

**SISTEMA PARA MONITOREO Y SUPERVISIÓN DE VARIABLES Y CONDICIONES DE  
FUNCIONAMIENTO EN INCUBADORAS NEONATALES A TRAVÉS DE INTERNET DE  
LAS COSAS IoT.**

**D. ALEJANDRO MUÑOZ JUANIAS**

**Trabajo Dirigido**

**Tutor  
MSc. Jefferson Sarmiento Rojas**



**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO  
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ D.C  
2020**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios todas las oportunidades que me ha brindado en la vida, en este caso permitiendo culminar mi formación de pregrado. A mis padres y familia quienes con su apoyo incondicional me acompañaron durante toda la carrera formándome como persona en especial a mi madre Paola Andrea Juanias, agradezco todo su esfuerzo y anhelo en verme salir adelante. Así mismo quiero agradecer a todas aquellas personas que hicieron posible que hoy en día lograra realizar este trabajo dirigido, el cual representa el camino que ha transcurrido durante estos últimos años en mi proceso de formación académica.

Doy gracias a mi tutor Jefferson Sarmiento Rojas y profesores de la Universidad del Rosario y la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por sus valiosos consejos y comentarios los cuales me ayudaron a culminar este proyecto.

Agradezco a mi amiga Laura Pedreros y la Sra. Gloria Almeciga por todo su apoyo, por haber creído en mí y darme la posibilidad de llegar hasta este punto para culminar con éxito mi carrera profesional.

De la misma manera agradezco a mis amigos y compañeros por la confianza depositada en mí y en mi trabajo, a Paula Wilches, Andrés Casallas, Camila Navarrete, Natalia Ochoa y Juan Guarín, por sus valiosos consejos, compañía, ayuda, tiempo y motivación de continuar con todo el esfuerzo y dedicación que representó este reto de realizar el proyecto, trabajar en paralelo y afrontar un tiempo de crisis y cambio.

Finalmente agradezco las bendiciones recibidas y la posibilidad de poder estudiar, logrando culminar esta etapa de mi vida, formándome exitosamente como Ingeniero Biomédico dispuesto a contribuir, ayudar e impactar a la sociedad y a mi país.

## RESUMEN

**Introducción:** El problema de la prematuridad no solo es considerado como un problema presente en el último tercio del tiempo de embarazo sino que se ha establecido también como una enfermedad de tipo crónica que puede iniciar desde las primeras etapas del embarazo, e incluso antes. El control de temperatura y humedad en bebés con edad gestacional menor a 37 semanas y de peso menor a 1900 gramos, clasificados como bebés prematuros de peso extremadamente bajo ELBW (extremely low birth weight) se ha convertido en objeto de estudio ya que se ha logrado concluir en estudios que evalúan el crecimiento de estos bebés en incubadoras, que el uso de las mismas en condiciones de humedad y temperatura controladas mejora la atención de los lactantes con peso extremadamente bajo al permitir disminuir la ingesta de líquidos, mejorar el equilibrio de electrolitos y mejorar la velocidad de crecimiento, sin una alteración de la temperatura corporal en comparación con la atención en un grupo de estudio en incubadoras y condiciones convencionales [11]. El uso de las incubadoras es recomendado para todo bebé de peso extremadamente bajo, pues por la inmadurez que presentan los recién nacidos prematuros en esta etapa, se ven reflejadas comúnmente complicaciones respiratorias, de temperatura y de alimentación. Este tipo de condiciones de nacimiento requiere especial atención y soporte por parte de especialistas y personal de enfermería, así como la participación de los padres y su involucración en procesos de cuidado del recién nacido, estar al tanto de anomalías y cambios en el bebé.

**Objetivo:** Mediante el desarrollo de este proyecto, se busca crear un sistema de gestión de la información de las variables disponibles en las incubadoras a través del internet de las cosas (IoT), con el fin de brindar apoyo a especialistas y tomar medidas de precaución y seguridad durante el cuidado de bebés recién nacidos prematuros, facilitando la comunicación de datos del área de neonatología e incluso brindando información a los familiares mediante una aplicación de consulta en tiempo real accesible en cualquier momento y en cualquier lugar.

**Metodología:** La realización del proyecto se organizó mediante un cronograma de tareas y actividades específicas cada una con cuatro fases delimitadas. La duración total del proyecto fue de 15 semanas, en las cuales se realizaron 12 actividades cada una con fases de planificación, análisis de riesgos, ingeniería y evaluación, que permitieron lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, definiendo la problemática, ejecutando las ideas desarrollándolas y culminar con los requisitos mínimos óptimos y funcionales para el proyecto. Por último, se incluye la presentación del proyecto realizado ante el tutor y jurados, así como la sustentación de este, exponiendo la totalidad de lo realizado.

**Resultados:** En los resultados del presente documento se recopilan las pruebas realizadas al dispositivo desarrollado con gráficos comparativos del comportamiento en el registro de variables de temperatura y humedad del sensor, tablas de datos con la estadística correspondiente y figuras de las interfaces finales del sistema funcional.

**Conclusión:** Se logró realizar una versión primaria de un sistema de monitoreo para registro de temperatura y humedad y de tamaño adecuado para la aplicación en un entorno especial como lo es una incubadora neonatal. Con los resultados obtenidos y la evaluación de un protocolo de investigación clínica se desea poner a prueba el sistema creado en un entorno real y de esta forma evaluar su impacto.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 La prematuridad y el bajo peso al nacer	10
1.2 La Incubadora y su importancia en el desarrollo del recién nacido prematuro	13
1.3 Participación de la enfermera y de los padres en las salas de neonatología	16
1.4 El Internet de las Cosas (IoT) y su impacto en el sector Salud	18
2. OBJETIVOS	21
1.1. General	21
1.2. Específicos	21
3. METODOLOGÍA	22
Actividad 1. Diseño de arquitectura del proyecto	23
Actividad 2. Selección de materiales del dispositivo	25
Actividad 3. Protocolo de investigación clínica	28
Actividad 4. Diseño del dispositivo	29
Actividad 5. Fabricación del dispositivo	31
Actividad 6. Algoritmo de adquisición de datos	34
Actividad 7. Desarrollo del broker para servidor en la nube	38
Actividad 8. Creación de bases de datos	40
Actividad 9. Diseño aplicación móvil e interfaz gráfica (APP)	42
Actividad 10. Diseño interfaz gráfica en el servidor (NUBE)	45
Actividad 11. Pruebas de funcionamiento	47
Actividad 12. Configuración y comunicación sensor-nube-base de datos-app	49
4. RESULTADOS	51
4.1 Implementación del sensor	51
4.2 Características en el registro de los datos	57
4.3 Rendimiento del sistema	60
4.4 Resultados de la interfaz	61
4.5 Resultados de las pruebas de concepto app iot	65
5. DISCUSIÓN	66
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	7071
7. CONCLUSIONES	723
8. REFERENCIAS	73
9. ANEXOS	767

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proporción de causas de muertes perinatales y neonatales tardías por causas de muerte agrupadas, Colombia, 2019.	12
<b>Figura 2.</b> Descripción general de la operación de la incubadora.	14
<b>Figura 3.</b> Ejemplo de una incubadora comercial	15
<b>Figura 4.</b> Funciones y cuidados de enfermería al niño hospitalizado de 0 a 18 meses de edad.	17
<b>Figura 5.</b> Arquitectura y origen de información en IoMT.	19
<b>Figura 6.</b> Modelo metodológico en espiral para desarrollo de proyectos.	22
<b>Figura 7.</b> Interacción entre la arquitectura y las capas de un sistema basado en IoT.	25
<b>Figura 8.</b> (a) Sensor DHT11 de temperatura y humedad. (b) Batería de polímero de Litio 3.7V. (c) Interruptor/Switch pequeño	26
<b>Figura 9.</b> Prototipo con batería LiPo, módulo ESP8266s-01, interruptor Y Sensor DHT11.	27
<b>Figura 10.</b> Prototipo con baterías alcalinas AAA, módulo ESP8266s-01, interruptor y sensor SHT11.	27
<b>Figura 11.</b> Prototipo con baterías alcalinas AAA, Módulo en arduino (Comunicación Serial), Interruptor y sensor SHT11.	27
<b>Figura 12.</b> Sensor de temperatura y humedad DHT11.	29
<b>Figura 13.</b> Módulo WI-FI ESP866s-01	30
<b>Figura 14.</b> Diseño esquemático del circuito	31
<b>Figura 15.</b> Diseño en Autodesk Inventor del sólido para fabricación de la carcasa del sensor.	32
<b>Figura 16.</b> Impresión 3D para fabricación de la carcasa en PLA. Impresora Ultimaker 3.	32
<b>Figura 17.</b> Resultado de impresión 3D de la carcasa y tapa para el sensor en PLA.	33
<b>Figura 18.</b> Foto del circuito interno del sensor de NidoApp.	33
<b>Figura 19.</b> Diagrama de Flujo del algoritmo realizado para la adquisición de los datos registrados por el sensor.	36
<b>Figura 20.</b> Ejemplo de Nodos y conexiones realizadas en el flujo de Node-Red para comunicación con sensor e interfaz gráfica.	38
<b>Figura 21.</b> Estructura de la base de datos desarrollada (IoTIncubators).	40
<b>Figura 22.</b> Ejemplo de programación en bloque de una de las pantallas (Screen) de la aplicación.	42
<b>Figura 23.</b> Interfaz de diseñador (Página de proyecto) de MIT App Inventor.	42
<b>Figura 24.</b> Diseño de pantalla de registro en versión de prueba.	43
<b>Figura 25.</b> Ejemplo de nodos utilizados para desarrollo de interfaz de escritorio en Node Red (Pantalla Central).	45
<b>Figura 26.</b> Ejemplo de nodos utilizados para desarrollo de interfaz de escritorio en Node Red (Pantalla Menú Especialista).	45
<b>Figura 27.</b> Ejemplo de nodos utilizados para desarrollo de interfaz de escritorio en Node Red (Pantalla Admisión de Paciente).	46
<b>Figura 28.</b> Comparación de medidas entre termohigrómetros y sensor de NidoApp.	47
<b>Figura 29.</b> Interacción entre las capas del sistema basado en IoMT para la arquitectura de NidoApp.	49
<b>Figura 30.</b> Prueba 1 del Sensor - Comportamiento de la Temperatura registrada por el Sensor Vs la Temperatura registrada por termohigrómetro en condiciones	

típicamente invariantes, franjas horarias similares y cuatro días distintos.	50
<b>Figura 31.</b> Prueba 1 del Sensor - Comportamiento de la Humedad registrada por el Sensor Vs la Humedad registrada por termohigrómetro en condiciones típicamente invariantes, franjas horarias similares y cuatro días distintos.	51
<b>Figura 32.</b> Distribución normal de Temperaturas registradas en la prueba 1.	52
<b>Figura 33.</b> Número de muestras que toman valores en los rangos de temperatura.	52
<b>Figura 34.</b> Distribución normal de Humedades registradas en la prueba 1.	52
<b>Figura 35.</b> Número de muestras que toman valores en los rangos de humedad.	53
<b>Figura 36.</b> Curva de regresión que atraviesa la nube de puntos de temperaturas registradas y que mejor se ajusta a estos y ecuación de estimación para posibles valores desconocidos.	54
<b>Figura 37.</b> Curva de regresión que atraviesa la nube de puntos de humedades registradas y que mejor se ajusta a estos y ecuación de estimación para posibles valores desconocidos.	56
<b>Figura 38.</b> Número de veces que entre dato y dato enviado transcurren ciertos intervalos de tiempo. Día 1.	57
<b>Figura 39.</b> Número de veces que entre dato y dato enviado transcurren ciertos intervalos de tiempo. Día 2	57
<b>Figura 40.</b> Número de veces que entre dato y dato enviado transcurren ciertos intervalos de tiempo. Día 3	58
<b>Figura 41.</b> Número de veces que entre dato y dato enviado transcurren ciertos intervalos de tiempo. Día 4	58
<b>Figura 42.</b> Duración total de las baterías hasta su descarga según prueba realizada.	60
<b>Figura 43.</b> Duración en promedio de las baterías según tipo de baterías y rendimiento promedio en general de las baterías en el sistema.	60
<b>Figura 44.</b> De izquierda a Derecha. Acceso a la App, Pantalla de ingreso a la App, Pantalla de Registro como usuario nuevo.	61
<b>Figura 45.</b> De izquierda a Derecha. Menú de Especialistas, Barra lateral opciones, Menú usuario convencional.	61
<b>Figura 46.</b> De izquierda a Derecha. Pantalla Incubadora 1 Seleccionada, Pantalla datos en tiempo real Incubadora, Pantalla registro gráfico Temperatura.	62
<b>Figura 47.</b> Pantalla de Inicio a la aplicación de especialista con botones de funcionalidades.	62
<b>Figura 48.</b> Pantalla principal de central de monitoreo	63
<b>Figura 49.</b> Botón para habilitar gráficas, Información última hora y fecha de registro, indicadores de temperatura y humedad y registro extraído de la base de datos.	63
<b>Figura 50.</b> Botón para ocultar gráficas y mostrar tabla resumen, Información última hora y fecha de registro, indicadores de temperatura y humedad y gráficas de comportamiento de temperatura y humedad.	64
<b>Figura 51.</b> Diagrama de resultados evaluación de concepto	64
<b>Figura 52.</b> Diagrama de resultados evaluación de concepto pregunta 5.	65
<b>Figura 53.</b> Diagrama de resultados evaluación de concepto pregunta 6.	65
<b>Figura 54.</b> Diagrama de resultados evaluación de concepto pregunta 12.	65

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Mortalidad perinatal y neonatal tardía según causas de muerte y grupos de origen, Colombia, Primer semestre 2019	11
<b>Tabla 2.</b> Estadística descriptiva prueba 1.	52
<b>Tabla 3.</b> Prueba de correlación entre las 2 variables de temperatura.	54
<b>Tabla 4.</b> Regresión lineal con los datos de temperaturas.	54
<b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza temperatura, a partir de prueba de regresión.	55
<b>Tabla 6.</b> Prueba de correlación entre las 2 variables de humedad.	56
<b>Tabla 7.</b> Regresión lineal con los datos de humedad.	56
<b>Tabla 8.</b> Análisis de varianza humedad, a partir de prueba de regresión.	56
<b>Tabla 9.</b> Comparación datos enviados correctamente, pérdida de datos y datos dispersos	60
<b>Tabla 10.</b> Datos registrados durante las 4 pruebas a baterías del sistema.	60

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Matriz de selección Diseño elegido según criterios	77
<b>Anexo 2.</b> Formato de registro diario variaciones en Termohigrómetro	78
<b>Anexo 3.</b> Evaluación Usuario Final - Trabajo dirigido	79
<b>Anexo 4.</b> Protocolo de Investigación Clínica	82
<b>Anexo 5.</b> Manual para limpieza y desinfección del sensor de NidoApp	84



## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de atención perinatal y neonatal se han organizado y centrado sus esfuerzos a la atención, protección y preservación de la salud de los bebés en estado de gestación, recién nacidos, bebés prematuros y apoyo de padres antes, durante y después del embarazo. La atención infantil, y más precisamente enfocada hacia los bebés prematuros debido a su complejidad, fragilidad, riesgos inminentes y tasa de mortalidad, requiere de elevados costos en la atención médica, recursos hospitalarios, personal médico apropiado con óptimo desempeño, junto con acceso a los recursos tecnológicos adecuados.

