad HTU21D”, [En línea]. Disponible en: <https://www.todomicro.com.ar/investigacion-desarrollo-y-prototipado/790-sensor-de-humedad-y-temperatura-htu21d.html>
- [31] HETPRO, “I2C - Puerto, introducción, trama y protocolo”, [En línea]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/>
- [32] Cdaviddav, E. Hervas, and Arallsopp, “Esp8266 WEMOS D1 minitutorial,” *DIYIOT*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://diyiot.com/esp8266-wemos-d1-mini-tutorial/>.
- [33] Naylamp Mechatronics – Perú, “Wemos D1 mini ESP8266 WIFI”, [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/291-wemos-d1-mini-esp8266-wifi.html>.
- [34] Naylamp Mechatronics – Perú, “Nodemcu v2 Esp8266 WIFI”, [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>.
- [35] Naylamp Mechatronics – Perú, “Módulo ESP-WROOM-32 - ESP32 WIFI”, [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/382-modulo-esp-wroom-32-esp32-wifi.html>.
- [36] Cdaviddav, IonCoder, B. B. Permana, Martin, and D. Pelan, “ESP32 tutorial: What do you have to know about the ESP32 microcontroller?,” *DIYIOT*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://diyiot.com/esp32-tutorial-what-do-you-have-to-know-about-the-esp32-microcontroller/>.
- [37] I+D Electrónica, “Bateria LiPo 6000mAh 3.7V”, [En línea]. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/baterias-cargadores/recargables-1/tipo-lipo-1/3-7v/bateria-lipo-6000mah-3-7v-3173-baterias-pilas-de-litio-polimero-lipo-de-3-7v-1s-recargables-pilas-1s-3-7v-detail>
- [38] Teca, “UFOX”, [En línea]. Disponible en: <https://www.teca.pe/pagina-del-producto/ufox-1>
- [39] H. Toro, “Análisis de Tecnologías de Comunicaciones Inalámbricas para Determinar la Mejor Opción a Implementar para los Servicios que presta la Ditg-Eaab,”

- Repositorio USTA, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/20741/2020hectortoro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [40] Electrodaddy, "Internet de las cosas: Protocolos de Comunicación inalámbricos más comunes en IoT,", 20-Sep-2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.electrodaddy.com/internet-de-las-cosas-protocolos-de-comunicacion-inalambricos-mas-comunes-iot/>.

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de Gantt para las fases del proyecto.

Actividad	Inicio	Final	Duración	Enero a Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
				Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Revisión sistemática de literatura	23/08/2021	15/10/2021	7 semanas																				
Búsqueda de artículos en bases de datos	23/08/2021	5/09/2021	3 semanas																				
Lectura de artículos encontrados	6/09/2021	17/09/2021	2 semanas																				
Selección de artículos con base en los criterios de inclusión y exclusión	18/09/2021	30/09/2021	2 semanas																				
Análisis comparativo y redacción del estado del arte	1/10/2021	14/10/2021	2 semanas																				
Diseño metodológico	15/01/2021	16/11/2021	Aprox 34 semanas																				
Definición de variables a medir	15/01/2021	31/07/2021	Aprox 28 semanas																				
Criterios de inclusión y exclusión	15/01/2021	31/07/2021	Aprox 28 semanas																				
Consideraciones éticas	15/01/2021	31/07/2021	Aprox 28 semanas																				
Estudio de componentes de los dispositivos de adquisición	14/10/2021	21/10/2021	2 semanas																				
Análisis y selección de sensores, tarjetas de desarrollo y batería	22/10/2021	29/10/2021	1 semana																				
Desarrollo de los dispositivos de adquisición	30/10/2021	16/11/2021	Aprox 3 semanas																				
Validación de funcionamiento de los dispositivos de adquisición	17/11/2021	26/11/2021	Aprox 1 semana																				
Periodo de registro de los datos	17/11/2021	18/11/2021	2 días																				
Proceso de comprobación de adquisición de la información	17/11/2021	18/11/2021	2 días																				
Análisis de los datos: Comparación entre protocolos Wifi vs Sigfox	19/11/2021	26/11/2021	1 semana																				