Las Incubadoras son equipos biomédicos que tienen como objetivo brindar al recién nacido (RN) prematuro o pretérmino un ambiente térmico neutro y controlado de forma continua con temperatura y humedad adecuadas para el desarrollo del bebé, el monitoreo y vigilancia de las condiciones ambientales a las cuales está sometido el prematuro y sus signos vitales hace parte de los puntos de buena práctica en los manuales de atención al RN prematuro en Colombia y en el mundo y no como una recomendación en la atención del bebé. De esta manera se establece el monitoreo de dichas variables y condiciones de funcionamiento de estos dispositivos como una necesidad para tener en cuenta durante el tratamiento y desarrollo del RN mientras es atendido.

En la actualidad dentro de los planes de beneficios para las instituciones de salud en Colombia, se contemplan los criterios de inclusión y limitaciones para la evaluación de tecnologías que se ponen a disposición de los profesionales de salud y de pacientes, de esta forma el Sistema General de Salud y Seguridad Social (SGSSS) colombiano, evalúa el impacto de las herramientas en la interacción entre pacientes y profesionales de la salud, sus indicaciones, condiciones de uso y calidad para tener una proyección en la racionalización del gasto en salud y el alcance y efectividad de la atención sanitaria.

En este proyecto se recopila información relevante de cómo el internet de las cosas (IoT) impacta como herramienta al sector salud, el principio de funcionamiento y efecto que tienen las incubadoras en el desarrollo del RN prematuro, las variables ambientales y condiciones vitales adecuadas para el bebé, con el fin de proponer un sistema de monitoreo y gestión de la información basado en IoT, capturando variables del funcionamiento de una incubadora para supervisión del personal asistencial y familiares del RN, para consulta en tiempo real, accesible en cualquier momento y en cualquier lugar dentro y fuera de la institución.

Este documento se encuentra organizado en siete secciones descritas en la tabla de contenido. A continuación, se compilan los conceptos teóricos, estado del arte y antecedentes los cuales delimitan la problemática a trabajar y conceptos que fueron necesarios de abordar para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo.

## 1.1 La prematuridad y el bajo peso al nacer

Se considera un bebé prematuro o pretérmino aquel que no logra completar el tiempo normal de embarazo y cuenta con una edad gestacional menor a 37 semanas; por el contrario, un recién nacido a término es aquel que cumple los tiempos normales establecidos entre 37- 41 semanas [1].

El problema de la prematurez no solo es considerado como un problema presente en el último tercio del tiempo de embarazo si no que se ha establecido también como una enfermedad de tipo crónica que puede iniciar desde las primeras etapas del embarazo, e incluso antes. Como se ha evidenciado con otras enfermedades, existen factores tanto genéticos como ambientales que influyen en la prematurez, se han observado genes en estudios de agregación familiar de los nacimientos pretérmino, influencias en el genotipo de enzimas maternas, y presencia de marcadores bioquímicos en el medio intrauterino y la placenta en las madres [2].

La tasa de mortalidad en bebés prematuros se estima entre un 50% y 80% según el grado de inmadurez, relacionado con la dificultad de adaptación extrauterina, debido a la inmadurez de los órganos y sistemas, varios de 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, termorregulación y acidosis metabólica tardía [1]. La prematuridad es frecuente y responsable de elevadas tasas de morbilidad y mortalidad en salud pública, así mismo se ha identificado la afección a la gestación de mujeres en desventaja social y económica [3]. El grupo de los prematuros es diverso y heterogéneo, ya que incluye a recién nacidos de diferentes edades gestacionales y por tanto con grados de inmadurez y diversos problemas de salud.

La nutrición y dificultad en la alimentación son problemas presentes en los bebés prematuros, el RN prematuro puede ser clasificado de acuerdo al peso como prematuro mediano si se encuentra en una edad gestacional de 30-34 semanas y peso entre 1500g - 2000g y prematuro pequeño el cual tiene edad de gestación inferior a 30 semanas y peso menor o igual a los 1500g, normalmente el bajo peso al nacer se debe a la inmadurez que tienen los sistemas y mecanismos de digestión y su incapacidad gástrica, por ello es necesario brindar soporte mediante un control de infusión alimenticia, sondas nasogástricas, alimentación parenteral y endovenosa. El gasto calórico de cada bebé es estimado individualmente ya que tiene como base diversos factores incluidos edad gestacional, edad posnatal, factor de actividad, factor de estrés y otros, en estos casos el control de temperatura debe ser aún más riguroso para mantener una cifra de crecimiento semejante in útero de aproximadamente 15g diarios. Hay situaciones de estrés que pueden aumentar las necesidades de energía en más de un 50% y que son controlados con la regulación de la temperatura corporal y ambiental del RN, como la sepsis, síndromes de dificultad respiratoria y la cardiopatía congénita [4].

En Colombia el Instituto Nacional de Salud (INS), monitorea el comportamiento de los eventos de mortalidad neonatal y perinatal en todas las regiones del país mediante el proceso de vigilancia en salud pública de la mortalidad perinatal y neonatal tardía, agrupando los principales factores de riesgo y las causas de muerte frecuentes, brindando herramientas para orientar las decisiones en torno a la disminución de la tasa de mortalidad y la mejora de la atención antes, durante y después del nacimiento. La mortalidad perinatal y neonatal tardía es considerado un problema en salud pública porque es un indicador del desarrollo económico y de la calidad de vida de las madres gestantes, los bebés y sus familias, así como de los servicios de salud en términos de acceso, cobertura y la calidad de la atención [5].

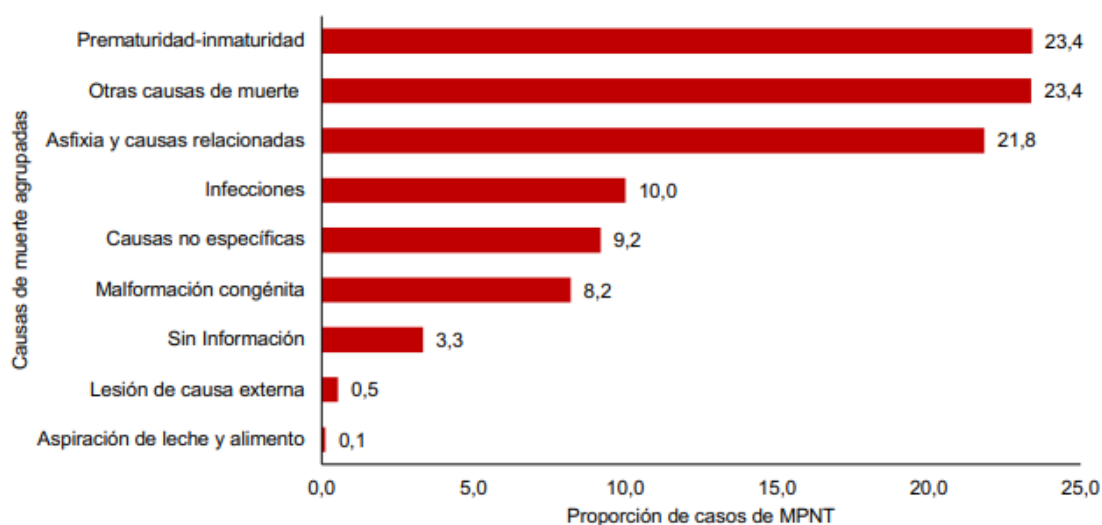
De acuerdo con el análisis de las causas de muertes agrupadas por origen, como se observa en la Tabla 1, las causas de origen neonatal (propias del bebé) son las que agrupan la razón de mortalidad más alta con 4,9 muertes por cada 1000 nacidos vivos, representada por los trastornos relacionados con duración corta de la gestación y con bajo peso al nacer, sepsis bacteriana y asfixia del nacimiento, seguido por las causas de origen materno, causas fetales, causas no específicas, causas placentarias-cordón umbilical, registros sin información y lesiones de causa externa.

**Tabla 1.**  
**MORTALIDAD PERINATAL Y NEONATAL TARDÍA SEGÚN CAUSAS DE MUERTE Y GRUPOS DE ORIGEN, COLOMBIA, PRIMER SEMESTRE 2019. Adaptada de [5]**

<i>Causas de muerte agrupadas por origen</i>	<i>Casos</i>	<i>%</i>	<i>Razón MPNT POR 1000 NV</i>
<b>Causas de origen neonatal</b>	<b>1518</b>	<b>36,9</b>	<b>4,9</b>
Trastornos relacionados con duración corta de la gestación y con bajo peso al nacer, no clasificados en otra parte	395	26	1,3
Sepsis bacteriana del recién nacido	202	13,3	0,7
Asfixia del nacimiento	187	12,3	0,6
<b>Causas de origen materno</b>	<b>846</b>	<b>20,6</b>	<b>2,7</b>
Trabajo de parto prematuro	287	33,9	0,9
Complicaciones específicas del embarazo múltiple	95	11,2	0,3
Trabajo de parto y parto complicados por sufrimiento fetal	72	8,5	0,2
<b>Causas fetales</b>	<b>726</b>	<b>17,7</b>	<b>2,4</b>
Hipoxia intrauterina	359	49,4	1,2
Malformaciones congénitas	339	46,7	1,1
Retardo del crecimiento fetal y desnutrición fetal	28	3,9	0,1
<b>Causas placentarias - cordón umbilical</b>	<b>491</b>	<b>11,9</b>	<b>1,6</b>
Feto y recién nacido afectados por complicaciones de la placenta, del cordón umbilical y de las membranas	208	42,4	0,7
Desprendimiento prematuro de la placenta (abrupto placentae)	83	16,9	0,3
Trastornos placentarios	79	16,1	0,3
<b>Sin información</b>	<b>130</b>	<b>3,2</b>	<b>0,4</b>
<b>Causas no específicas</b>	<b>377</b>	<b>9,2</b>	<b>1,2</b>
<b>Lesión de causa externa</b>	<b>22</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>
<b>Total general</b>	<b>4110</b>	<b>100</b>	<b>13,3</b>

Según el momento de ocurrencia de la muerte, la mayor proporción son muertes perinatales anteparto con 48,2% (1879), seguido de neonatales tempranas con 27,8 % (1082), neonatales tardías con 14,3 % (557) y perinatales intraparto con 9,7 % (380). De acuerdo

con las causas de muerte agrupadas, se observó la mayor proporción en: prematuridad inmadurez y otras causas de muerte con el 23.4% cada una, seguida por asfixia y causas relacionadas con el 21.8% [6].



**Figura 1.** Proporción de causas de muertes perinatales y neonatales tardías por causas de muerte agrupadas, Colombia, 2019. Tomado de: [6]

La tasa de muerte perinatal anteparto e intraparto reportada en Colombia en el I semestre de 2019 superó las tasas reportadas por países como Estados Unidos (6,2) y Chile (3,7). Por otra parte, la tasa de mortalidad neonatal temprana y tardía para Colombia en el I semestre de 2019 se ubica por debajo del comportamiento de países como Haití (28,3), República Dominicana (20,1), Venezuela (19,8), Bolivia (18,5), Guatemala (12,9), Paraguay (11,1), Honduras (10,0), Panamá (8,9), Brasil (8,5), México (7,6), Ecuador (7,5), Perú (7,3), El Salvador (7,1) y Nicaragua (7,1). Y por encima de países como Chile (5,0), Uruguay (4,6) y Cuba (2,2); de acuerdo a lo reportado por la OMS en 2017 [5].

Para Colombia, las políticas de salud materna e infantil se han fortalecido, de forma que se compromete en cumplir los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), los cuales demandan una cobertura universal de la salud para todos. Con esto impactan desde la atención prenatal, intraparto, postparto perinatal y la atención materna para prevención y protección. En el marco de dar cumplimiento a los objetivos de desarrollo se busca que para 2030 se reduzca la mortalidad neonatal al menos hasta 12 por cada 1000 nacidos vivos en Colombia[5].

La atención de bebés prematuros debido a su complejidad, fragilidad, riesgos inminentes y tasa de mortalidad requiere de elevados costos en la atención médica, recursos hospitalarios, personal médico apropiado con óptimo desempeño, junto con acceso a los recursos tecnológicos adecuados ya que a esto se suman la variabilidad inexplicada e indeseable de los resultados obtenidos con el bebé.

Los centros y unidades de maternidad, son espacios adecuados en hospitales donde normalmente se atiende una cantidad considerable de partos al día, cuentan con médicos especialistas en pediatría, de atención de partos y neonatólogos y dichos espacios a su vez se encuentran adecuados con material especial, incubadoras, incubadoras radiantes y suministros médicos (Oxígeno, medicamentos y preparaciones en general) para la atención de neonatos prematuros y con bajo peso al nacer, lo anterior con tal de reducir la tasa de mortalidad en estos grupos de recién nacidos controlando condiciones y complicaciones como la hipotermia, las infecciones, problemas respiratorios y la alimentación mejorando la calidad de la atención en salud de los recién nacidos prematuros y la utilización racional de recursos en su cuidado clínico [7].

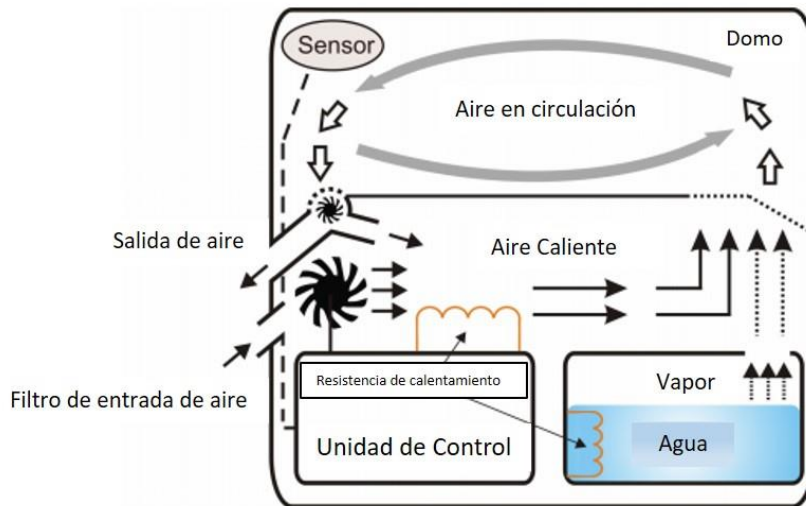
## **1.2 La Incubadora y su importancia en el desarrollo del recién nacido prematuro**

Las incubadoras son equipos biomédicos que tienen como objetivo brindar al recién nacido (RN) prematuro o pretérmino, unas condiciones óptimas para su calidad de vida, dentro de las condiciones vitales requeridas por los bebés es necesario un ambiente térmico neutro, con temperatura y humedad adecuada, lo cual se verá estrechamente implicado en la calidad de oxígeno presente y la relación de consumo que tiene el bebé, además deben estar adecuadas con sistemas confortables para el RN y aislados del ruido [8].

Jean-Louis Denucé un cirujano francés junto con el ginecólogo alemán Carl Credé crearon los primeros diseños originales de la incubadora para bebés luego de que el obstetra francés Étienne Stéphane Tarnier se inspirara en la incubadora para pollos y ubicara en hospitales cunas con sistemas de calefacción (1881). Así mismo, sucesores de Tarnier como Pierre Budin mantienen la reputación de Francia como líderes en medicina neonatal, seguido por Estados Unidos en 1922 donde Julius Hess llega a la fama y es considerado el padre de la neonatología americana [9], [10].

La transformación que ha tenido la incubadora a lo largo de los años desde sus orígenes va ligada a los contextos, grupos sociales y culturas en las cuales se ha visto inmersa, por ejemplo, al salir desde Europa hacia América, en el proceso se registraron cambios en sus dimensiones y formas, con nuevos mecanismos e incluyendo nuevas funciones [10].

El principio de funcionamiento básico, se basa un control de variables como humedad, oxígeno y temperatura, la incubadora se encuentra lista para prestar servicio en cualquier momento; por ende, está conectada a la red eléctrica. El aire del exterior pasa a través de un filtro, este se calienta mediante un sistema de resistencias y llega directamente al habitáculo, las pérdidas de calor se previenen mediante las superficies lisas y esquinas redondeadas del domo.



**Figura 2.** Descripción general de la operación de la incubadora. Adaptado de: [26]

En la actualidad, todas las incubadoras deben garantizar una serie de condiciones para que el bebé esté lo más confortable posible, aislado de ruido y con una temperatura óptima.

- **Temperatura constante:** A pesar de que es una temperatura variable, esta debe tener las menores oscilaciones y cambios posibles pues se debe mantener entre 28 y 34 °C.
- **Control en la concentración de Oxígeno:** La administración de este gas al RN es vital para minimizar riesgos de insuficiencia respiratoria y disminuir lesiones por hipoxia. Así mismo los niveles de saturación de oxígeno (SO<sub>2</sub>) normalmente es monitoreado y ser estables para evitar la cianosis, taquipnea y apnea. (Se debe garantizar una concentración mayor de Oxígeno en la cámara de Hood y menor en el habitáculo).
- **Sistema de Control:** a través de un sensor localizado en la zona suprahepática o abdominal lateral, el servo-control permite la regulación de la temperatura corporal del bebé.
- **Visibilidad:** debe permitir una buena visión del niño desde cualquier ángulo y posición, para poder registrar cualquier cambio de color, movimiento extraño o tipo de respiración.
- **Lavable y desmontable:** Es necesario realizar el cambio de incubadora por una limpia cada 7 días, su desinfección diaria y el cambio de filtro según lo recomendado por el fabricante.
- **Buen acceso y manejo del RN en el interior:** El tiempo de acceso del RN debe ser breve, para reducir la pérdida de calor y oxígeno y evitar cambios bruscos de temperatura, así mismo las compuertas deben permitir la adecuada manipulación del bebé.
- **Confortable:** Debe permitir el descanso para mantener la limitada energía del RN, aislado del mundo exterior, con niveles mínimos de ruido.

Otras características a tener en cuenta son el tipo de acceso para interactuar con el RN, pues debe permitir técnicas de aseo, sondajes, punciones, RX e intubaciones. el colchón puede ser de agua, en fibra o silicona líquida y debe permitir ubicar la posición Trendelenburg [8].

Dentro de las partes que componen la incubadora se encuentran el habitáculo, el gabinete y el grupo motor. El primero se refiere al espacio donde se ubica el RN formado por un metacrilato o plástico transparente, por otro lado el gabinete es una caja de metal o plástica en la parte inferior del habitáculo, donde se encuentra alojado el grupo motor; finalmente, el grupo motor reúne todo el sistema de control de la incubadora por medio del cual es posible regular las funciones programadas como lo son temperatura del ambiente y las alarmas de control de temperatura a la cual se encuentra el bebé [8].



**Figura 3.** Ejemplo de una incubadora comercial

El uso de las incubadoras es recomendado para todo paciente menor a 1900 gramos y a 34 semanas de gestación, pues por la inmadurez que presentan los RN prematuros en esta etapa, se ven reflejadas comúnmente complicaciones respiratorias, de temperatura y de alimentación. Este tipo de condiciones de nacimiento afecta directamente a familiares y padres pues genera un tipo de incertidumbre e impotencia en ellos, surgen preguntas del tipo ¿Qué puedo hacer por mi hijo en este estado? El hecho de no estar preparado para un nacimiento previo los hace convertirse en padres prematuros, por ello muchas de las instituciones con especialidad en neonatología han destacado la importancia de la atención centrada en la familia, y la formación de padres, además de resaltar la gran ayuda que representa involucrar a los padres en la des-complejización de los estados críticos y

hacerlos partícipes de los procesos, convirtiéndose así en padres cuidadores quienes durante su aprendizaje, sirven de apoyo para enfermeros y personal médico [10].

El control de temperatura y humedad en bebés con edad gestacional menor a 37 semanas clasificados como bebés prematuros de peso extremadamente bajo ELBW (extremely low birth weight) se ha convertido en objeto de estudio ya que se ha logrado concluir en estudios que evalúan el crecimiento de estos bebés en incubadoras, que el uso de las mismas en condiciones de humedad y temperatura controladas mejora la atención de los lactantes con peso extremadamente bajo al permitir disminuir la ingesta de líquidos, mejorar el equilibrio de electrolitos y mejorar la velocidad de crecimiento, sin una alteración de la temperatura corporal en comparación con la atención en un grupo de estudio en incubadoras y condiciones convencionales. Permite a su vez controlar la ingesta de líquidos al usar estos dispositivos, mejorando los beneficios y reducir el riesgo de patologías como la displasia broncopulmonar y displasia broncopulmonar severa [11].

### **1.3 Participación de la enfermera y de los padres en las salas de neonatología**

Se ha convertido en objeto de estudio y así mismo se ha evidenciado la importancia del vínculo familiar y las relaciones madre-hijo durante el periodo de gestación y aún más en una etapa de prematuridad, ya que este tipo de relación apoya el desarrollo y crecimiento del bebé y a su vez estimula procesos naturales como la producción de leche materna.

Por ello, la participación de los padres en el área de maternidad cada vez es más importante, les permite involucrarse en procesos de cuidado del RN, estar al tanto de alarmas, anomalías y cambios en el bebé reduciendo la impotencia y ansiedad que tienden a sentir en su posición [10].

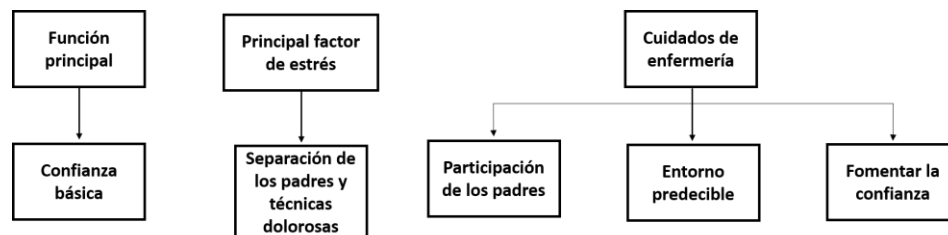
Existe evidencia observacional analítica por vigilancia epidemiológica, experimental y resultados de investigación cualitativa llevado a cabo en áreas de neonatología que sugieren que las políticas de dichas instalaciones en unidad abierta (padres pueden entrar a cualquier hora y permanecer el tiempo que deseen y estar con su hijo) favorece el vínculo. Esto además es valorado por los familiares, empodera y responsabiliza a los padres, permite acceso al bebé llevando a cabo el método madre canguro y se refleja o es traducido hacia el bebé en un mejor crecimiento, maduración, egreso neonatal oportuno y mejores competencias de los padres para el manejo de su bebé prematuro luego de dejar las instalaciones. Esto estimula y favorece la lactancia materna, el vínculo precoz y mutuo (vínculo y apego seguro) entre el bebé y sus padres. Así mismo se ha demostrado que las políticas de unidad abierta no incrementan riesgos de infección u otros desenlaces desfavorables y son mayores los beneficios que esto aporta [12].

El cuidado del enfermero pediátrico y neonatal no se centra únicamente en el bebé sino también en los padres y familiares, el tipo de atención por parte del personal en los hospitales ha evolucionado a tal punto que se promueve el cuidado y atención centrado en la familia. Este principio de cuidado se basa en la creencia de que la familia es el eje central de la vida del niño y debe ocuparse de su crianza y cuidado. Dentro de los componentes básicos que definen la atención centrada en la familia están: 1.) Reconocer que la familia es constante en la vida del niño, mientras que el personal y servicios de salud son



ocasionales y fluctúan. 2.) Facilitar la colaboración entre padres y profesionales de salud en todos los ámbitos de atención, pues acá el profesional sirve como instructor, fuente de información y facilitador de una participación de los padres. 3) Compartir la información completa con los padres. Eliminando así la impotencia y dependencia del personal sanitario a medida que hay una evolución. 4.) Políticas y programas apropiados amplios y de apoyo emocional y económico para las necesidades de las familias. 5.) Reconocimiento de habilidades y fuerzas de la familia e individuos. Recalcando acá las fortalezas del niño y las estrategias frente a la situación. 6.) Incorporación de las necesidades de desarrollo de los lactantes, niños, adolescentes y sus familias a los sistemas de salud. 7.) Favorecer el apoyo padres a padres. este apoyo entre padres es diferente al proporcionado entre especialistas - padres, pues entabla relaciones, contactos, experiencias e intercambio de habilidades. 8.) Diseño de sistemas de salud flexibles, accesibles y que responden a las necesidades de las familias. Convirtiendo la hospitalización en una experiencia de aprendizaje positiva ya que puede estar presente de forma pasajera en algún momento de la vida [13].

La respuesta de un bebé prematuro a su hospitalización está en función al desarrollo de sus sistemas y capacidades frente al estrés sometido. Este tipo de situación puede interrumpir el desarrollo familiar cambiando las perspectivas de un momento a otro. Por ende, uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta es el favorecimiento del estímulo, interacción y cuidado de los padres con su hijo ya que esto ofrece un entorno conocido y parecido al normal haciendo que se minimicen las amenazas que puede percibir, en la figura 4 se describen las principales funciones y cuidados del bebé de 0 a 18 meses de edad hospitalizado [14].



**Figura 4.** Funciones y cuidados de enfermería al niño hospitalizado de 0 a 18 meses de edad. Tomado de: [14]

La seguridad del paciente hace parte de las prioridades de los sistemas de salud en Colombia. Actualmente el principal objetivo de las instituciones de salud es de prevenir eventos adversos durante la atención de los neonatos en su etapa de desarrollo, donde se encuentra más vulnerable a sufrir lesiones durante su hospitalización [15]. Es por ello, que la actual propuesta está enfocada a implementar medidas de seguridad específicas para evitar riesgos durante el cuidado de pacientes; el Internet de las Cosas (IoT) se ha convertido en una ficha fundamental en la continua interacción que tenemos entre los diferentes dispositivos tecnológicos “cosas” con los cuales convivimos e interactuamos día a día. De esta manera, el uso del internet como medio de transporte facilita la comunicación (datos) entre objetos o cosas [16]. En relación con lo anterior, las “cosas” (para este caso particular) se referiré analógicamente a las variables de funcionamiento y que, por medio de dispositivos inteligentes, sea capaz de comunicarse en su contexto (ambiente

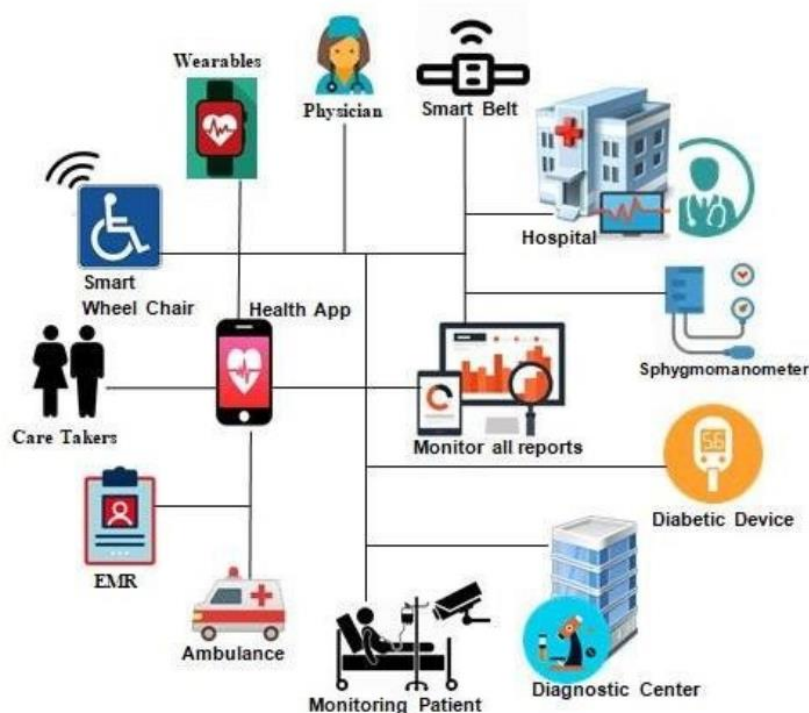
hospitalario) y pueda compartir información con otras cosas (central de control), haciéndolo accesible en cualquier momento y en cualquier lugar de la institución e incluso a los familiares más cercanos [17].

#### **1.4 El Internet de las Cosas (IoT) y su impacto en el sector Salud**

El internet de las cosas surge como una de las herramientas en la interacción entre pacientes y profesionales de la salud, pues a través de estas se habilitan canales para que médicos en hospitales puedan monitorear de forma remota la salud de los pacientes continuamente de forma fácil y eficiente y actuar en consecuencia a la información recibida, impactando principalmente en la reducción de costos en atención médica, reducción en la estadía en hospitales, reingreso de pacientes y la mejora en resultados de tratamientos[18].

Según un informe de Aruba Networks una compañía vinculada a Hewlett Packard, el 87% de las organizaciones sanitarias habrían adoptado IoT a finales del 2019, transformando la industria sanitaria [19]. El internet de las cosas permite que profesionales de la salud obtengan datos de dispositivos médicos, aplicaciones móviles e incluso chips integrados como apoyo a un diagnóstico de forma rápida e incluso llenando vacíos de información de eventos que muchos pacientes no recuerdan [20].

Dentro de los beneficios que tiene el IoT aplicado a cosas médicas (IoMT) es que disminuyen los costos de asistencia en salud, reducen errores en el diagnóstico debido a una mejora en los datos e información, mejora la experiencia del paciente y ayuda a los pacientes a adherirse a los tratamientos todo esto a través de un manejo de datos en la nube mediante aplicaciones desarrolladas para la salud e incluso integrando dispositivos y equipos médicos directamente a bases de datos, algunos ejemplos pueden ser apreciados en tecnología vestible las cuales se basan en sensores que por ejemplo son adheridos a sábanas, vestidos o vendas y monitorean presión, humedad o pulso indicando el cambio de una sábana o de una venda del paciente. Los datos clínicos relacionados con el paciente se observan y procesan de forma remota en por medio de un sistema de datos en tiempo real y luego se transfieren al especialista o tercero para su uso futuro [21].



**Figura 5.** Arquitectura y origen de información en IoMT. Tomado de [27]

La computación en nube es bastante utilizada en los sistemas de IoMT, este concepto hace referencia al acceso de los recursos por medio de la red desde cualquier lugar y cada vez que sea solicitado (por demanda), se destaca por su implementación para reducir los tiempos de trabajo y los costes a través de la conexión de dispositivos inteligentes a internet, incluso el auge y diversidad de aplicaciones la hace versátil y apetecida para entornos de atención médica, de tal forma que se crean sistemas de seguimiento y control de pacientes en hospitales y clínicas, que facilitan la toma de decisiones del personal médico y administrativo y aporte a su vez a la telemedicina e investigación. Las tecnologías inalámbricas comúnmente utilizadas en estos sistemas de sensado de variables biomédicas, se basan en estándares de red: WPAN, WBAN, MBAN; tecnologías de redes inalámbricas como: Wi-Fi, WiMAX, ZigBee, Bluetooth, ANT; sensórica de tipo: ultrawideband (vestibulares), sensores ingeribles, y electrónica epidérmica, vendas inteligentes, incluso aplicaciones de teléfonos inteligentes; tecnología de tipo: RFID, RTLS e IPS; así como también diversas arquitecturas para su interconexión y comunicación[22].

Los datos de un paciente en tiempo real permiten a estos sistemas recopilar y procesar datos del paciente que puede en algunos casos permitirles a profesionales anticipar los problemas de salud y realizar intervenciones sensibles al tiempo [20]. La investigación y el desarrollo de dispositivos inteligentes portátiles (SWD, Smart Wearable Devices) para servicios personalizados (la salud es un ejemplo de ello) han motivado a los gobiernos y las agencias de investigación de todo el mundo en los últimos años. Europa, Estados Unidos y Asia se han interesado bastante en financiar proyectos de investigación en E-Health y TIC[23].

Durante el Mobile World Congress (MBW) en Barcelona del 2015 se presentó BabyBe, el prototipo de un colchón biónico de tecnología Wearable (Vestible) en gel desarrollado por Intel, que se coloca en las incubadoras y permite conectar a las madres con sus bebés prematuros, el colchón simula el comportamiento natural de la madre ya que el sistema cuenta con un accesorio a modo de sensor que se coloca en el pecho y mide parámetros como su respiración y latidos del corazón así como sonidos de su voz entre otros y se traduce en movimiento, vibraciones y estímulos que percibirá el bebé dentro de la incubadora. La justificación para su realización radica en que durante el tiempo que lleva el bebé en el vientre de la madre está sometido a un ecosistema de condiciones diferentes a las de un ambiente netamente clínico, y eso se ve reflejado en el desarrollo y crecimiento que el bebé puede tener luego de su nacimiento estimulando a su vez el desarrollo normal de los sistemas neurosensoriales del bebé [24].

Por otro lado en la unidad de cuidados intensivos (UCI) de neonatología del hospital Clínic de Barcelona se realizó una iniciativa donde se instalaron cámaras para que los padres pudieran monitorear continuamente a través de una cámara web durante las 24 horas del día a sus hijos prematuros, en esa prueba piloto la jefa de gestión de enfermería afirmó que con este tipo de herramientas se contribuye a la disminución de la ansiedad que los padres sienten cuando ingresan sus hijos a las instalaciones y como las estancias pueden durar meses muchas veces los padres no pueden estar in situ con sus hijos. En esta prueba se evidenció que contribuyó al descanso de padres, y su salud psicológica [25].

Mediante el desarrollo de este proyecto, se busca crear un sistema de gestión de la información de las variables disponibles en las incubadoras a través del internet de las cosas (IoT), con el fin de brindar apoyo a especialistas y tomar medidas de precaución y seguridad durante el cuidado de bebés recién nacidos prematuros, facilitando la comunicación de datos del área de neonatología e incluso brindando información a los familiares mediante una aplicación de consulta en tiempo real accesible en cualquier momento y en cualquier lugar.

## 2. OBJETIVOS

### 1.1. General

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo y gestión de la información basado en internet de las cosas, capturando variables del funcionamiento de una incubadora para supervisión del personal asistencial y familiares del RN.

### 1.2. Específicos

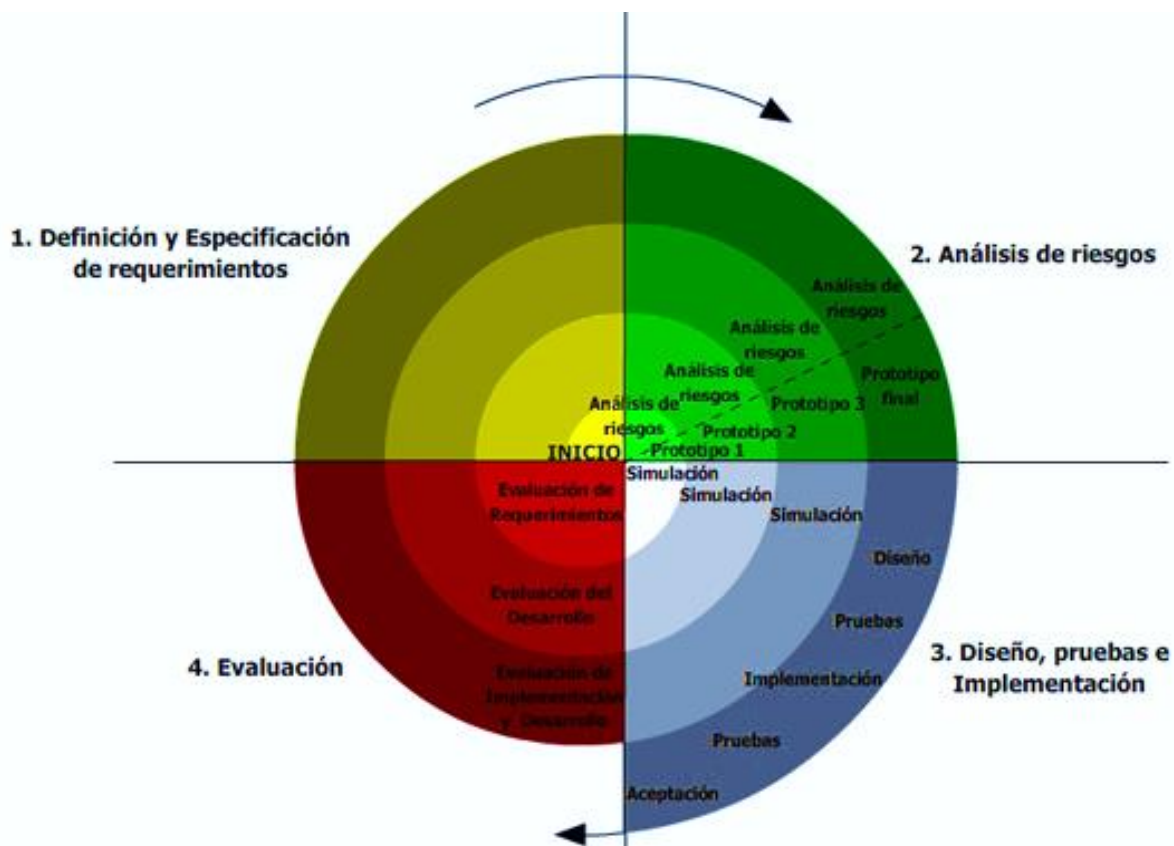
- a) Definir e implementar la arquitectura adecuada al proyecto para la captación y recolección de datos de las variables en el ambiente clínico.
- b) Diseñar un método para realizar trazabilidad en las mediciones registradas para obtener un monitoreo constante del funcionamiento del dispositivo y de las condiciones en las cuales se encuentra el RN, permitiendo la gestión de la información durante un tiempo determinado.
- c) Desarrollar un sistema con interfaz gráfica para la visualización y monitoreo de la incubadora, mediante protocolos de comunicación y conexión a través de IoT con acceso a usuarios autorizados (personal médico y familiares del RN).
- d) Evaluar confiabilidad y eficiencia del sistema según las mediciones registradas, tiempos de envío de datos, tiempos de respuesta, pérdidas de datos y errores de información.

### 3. METODOLOGÍA

A continuación, se describe y especifica la metodología empleada para el desarrollo final del prototipo del sistema NidoApp (Sistema para monitoreo y supervisión de variables y condiciones de funcionamiento en incubadoras neonatales a través de internet de las cosas IoT), así como el diseño de las pruebas realizadas para la obtención de resultados.

Con el fin de llevar a cabo el desarrollo y la puesta a prueba del sistema, se organizó un cronograma de tareas y actividades específicas mediante fases previamente delimitadas. La duración total del proyecto fue de 15 semanas, y durante este periodo se propusieron actividades con propósitos específicos, que permitieron lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos y culminar con requisitos mínimos óptimos y funcionales para un usuario final de la herramienta.

Según el método científico, los objetivos de una investigación deben ser cumplidos de forma progresiva y gracias al desarrollo de una metodología organizada en una serie de pasos llegando a la obtención de resultados. De esta forma, teniendo en cuenta la taxonomía de Bloom se categorizan los pasos a seguir para el desarrollo del proyecto definiendo cada fase o nivel del mismo, analizando, explicando y evaluando.



**Figura 6.** Modelo metodológico en espiral para desarrollo de proyectos. Tomado de [28]

Gracias a un modelo metodológico jerárquico en espiral, para desarrollo de proyectos y prototipos, se identifica cómo las tareas dependen de conocimientos previos y habilidades obtenidas en fases anteriores y niveles inferiores. El modelo en espiral pretende la realización y entrega de los proyectos en un menor tiempo con una confiabilidad y calidad óptima.

La metodología de este trabajo se divide en cuatro fases: 1. Planificación. 2. Análisis de Riesgos. 3. Ingeniería. y 4. Evaluación. Como se observa en la figura 6, estas fases están integradas entre ellas, siempre en pro del proyecto final. Las fases mencionadas se definen de la siguiente manera:

- **Planificación:** En ella se definen los requerimientos y listas de especificaciones según las necesidades y el planteamiento de una problemática. En esta se establecen actividades de consulta e investigación sobre modelos existentes y trabajos similares.
- **Análisis de riesgo:** Teniendo en cuenta el alcance del proyecto, población de impacto y/o usuario final, esta segunda fase estudia el prototipado, diseño, mejoras que permitan cumplir los requerimientos y necesidades definidos en la fase anterior.
- **Implementación:** La tercera fase del modelo espiral, permite observar mediante pruebas de simulación el comportamiento de los prototipos del sistema con el fin de delimitar avances en el desarrollo del proyecto dando cumplimiento a objetivos iniciales, de acuerdo con el seguimiento del diseño previo de la fase dos.
- **Evaluación:** Esta fase final permite verificar y llevar un registro de las mejoras viables del proyecto, y el cumplimiento de los procesos definidos; por ello, en cada etapa del modelo metodológico se puede realizar una evaluación de los procesos, por ejemplo: evaluación de requerimientos, evaluación del desarrollo y prototipo y evaluación de implementación.

Ya que este modelo es cíclico, cada una de las fases puede ser repetida y comúnmente las actividades nuevas dependen de actividades previas por cada proceso a desarrollar, de esta forma en este documento se exponen las fases previamente definidas según las actividades realizadas.

## **ACTIVIDAD 1. DISEÑO DE ARQUITECTURA DEL PROYECTO**

- **Planificación:**

Cuando se habla de un entorno distribuido como lo son los sistemas de Internet de las cosas, la interconectividad entre los “objetos/cosas”, es uno de los requisitos principales y dado que en estos sistemas existe también la movilidad y el cambio dinámico de ubicación. Por otro lado, el uso de dispositivos móviles y smartphones se ha convertido en una parte

integral del IoT con el uso de teléfonos inteligentes dentro de todo el ecosistema existente en este tipo de herramientas.

De esta manera según las estructuras básicas de las arquitecturas se tienen en cuenta las arquitecturas orientadas al servicio (SOA-Service Oriented Architecture) llevando estas herramientas a la adaptación y acogida por parte de proveedores de servicios y usuarios. Una arquitectura SOA asegura la interoperabilidad entre los dispositivos heterogéneos [30].

Un SOA genérico que consta de cuatro capas, con funcionalidades distribuidas de la siguiente manera tal como se observa en la figura 7:

- Capa física: integrada con los objetos de hardware disponibles para detectar el estado de las cosas.
- Capa de red: es la infraestructura para soportar conexiones inalámbricas o cableadas entre otras cosas por medio de internet, intranet o extranet.
- Capa intermedia de transporte: es la capa para crear y administrar servicios de interconexión requeridos por usuarios o aplicaciones, el transporte y parte de un preprocesamiento.
- Capa de Aplicación: abarca el servicio como fin último al cual será aplicado ejemplo, industria, hospitales, fábricas, etc.

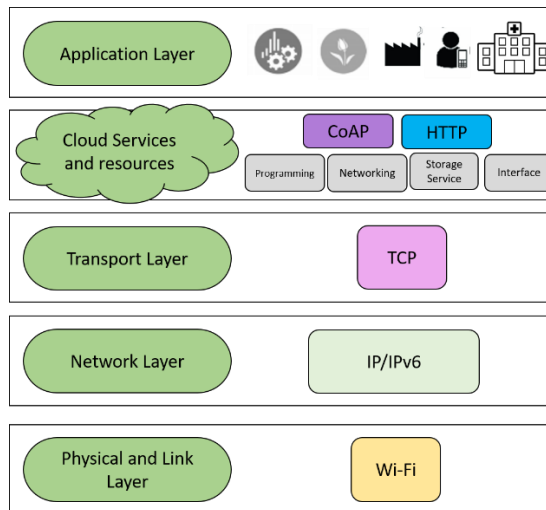
➤ **Implementación:**

Sin embargo, teniendo en cuenta lo anterior y optando por una arquitectura bastante implementada en el área de la salud, por la comunicación entre dispositivos en tiempo real y su eficiencia, se elige la arquitectura basada en computación de niebla (Fog Computing Architecture)[35], la cual complementa el paradigma de computación orientada a los servicios SOA proporcionando estos mismos desde una nube hacia el borde de la red, adecuada para cantidades de datos no muy grandes (Little Data-based).

En la arquitectura de computación en la niebla, se incluye a las capas previamente mencionadas la siguiente capa:

- Capa de Nube (recursos y servicios): Esta capa se encargará del procesamiento fuerte, almacenamiento de datos por medio de computación en la nube por medio de servicios web en bases de datos y también hacia servicios locales, así como la comunicación con el usuario final por medio de interfaces de usuario.





**Figura 7.** Interacción entre la arquitectura de computación en la niebla y las capas del sistema basado en IoMT. Adaptado de [30],[35].

## ACTIVIDAD 2. SELECCIÓN DE MATERIALES DEL DISPOSITIVO

### ➤ **Planificación:**

Teniendo en cuenta los criterios de una matriz de selección (Anexo 1), se definió que el sensor debe ser de un tamaño cómodo para su manipulación y lo suficientemente pequeño para que sea lo menos invasivo en el ambiente del recién nacido, de esta manera se definen los componentes que deben hacer parte del mismo con el fin de establecer el tamaño mínimo que estos pueden ocupar y poder realizar el diseño. se propone realizar diferentes pruebas con materiales, componentes y elementos existentes y accesibles antes de realizar desde cero un diseño complejo. Sin embargo, en paralelo se buscan alternativas y variedad en sensores, baterías, interruptores y carcasas.

### ➤ **Análisis de riesgo:**

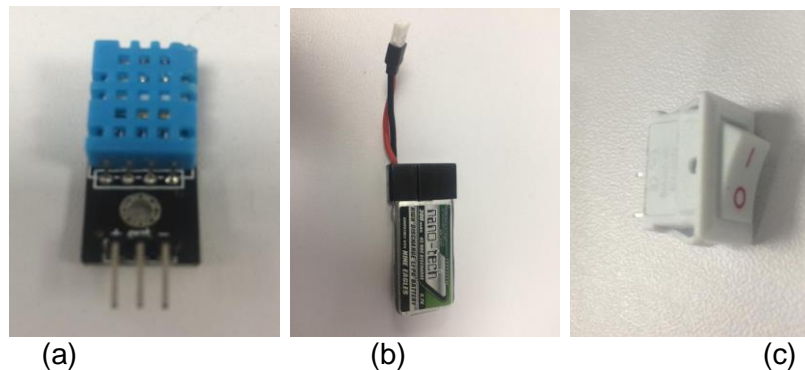
Previo al diseño y fabricación, del dispositivo, según la fase de planificación a la hora de revisar alternativas en componentes, se realizan pruebas de prototipo con materiales existentes y de diferentes tamaños, a continuación, se evidencian ejemplos de montajes realizados previos al finalmente seleccionado, según tamaños forma y sensores, baterías y carcasa.

Revisando algunas de las alternativas de sensores disponibles en el mercado, se realizan pruebas con sensores como el DHT11 mostrado en la figura 8(a). y a su vez sensores físicamente similares a éste como el DHT22; por otro lado, se realizan pruebas con sensores más pequeños por su diseño superficial como el SHT11 tal como se ve en los montajes de las figuras 10 y 11, teniendo en cuenta la matriz de selección (Anexo 1), se

decide trabajar con el sensor DHT11, debido a que cumple con características de los requerimientos establecidos, definidas en la actividad 4.

En la figura 8(b). se observa una batería de polímero de Litio 3.7V, batería de larga duración, sin embargo en el prototipado, se realizan pruebas con baterías de 9V y baterías AAA alcalinas, como el requerimiento fundamental del dispositivo establece la seguridad del RN, se descartan las baterías de polímero de litio pues estas al descargarse completamente tienen la tendencia de explotar; por ende, se trabaja con las pilas alcalinas AAA principalmente por su tamaño y facilidad de configuración para suministrar voltajes mayores.

En cuanto a los interruptores se escogen interruptores pequeños los cuales se ajusten a un tamaño adecuado para el prototipo y que sea fácil de manipular tal como el que se observa en las figuras 8(c), 9 y 10.



**Figura 8.** (a) Sensor DHT11 de temperatura y humedad. (b) Batería de polímero de Litio 3.7V. (c) Interruptor/Switch pequeño

El microcontrolador utilizado en estos montajes es basado en arduino para la comunicación de datos entre el sensor y el servidor del sistema, tanto el módulo WI-FI ESP8266s-01 (figuras 9 y 10) cómo el arduino uno (figura 11). Los protocolos de comunicación varían en estos módulos pues el primero permite una conexión directa a la red wi-fi a través de protocolos MQTT (Message Queue Telemetry Transport) y HTTP (Hypertext Transfer Protocol), por otro lado con el arduino uno la comunicación es por medio de puerto serial para posteriormente realizar una conexión inalámbrica, de esta forma tal como se menciona más adelante en la actividad 4, por las características de los requerimientos establecidos el módulo afín al proyecto es el ESP8266s-01 en este caso su versión mini la versión ESP8266s-01.

En la figura 9. se observa el montaje en una carcasa alargada la cual hacía parte de un sensor de temperatura, de ese únicamente se usó el chasis y para efecto de prueba se montó con batería LiPo, módulo ESP8266s-01, interruptor y sensor DHT11. Por otro lado, en la figura 10 se hace uso de otra carcasa similar pero esta vez con baterías AAA, módulo ESP 3266s-01, interruptor y sensor SHT11. Por último, en la figura 11 se hace uso igualmente de una carcasa similar a la anterior y con baterías AAA, sin embargo, el controlador es una tarjeta de arduino uno por medio de protocolo serial, interruptor y sensor SHT11.

Según se organizaron los prototipos con los diferentes materiales comentados, a continuación, se exponen algunos de los prototipos realizados antes de la selección final de componentes.



**Figura 9.** Prototipo con batería LiPo, módulo ESP8266s-01, interruptor y sensor DHT11.



**Figura 10.** Prototipo con baterías alcalinas AAA, módulo ESP8266s-01, interruptor y sensor SHT11.



**Figura 11.** Prototipo con baterías alcalinas AAA, módulo en arduino (Comunicación Serial), Interruptor y sensor SHT11.

### **ACTIVIDAD 3. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA**

➤ **Planificación:**

Con el fin de realizar las pruebas en un entorno clínico, evidenciar necesidades reales del sistema y recibir opiniones de este, se plantearon reuniones con el departamento de Ingeniería Biomédica en la clínica Méderi donde por medio de un protocolo de investigación (Anexo 4), se expone la necesidad y problema a investigar, metodología, el funcionamiento del dispositivo y su alcance. Este mismo fue posteriormente evaluado y puesto a criterio de las ingenieras y enfermeras para obtener un aval y poder realizar las pruebas de funcionamiento.

Por otro lado, en la Clínica Infantil de Colsubsidio se expuso el alcance de este proyecto dirigido para conocer la opinión del personal en esta clínica permitiendo de esta forma evaluar el dispositivo y comparar con sistemas de monitoreo en servicios ya existentes.

➤ **Análisis de riesgo:**

Ya que se trata de un proyecto dirigido como trabajo de grado, se propone a la clínica realizar en paralelo como un proyecto de investigación, de acuerdo con la respuesta de las ingenieras y coordinadora en jefe del área neonatal, es necesario revisar cómo se comporta un instrumento de evaluación, los requerimientos todo esto mediante una realimentación virtual, se reevalúan materiales, las variables a registrar propuestas en el protocolo, así como las que realmente son de interés para ellas.

Otros parámetros de importancia en las reuniones previas al inicio de pruebas y aceptación del protocolo de investigación son el tema de hermeticidad del dispositivo, definición de un protocolo de limpieza/desinfección (Anexo 5) y duración de las baterías para funcionamiento y registro de datos.

De igual manera, dentro de esta fase se logró exponer los objetivos del proyecto al ingeniero de la clínica infantil de Colsubsidio, donde él permite una visita a la UCI para revisar la central de monitoreo de enfermería, ya que es un sistema existente en esta institución para tener en cuenta los parámetros de conectividad, información y alcance.

### **ACTIVIDAD 4. DISEÑO DEL DISPOSITIVO**

➤ **Planificación:**

Como se mencionó en las fases anteriores, según los requerimientos y criterios de selección, el tamaño del sensor debe ser cómodo para su manipulación y lo suficientemente pequeño para que sea lo menos invasivo posible en el ambiente del recién nacido, posterior

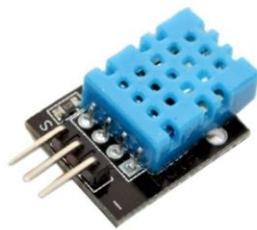
al análisis de componentes a utilizar y las pruebas realizadas con los distintos prototipos registrados en la actividad 2 se escogen los materiales y componentes.

Una vez definidos los materiales y elementos principales para utilizar, se procede a planificar el diseño del circuito interno, teniendo en cuenta que se requiere de una alimentación con interrupción, módulo de comunicación y sensor para registro de las variables.

➤ **Análisis de riesgo:**

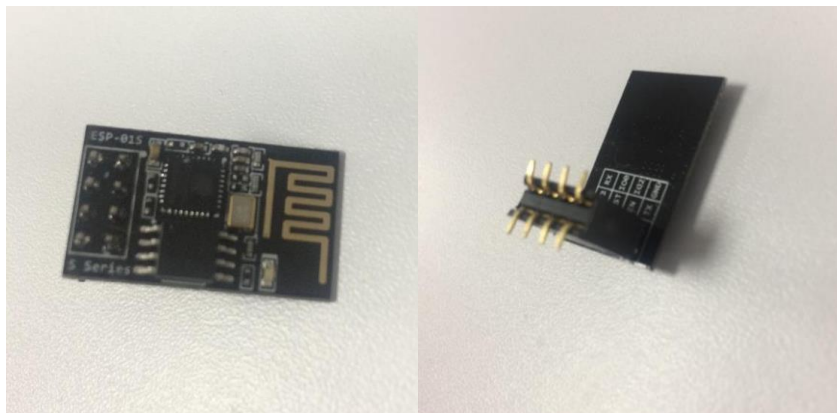
A continuación, se listan los componentes que hacen parte del hardware (parte física del sistema electrónico y que utiliza recursos informáticos, formado por los componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos) para medición de temperatura y humedad.

- **Sensor DHT11:** Ya que se trata de un prototipo en fase inicial este sensor es adecuado para su implementación, ya que incluye un componente de medición de humedad de tipo resistivo y un componente de medición de temperatura NTC, se encuentra conectado a un microcontrolador de 8 bits de alto rendimiento y utiliza una técnica exclusiva de adquisición de señal digital y tecnología de detección de temperatura y humedad para fiabilidad y estabilidad a largo plazo para tiempos de respuesta rápido y ajuste a las perturbaciones externas. además de características tales como:
  - ❑ Voltaje de alimentación bajo, alrededor de 3.3 V y 5V con bajo consumo de potencia en promedio de 3 mW durante las mediciones
  - ❑ Rangos de funcionamiento para medición de temperatura entre 0 °C y 50 °C
  - ❑ Exactitud de temperatura de  $\pm 1$  °C
  - ❑ Rangos de funcionamiento para medición de humedad entre 20 y 90 %HR (Humedad Relativa)
  - ❑ Exactitud  $\pm 5$  %HR



**Figura 12.** Sensor de temperatura y humedad DHT11. Tomado de [29]

- **Módulo ESP8266s-01:** El cual es una tarjeta con microcontrolador basada en arduino, esta ofrece soluciones de conectividad a la red Wi-Fi completa y autónoma, mejorando el rendimiento del sistema de algunas aplicaciones y minimizando los requisitos de memoria en otras. Es capaz de integrarse con los sensores y otros dispositivos específicos a través de sus puertos GPIO, además está diseñado para ocupar un área mínima de espacio. De esta forma, haciendo uso de este se logra realizar una comunicación con el servidor a través de la red. La versatilidad de este módulo al estar basado en arduino permite que por medio de un código de programación realizado en el mismo y a través de librerías disponibles, se establezca la conexión por medio de protocolos como lo son MQTT y HTTP; por otro lado, cuenta también con características:
  - ❑ Voltaje de alimentación bajo, alrededor de 3.3 V y bajo consumo de potencia de máximo 3 mW durante las mediciones
  - ❑ Rangos de funcionamiento para medición de temperatura entre -40 °C y 123.8 °C
  - ❑ Exactitud de temperatura de  $\pm 0.4$  °C
  - ❑ Rangos de funcionamiento para medición de humedad entre 0 y 100 %HR
  - ❑ Exactitud  $\pm 3.0$  %HR,



**Figura 13.** Módulo WI-FI ESP866s-01

- **Baterías e Interruptor:** Debido a que se define como criterio de selección la necesidad de un dispositivo portátil y lo más compacto posible, se tiene en cuenta tanto los componentes electrónicos por su requerimiento de poder, como también el tamaño, de esta forma se define que el voltaje debe ser entre 4.5V y 5V y de un material que represente seguridad para el sistema y el ambiente en el cual va a ser ubicado ya que hace parte del entorno del RN, así como un sistema de interruptor para iniciar/detener el funcionamiento y registro del sensor. Por esta razón y teniendo en cuenta una evaluación en la actividad 2 se escogen las baterías AAA, por su configuración para sumar voltajes altos y la seguridad que representan del dispositivo.

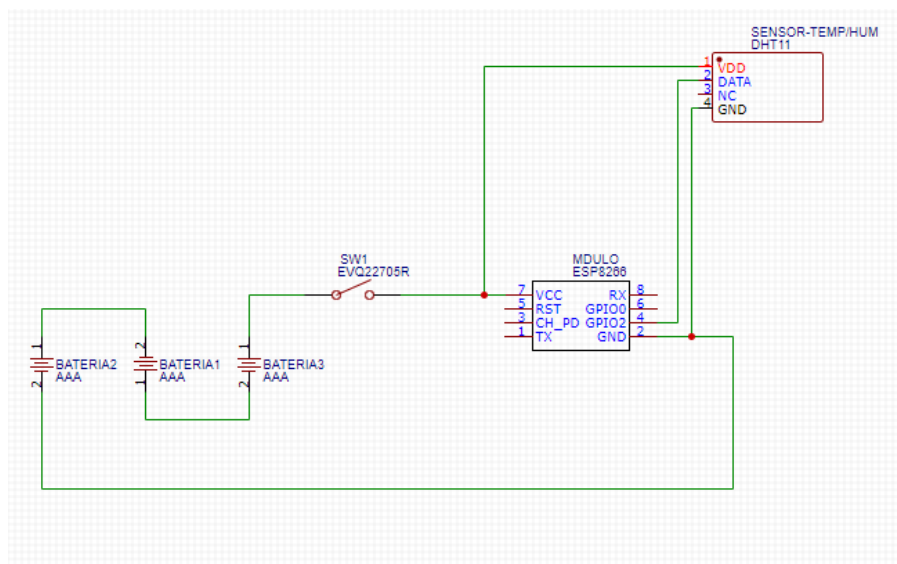
## ACTIVIDAD 5. FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO

### ➤ Planificación:

Teniendo en cuenta los prototipos expuestos en la fase de análisis de riesgo de la actividad 2, se procedió a planificar en esta actividad la mejor manera para llevar a cabo el diseño y la fabricación del prototipo a usar como sensor.

Para el diseño del circuito una vez se definieron los componentes a utilizar según las actividades descritas anteriormente, se procede a consultar las hojas de datos (datasheet) de los mismos, en este caso el módulo ESP8266s-01 cuenta con puertos de alimentación (3.3V) y tierra (GND), los cuales como se observa en el diseño de circuito esquemático de la figura 14 estos van conectados a las baterías AAA de alimentación del circuito, así como éstas también se conectan al interruptor y al sensor DHT11; por otro lado, el módulo cuenta también con puertos de entrada y salida GPIO los cuales en este caso al tener como fin comunicar datos de lectura del sensor de temperatura y humedad (DATA) del DHT11 se configura como puertos de entrada.

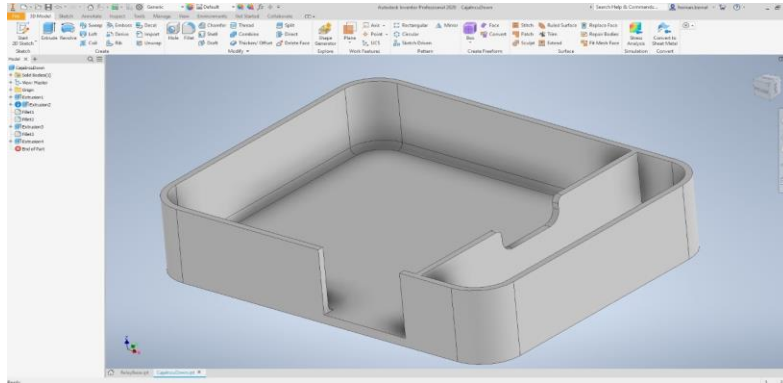
También es evidente en el esquemático que el sensor DHT11 tiene sus dos pines de alimentación como se mencionó anteriormente además de un pin donde comunica la información del valor de temperatura y humedad a registrar.



**Figura 14.** Diseño esquemático del circuito

Para la carcasa del prototipo final, de acuerdo con las especificaciones que debe tener el sensor se prefirió diseñar éste mismo desde cero, para posteriormente realizar el prototipado mediante una impresión 3D y de esta forma garantizar un tamaño adecuado, evaluado por las ingenieras y enfermeras ya que es una opinión adecuada y de importancia para tener en cuenta. Para ello por medio de una herramienta de modelado 3D de sólidos

como lo es Autodesk Inventor, se realizó el diseño previo del “empaque” final del sensor, su respectiva tapa con rejillas y compartimentos para los componentes, tal como se observa a continuación en la figura 15.

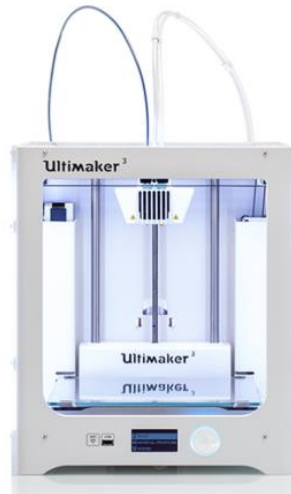


**Figura 15.** Diseño en Autodesk Inventor del sólido para fabricación de la carcasa del sensor.

Según los diseños previos, se evaluó y puso en marcha la fabricación de estos, revisando continuamente las fases dentro de esta e incluyendo la opinión de a las ingenieras y de enfermeras como en las actividades previas.

➤ **Análisis de riesgo:**

Gracias a las herramientas de laboratorio con las que cuenta el programa, se logró fabricar el prototipo del sistema NidoApp.



**Figura 16.** Impresión 3D para fabricación de la carcasa en PLA. Impresora Ultimaker 3. Tomado de [34].

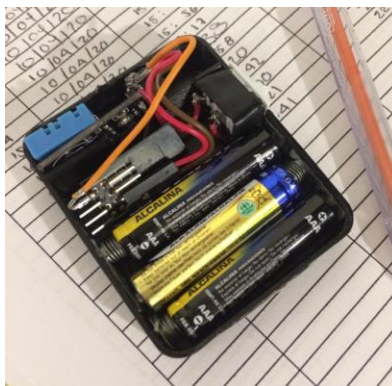


Mediante la impresora 3D Ultimaker, y teniendo en cuenta el apoyo de personal capacitado, se fabricó la carcasa previamente expuesta, tal como se observa en la figura 16, durante su fabricación y figura 17 resultado final de la impresión. Dicha carcasa se decidió fabricar en ácido poliláctico (PLA), ya que es un material polimérico económico, resistente y de fácil manipulación para este tipo de prototipado.



**Figura 17.** Resultado de impresión 3D de la carcasa y tapa para el sensor en PLA.

Por otro lado, el circuito diseñado se incluyó dentro de la carcasa fabricada y mediante el uso de cables y soldadura, se realizaron las conexiones entre estos, tal como se observa en la figura 18.



**Figura 18.** Foto del circuito interno del sensor de NidoApp.

## ACTIVIDAD 6. ALGORITMO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

### ➤ **Planificación:**

Debido a que se cuenta en la actualidad con herramientas de acceso libre y código abierto (open-source); las cuales, permiten la entrada a la tecnología mundial y las contribuciones de sus usuarios, se logra mejorar la interacción y generación de conocimiento tanto para el uso de principiantes en prototipos e instrumentos de bajo costo, como para expertos en instrumentos científicos complejos.

Para el desarrollo de este proyecto se tienen en cuenta varias de las herramientas (software y hardware) adecuados según la programación del microcontrolador y los paquetes de librerías disponibles en repositorios; lo que, a su vez simplifica el uso de los mismos sobre otros sistemas. Teniendo en cuenta los componentes escogidos en actividades previas, se opta en esta actividad de adquisición de datos del sensor, por el lenguaje de programación de Arduino (Software) y el microcontrolador ESP8266 (Hardware) basado en Arduino.

➤ **Análisis de riesgo:**

Teniendo en cuenta una secuencia para el desarrollo de la programación del circuito, y el alcance en general del proyecto se siguió una lógica adecuada para cada parte del código. En este caso a medida que se escriben las líneas de código se buscan métodos para mejorar, reciclar funciones y en general optimizar procesos; de acuerdo a esto, a continuación, en la implementación se define la metodología de la lógica del código.

➤ **Implementación:**

Como se mencionó en la planificación de esta actividad, la plataforma escogida tanto para software y hardware es Arduino, una plataforma electrónica de código abierto, estas placas permiten junto con sus microcontroladores, leer entradas, por ejemplo: luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje y convertirlo en salidas, tales como: activar un motor, encender un LED o publicar algo en línea.

Como se muestra en la figura 19, en el diagrama de flujo se presenta la lógica empleada en el algoritmo para la adquisición y lectura de datos del sensor, el código para la adquisición de los datos registrados por el sensor se divide en 3 grandes partes: 1. Importación de librerías, 2. Declaración e inicialización de variables, 3. Función de Bucle (Loop) Infinito.

En la primera parte, como se mencionó anteriormente se incluyen librerías creadas por usuarios de arduino como herramienta de acceso libre, dentro de estas se encuentran las librerías DHT.h la cual permite la compatibilidad con el sensor DHT11 y su posterior configuración, la librería ESP8266WiFi.h con la cual se programa el microcontrolador disponible en la placa y las características de los puertos que tiene y la librería PubSubClient.h con la cual se habilita el envío y recepción de mensajes a través del protocolo MQTT un protocolo ligero de mensajería ideal para dispositivos pequeños.

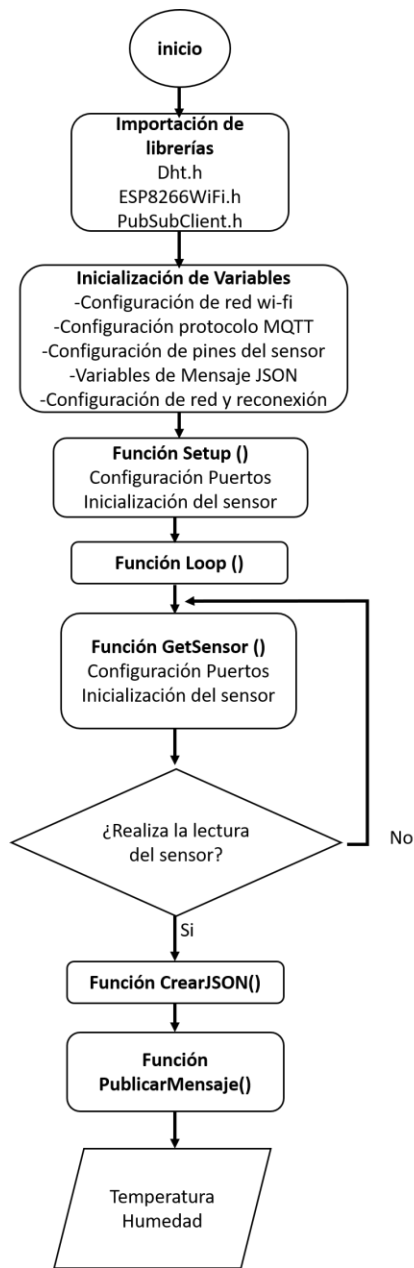
La segunda parte del código donde se declaran e inicializan variables, cuenta a su vez con seis configuraciones. En la configuración de la red wifi se establece el nombre de la red inalámbrica, contraseña y dirección del servidor o Broker, la configuración inicializa el tipo de comunicación, tamaño de la variable para mensaje y en este caso a la placa como tipo cliente de la red Wi-Fi para comunicación MQTT. La configuración del sensor establece los pines de la placa que se usarán, en este caso pin de datos y pin de reloj, así como los atributos que va a organizar luego de que realiza la lectura del sensor, a su vez define las variables que se usarán para almacenar temperatura y humedad en este caso como variables globales. En la configuración, se define a payload como variable para posteriormente publicar con ella el mensaje en formato JSON; Sin embargo, en esta

configuración también se crea una función de reconexión a la cual entra la primera vez que se conecta a la red wi-fi o por el contrario cuando falla la conexión y cada vez que intenta nuevamente conectarse. Dentro de la configuración de red se encuentra la función por medio de la cual se realiza la conexión a la red wifi con las inicializaciones realizadas previamente en la configuración, así como la revisión del estado de la misma. Finalmente, en la configuración se declara la función setup donde se define el puerto del servidor para escritura y realiza una prueba una vez se conecta al mismo.

Por último, en la tercera parte del código se encuentra el bucle o loop infinito. Antes de entrar a este bucle, el microcontrolador ejecuta una única vez las configuraciones previas descritas en la primera y segunda parte del código. Posteriormente cuando llega a la línea de código donde empieza el bucle, el algoritmo lo detecta e ingresa a este y permanece dentro de él realizando las tareas que estén alojadas dentro del mismo sin poder salir; a menos, que se defina alguna interrupción. En este caso las tareas de este loop son adquirir los valores registrados por el sensor con la función "GetSensor", crear el mensaje para transmisión de la información en un formato válido para la comunicación por protocolo MQTT con la función "CrearJson", enviar el dato a través de la función "PublicarMensaje", Mantener la conexión con el servidor y repetir este proceso manteniendo las configuraciones previas. A continuación, se definen las funciones que hacen parte de este bucle:

La Configuración define a través de la función "GetSensor" la lectura del sensor gracias a la librería Sensirion.h la cual tiene una característica especial de POO (Programación Orientada a Objetos) solo basta al objeto de clase sensor "tempSensor", solicitarle por medio de la función "measure" los valores de los atributos "t","h","dp", correspondientes a temperatura, humedad y dewpoint y realizar la verificación de que sean datos coherentes. En la configuración dentro de la función "CrearJson", se crea el mensaje en formato Json con la estructura adecuada de atributo y valor de la variable, para que finalmente, en la configuración del bucle, mediante la función "PublicarMensaje", se transmite el mensaje creado (lo publica), etiquetando con un tópico al cual posteriormente se va a suscribir el servidor en este caso se define como nombre de tópico: "VariablesIncubator".

El tiempo entre lectura y lectura registrada por el sensor dependerá de la duración en las tareas que ejecuta el programa dentro del bucle y el número o duración de retardos "delay" que tenga a su vez dentro de este.



**Figura 19.** Diagrama de Flujo del algoritmo realizado para la adquisición de los datos registrados por el sensor.

## ACTIVIDAD 7. DESARROLLO DEL BROKER PARA SERVIDOR EN LA NUBE

### ➤ **Planificación:**

Una vez se ha realizado un objeto o “cosa”, en este caso el sensor responsable de registrar temperatura y humedad y definir un protocolo de comunicación a implementar como lo es el protocolo MQTT, como se menciona en las actividades anteriores, se procede a establecer la comunicación entre los objetos y la integración del sistema para ello se piensa en la existencia de un Bróker.

El Bróker es un sistema responsable en favorecer la comunicación dentro de un software que cuenta con componentes que se encuentran separados, lo cuales tienen la necesidad de interactuar de manera remota. De esta forma, si un componente necesita del servicio de otro componente que se encuentra en otra ubicación la cual puede que no se conozca, el bróker se encarga de propiciar y establecer dicha conexión.

En el internet de las cosas, el bróker favorece el desacoplamiento e independencia de los componentes y objetos. Así aporta una flexibilidad a las funcionalidades de los mismos facilitando la comunicación en redes heterogéneas y reduciendo la complejidad en el desarrollo de aplicaciones distribuidas.

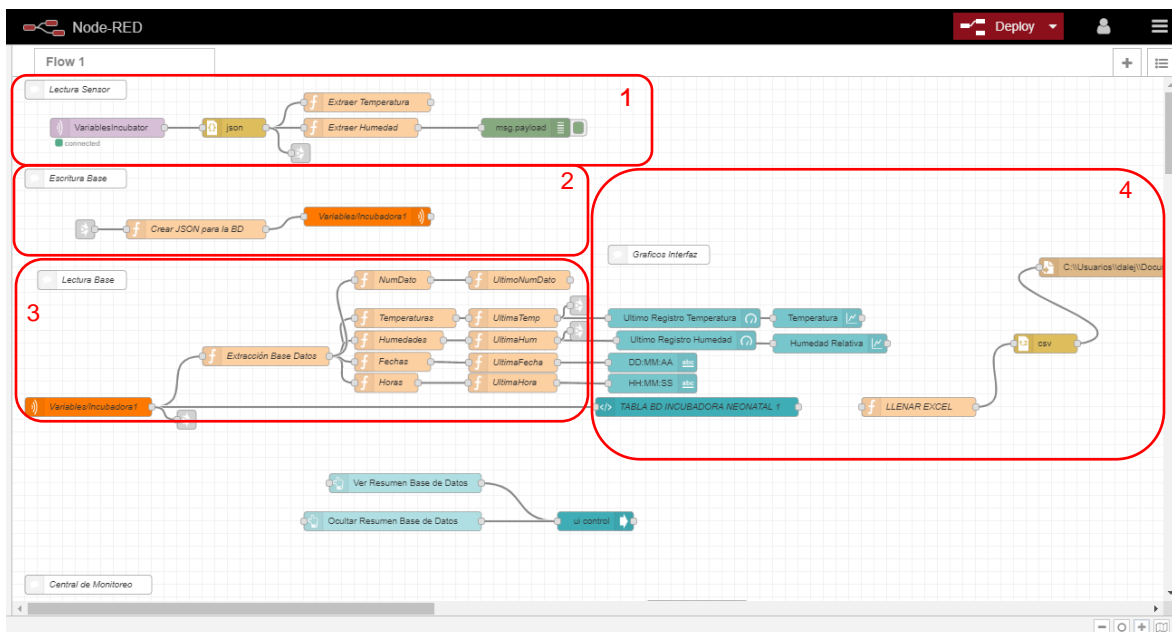
### ➤ **Análisis de riesgo:**

El servidor a través de un tipo de lenguaje específico permite la funcionalidad de la operación de los objetos y sus servicios, estos pueden ser para dominios específicos o también comunes a muchos dominios.

En el caso del sensor desarrollado, como se menciona en la actividad 6 de esta metodología, se define a este objeto en el algoritmo de adquisición como un cliente que se comunica por medio del protocolo MQTT. Los clientes son sistemas que acceden a los servicios de al menos un servidor, los clientes no necesitan conocer la ubicación de los servidores a los cuales acceden; de esta manera, permiten el acceso a servicios existentes y la inclusión de nuevos servicios a diferentes ubicaciones mientras el sistema se va ejecutando.

### ➤ **Implementación:**

Por medio de Node-Red una herramienta de código abierto, disponible en la nube para servicios en línea creada por IBM se logran conectar dispositivos (software y hardware), y aplicaciones e interfaces (API) con dichos servicios en línea, proporcionando un editor basado en navegador mediante una conexión de flujos y nodos empleando bajos tiempos de ejecución.



**Figura 20.** Ejemplo de Nodos y conexiones realizadas en el flujo de Node- Red para comunicación con sensor e interfaz gráfica.

En el editor de Node-Red se ubican cuatro secciones como se observa en la figura 20, Lectura Sensor, Escritura Base, Lectura Base y Gráficos Interfaz. En la sección Lectura Sensor (Cuadrante 1), se encuentra en el inicio un nodo de entrada MQTT, el cual al igual que se definió en el algoritmo de adquisición de datos expuesto en la actividad 6 se nombró como tópic: "VariablesIncubator", este nodo recibe los datos del sensor enviados de forma inalámbrica desde el módulo ESP8266s por medio de protocolo MQTT. Conectado a este se encuentra un nodo Json encargado de convertir la cadena Json (mensaje recibido) a un formato de tipo objeto compatible con JavaScript. dentro de las funciones Extraer Temperatura y Extraer Humedad, se obtienen de forma independiente los valores que se van registrando en el sensor. La segunda sección "Escritura Base" (Cuadrante 2) inicia con el nodo de función en este caso crear JSON la cual reúne los datos extraídos leídos por el sensor y adicionalmente le incluye en un mensaje en formato JSON datos adicionales como son fecha y hora de la zona horaria especificada en el algoritmo en la nube y un número identificador para cada dato creado, el cual se va incrementando a medida que recibe datos nuevos. Posteriormente el nodo de salida de FireBase "Variables/Incubadora1" se encarga de almacenar en la base de datos definida en la actividad 8 en este caso "iotincubators" dentro de la referencias Variables y a su vez dentro de otra referencia Incubadora1, teniendo en cuenta que si estas referencias en un inicio no existen son creadas de esta forma y posteriormente se van llenando, pues ya si se quieren incluir más de una Incubadora para monitorear esta es una de las formas para realizarlo.

La tercera sección "Lectura Base" (Cuadrante 3), Inicia con un nodo de entrada de FireBase la cual extrae todos los valores almacenados en la base de datos en la ruta iotincubators/Variables/Incubadora1 para que posteriormente en la función Extracción Base Datos se organicen cada uno de los mensajes JSON con la información de cada registro dentro de unas listas previamente creadas, esto con el fin de facilitar la manipulación de los

datos a la hora de realizar análisis trazables de información, para ello se elimina los nombres asignados de forma aleatoria a los datos o de tipo “garbage name” y agrupa la información en listas de Temperaturas, Humedades, Fechas y Horas. Por otro lado, es de interés saber el último valor registrado pues a la hora de generar alguna alarma será el primer indicador de cambio por esto se adicionan nodos de UltimaTemp, UltimaHum, UltimaFecha y UltimaHora obteniendo información de las listas creadas.

Finalmente, en la cuarta sección “Gráficos Interfaz” (Cuadrante 4), se incluyen nodos para la visualización en una interfaz gráfica posteriormente explicada en la actividad 10.

## **ACTIVIDAD 8. CREACIÓN DE BASES DE DATOS**

### **➤ Planificación:**

Para llevar a cabo la fase de planificación en esta actividad, se recurrió a conocimientos básicos en teoría de bases de datos y experiencia del uso de las mismas en algunas materias electivas cursadas. Así como de plataformas existentes para la creación de las mismas, teniendo en cuenta también el tipo de datos del sistema NidoApp que se quieren almacenar.

Por definición las bases de datos son un punto de referencia e interés pues todo sistema se alimenta de datos, ya sean, aplicaciones web, móviles, software de escritorio, entre otros. Esta colección de información se almacena con una estructura específica y de cierta forma cuentan con rutinas optimizadas para guardar, eliminar, consultar y gestionar la información.

Definiendo el hecho de que las bases de datos están conformadas por datos almacenados como registros agrupados o clasificados como atributos, dentro de una serie de tablas. Dependiendo el tipo de datos del sistema se piensa en el uso de una base de datos relacional (SQL) o una no relacional (NoSQL).

### **➤ Análisis de riesgo:**

Por un lado, las bases de datos relacionales organizan sus elementos en una serie de tablas a partir de identificadores; mientras que, las bases de datos no relacionales cuentan con esquemas flexibles, fáciles de desarrollar, con variedad de modelos de datos en tablas o documentos independiente a lo que sea que se va a almacenar.

Debido a que por una parte se desean almacenar datos de acceso de usuarios, y posteriormente lecturas del sensor, la información no interactúa necesariamente entre ella; por ello, no se escoge una base de datos relacional tipo SQL, pues una de las razones

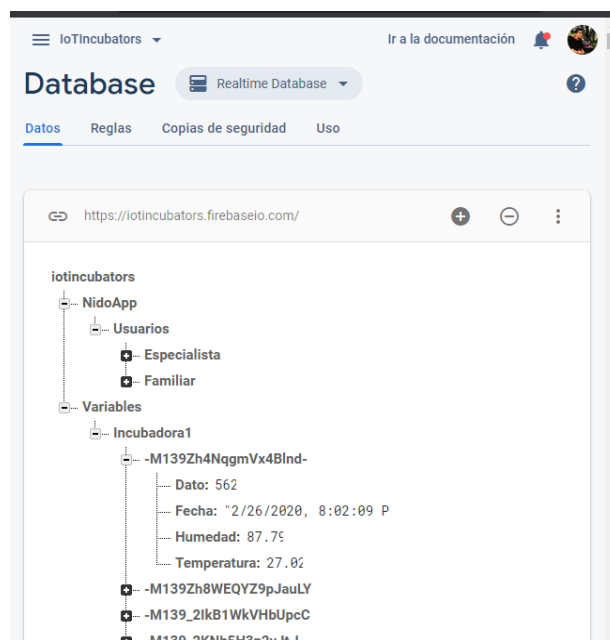
recae en que si llega a cambiar la estructura de uno de los datos, puede perjudicar todo el sistema, ya que en este caso las tablas están relacionadas.

Normalmente lo que son sistemas de gestión de contenido, datos de aplicaciones móviles, sistemas de análisis en tiempo real, y bases de datos con un crecimiento rápido, la mejor opción son esquemas descentralizados, con bases de datos no relacionales tipo NoSQL.

### ➤ Implementación:

Teniendo en cuenta lo anterior se decide hacer uso de Firebase, una plataforma desarrollada por google para la creación de aplicaciones que a su vez cuenta con herramientas para el alojamiento de datos, en este caso se opta por usar Firebase Realtime Database. Esta es una base de datos alojada en la nube soportada en multiplataforma, la cual se sincroniza y actualiza en tiempo real. La facilidad que ofrece esta herramienta se basa en un almacenamiento de datos en formato JSON y la compatibilidad con apps (Kits de desarrollo de software SDK) de iOS, Android y JavaScript.

Como se observa en la figura 21, la base de datos recibe el nombre de IoTIncubators, así mismo tiene unas categorías donde por ejemplo la que recibe el nombre de NidoApp almacena los datos de usuarios para el acceso a la información del sistema desde la aplicación en la nube como desde un dispositivo móvil, información tanto de especialistas pensado en el personal médico como información de los familiares del recién nacido. Por otro lado, en la categoría de Variables se organiza por incubadora y la idea es asignar un sensor a una incubadora específica para de esta forma almacenar los datos recibidos por el sensor con un consecutivo del Dato, Fecha, Humedad y Temperatura registrada.



**Figura 21.** Estructura de la base de datos desarrollada (IoTIncubators).



## ACTIVIDAD 9. DISEÑO APLICACIÓN MÓVIL E INTERFAZ GRÁFICA (APP)

### ➤ **Planificación:**

Las herramientas móviles se han convertido en un canal de comunicación eficiente entre las personas y de acceso a la información de forma prácticamente instantánea, lo cual mejora las experiencias de los usuarios que quieren acceder a algún tipo de información en servicios portátiles al alcance de su mano. Es por esto por lo que se piensa en el desarrollo de un aplicativo compatible con smartphones para permitir el acceso a la misma información registrada por el sensor, pero desde un entorno un poco más cómodo para usuarios como lo son familiares del recién nacido o especialistas que se encuentren dentro o fuera de la institución y que a su vez puedan estar al tanto de la evolución.

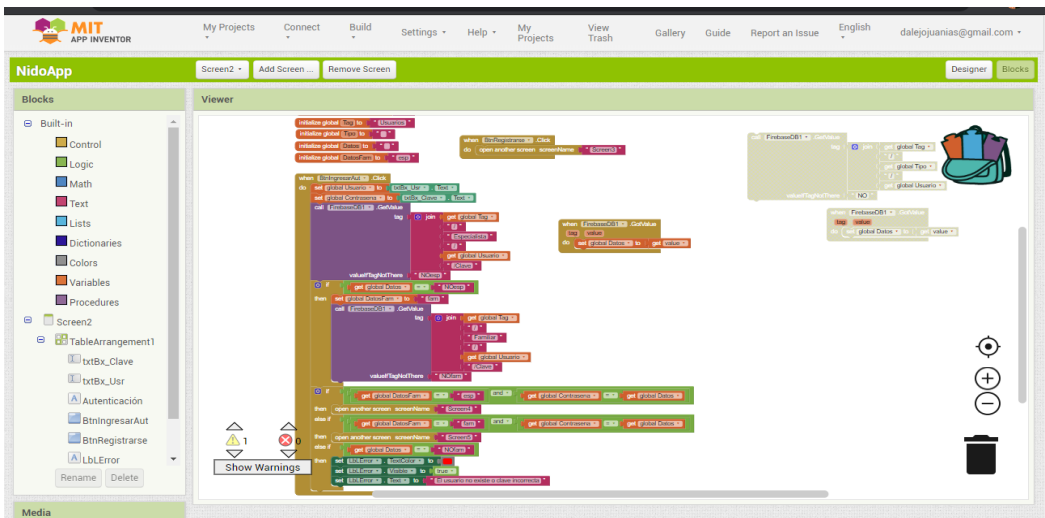
Para llevar a cabo el desarrollo de un aplicativo móvil existen diversas posibilidades según sea el sistema operativo que se quiera atacar, principalmente Android e iOS. Debido a la facilidad que tiene el sistema operativo de Android frente a las restricciones de iOS se decide que, en fase de prototipo, se trabajará con este sistema operativo.

### ➤ **Análisis de riesgo:**

Dentro de diversas herramientas existentes para llevar a cabo el diseño y programación de la aplicación se tienen en cuenta las posibilidades que ofrecen plataformas de desarrollo de software bastante conocidas como lo son Android Studio y MIT App Inventor; sin embargo, pensando en una funcionalidad básica y eficiente para el tiempo de dedicación a esta actividad, se escoge como medio el entorno para desarrollo de software App Inventor.

App Inventor es un entorno de desarrollo de software interactivo que, por medio de un conjunto de herramientas básicas, logra enlazar una serie de bloques para de esta manera crear la aplicación, donde el programador puede desarrollar una lógica de programación de forma visual, contribuyendo a la facilidad de manipulación para uso de prácticamente cualquier persona (Ver figura 22). Es un sistema gratuito, disponible directamente en la red y que por su simplicidad se limita en ciertas funciones, pero aun así logra cubrir varias de las necesidades en un dispositivo móvil.

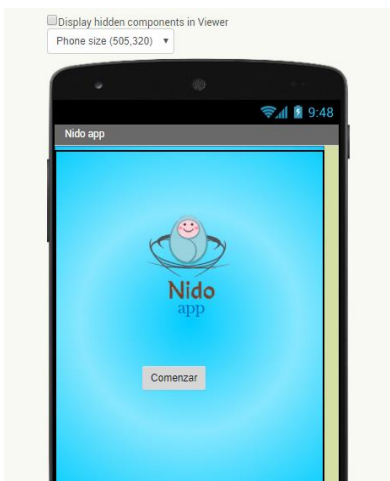
Teniendo en cuenta los objetivos planteados donde lo que se quiere es establecer mediante una interfaz gráfica la visualización y monitoreo de la incubadora, a medida que se obtienen resultados en las actividades anteriores y mediante protocolos de comunicación y conexión de IoT se piensa en los componentes y funcionalidades que debe tener dicha aplicación.



**Figura 22.** Ejemplo de programación en bloque de una de las pantallas (Screen) de la aplicación.

➤ **Implementación:**

Gracias a las herramientas que app inventor ofrece en su página de proyecto se pueden incluir diversas funcionalidades a una aplicación; por ejemplo, opciones para interfaz de usuario, diseños de distribución en la pantalla, multimedia, animaciones y dibujos, uso de sensores propios del dispositivo (acelerómetro, giroscopio, gps, podómetro entre otros), compatibilidad con redes sociales, almacenamiento e interacción con bases de datos y conectividad a través de bluetooth o web.



**Figura 23.** Interfaz de diseñador (Página de proyecto) de MIT App Inventor.

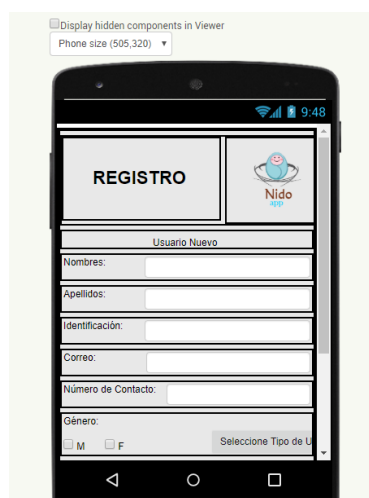
A continuación, se presenta el diseño y la definición de las principales pantallas (Screens) de la aplicación móvil y se describe la lógica implementada en estas para su funcionamiento.

La Screen1 es la pantalla de bienvenida a la aplicación, en ella se encuentra un botón de inicio centrado, el cual al ser presionado va a dirigir a una pantalla de acceso para validación de usuarios. En su respectiva programación por bloques se utiliza un condicional en el cual a grosso modo cuando es presionado el botón cierra la pantalla 1 e inicializa y abre la pantalla 2.

Una vez la Screen2 es abierta, se pide la autenticación de usuario, allí se debe digitar el número de identificación y la respectiva clave y si por el contrario un usuario no se encuentra registrado se otorga la opción crear un nuevo usuario. Dentro de la programación en bloques, se inicia predefiniendo los mensajes de alerta de usuario en modo no visible, para que únicamente alerte si el usuario o clave es incorrecto o no existe, se inicializan las variables locales y se establecen las funciones para los botones una vez son pulsados, la primera validación se realiza con el botón ingresar, donde una vez la persona digita el número de usuario y la clave, se accede a la misma base de datos en FireBase descrita en la actividad 8.

Cuando la información de la base de datos es obtenida mediante las funciones de llamado de FireBase "GetValue", se recorren las listas y se verifica si el usuario ya existe o no, si es así, por medio de un ciclo condicional se valida que la contraseña ingresada sea correcta de lo contrario envía el error y no deja ingresar. En la base de datos hay existencia de usuarios tipo especialista y tipo familiar una vez es recuperada la base de datos se compara el usuario y clave ingresada, de esta manera se abre la pantalla 4 si el usuario es especialista y se abre la pantalla 5 si el usuario es familiar; sin embargo; por otro lado, está la otra opción que es registrar un nuevo usuario abriendo la pantalla 3.

Con el Screen3 abierto, para llevar a cabo el registro, se observa que se cuenta con un formulario de datos básicos de usuario, por otro lado la programación en bloques permite el ingreso de datos a variables locales, la clasificación de familiar o especialista, asignación de contraseñas, verificación de claves y mensaje de error en caso de que no coincidan, por último luego de la asignación a las variables se asignan a la base de datos en formato JSON y con los bloques de Store Value de call FireBase DB1 se almacena dicha información a una ruta asignada de la misma base de datos previamente mencionada.



**Figura 24.** Diseño de pantalla de registro en versión de prueba.

## ACTIVIDAD 10. DISEÑO INTERFAZ GRÁFICA EN EL SERVIDOR (NUBE)

Una vez se cuenta con la idea de un aplicativo móvil para acceso remoto y en tiempo real se contextualizan las características para una interfaz de escritorio y la centralización de la información en el lugar de destino.

### ➤ **Planificación:**

Se toman en cuenta criterios en funciones útiles para los principales usuarios de la versión de escritorio, los cuales son el personal asistencial de enfermería en una central de monitoreo, dentro de estos criterios se establece como necesario el agrupamiento de los datos de las incubadoras registrados en el servicio, teniendo en cuenta que no es solo un sensor el que puede llegar a ser instalado, sino varios de forma simultánea dentro del establecimiento; por otro lado, ofrecer la opción de servicios de ingresar o crear usuarios nuevos, admitir o dar de alta a pacientes y la comunicación hacia familiares.

Ya que se establece a Node-red en la nube en las actividades previas como el servidor o Bróker se logra contribuir mediante programación en la nube del sistema, a la demanda de hardware y memoria de procesador para el análisis o tratamiento de los datos pues de esta forma se ve aliviado el gasto en memoria de computación, almacenamiento de datos y en aplicaciones robustas se logra generar mayor capacidad para dicha demanda.

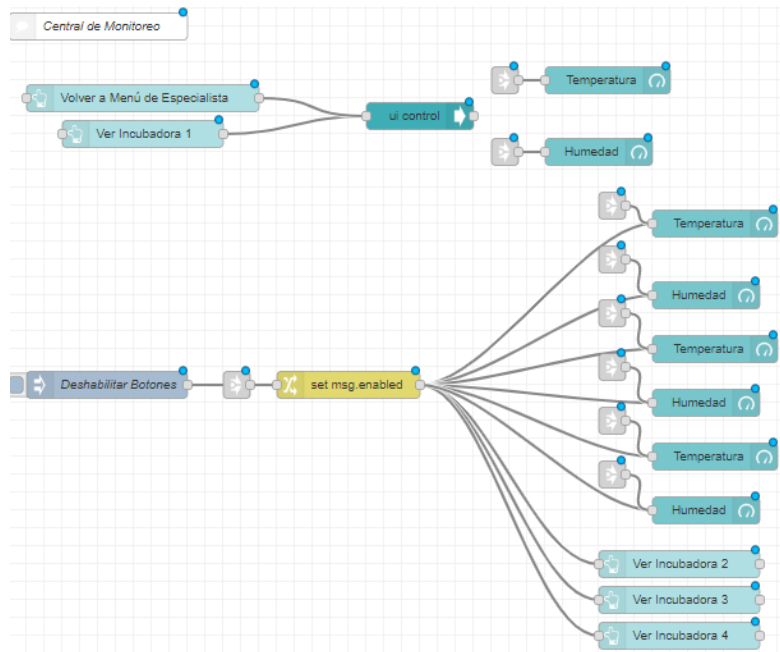
### ➤ **Análisis de riesgo:**

De esta manera, mediante las herramientas que se han venido mencionando previamente, Node-red ofrece alternativas para creación de interfaces de usuario mediante “UI Interface Dashboard”, gracias a instrucciones relativamente sencillas pues cuenta con componentes de interfaz de usuario para construir paneles básicos adecuados para Internet de las cosas (IoT), con gráficos, indicadores, texto básico, controles deslizantes y entradas. dando la posibilidad de personalización.

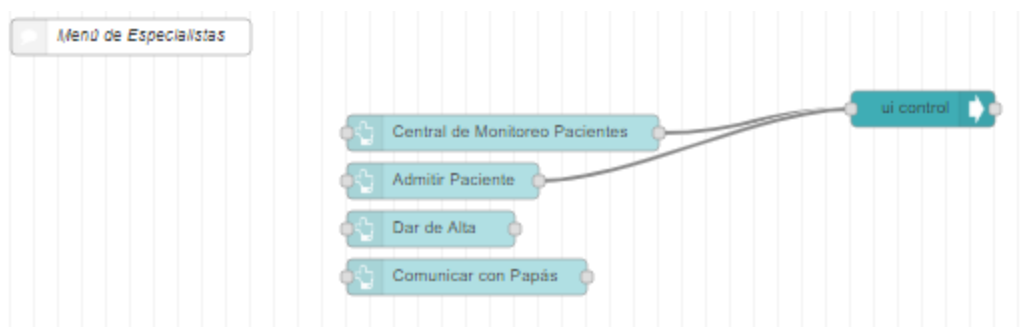
Como se observaba en el ejemplo de la figura 20 de la actividad 7, en el cuadrante 4 “Gráficos Interfaz” se incluyen nodos de tipo gauge o manómetro para observar la variación a medida que llegan datos de temperatura y humedad, texto para observar fecha y hora del último dato recibido, nodo template o tabla para mostrar un resumen de la base de datos que se ha ido llenando pero organizada como tabla y nodos de tipo chart o gráfico para visualizar la variación en tiempo dentro de unos umbrales establecidos tanto para temperatura y humedad.

➤ **Implementación:**

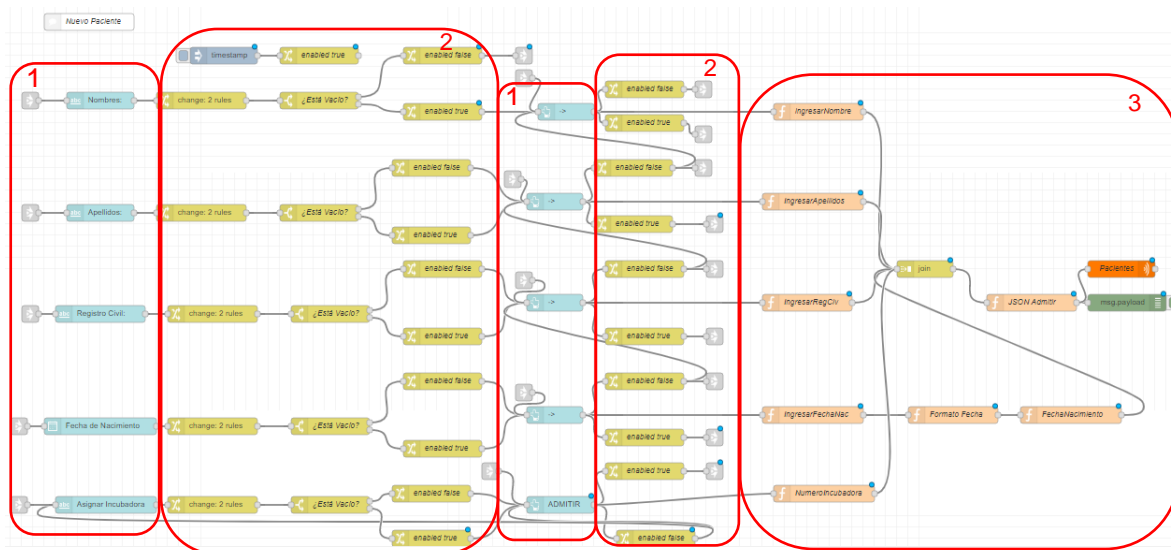
Así como se presentan funcionalidades básicas para la interfaz, estas se complementan con opciones para el acceso a los usuarios, dentro del desarrollo de las funciones; a continuación, se presentan los nodos empleados para el funcionamiento de la misma; sin embargo, a pesar de tener opciones adicionales algunas se encuentran deshabilitadas restringiendo el proyecto únicamente a la fase de interés, la cual se enfoca en el comportamiento del sensor y registro de las variables.



**Figura 25.** Ejemplo de nodos utilizados para desarrollo de interfaz de escritorio en Node Red (Pantalla Central).



**Figura 26.** Ejemplo de nodos utilizados para desarrollo de interfaz de escritorio en Node Red (Pantalla Menú Especialista).



**Figura 27.** Ejemplo de otros nodos utilizados para desarrollo de interfaz de escritorio en Node Red (Pantalla Admisión de Paciente).

En la figura anterior, se observan nodos de interfaz en los cuadrantes número 1 para el ingreso de texto y fecha, así como también botones para continuar con el ingreso de datos y finalmente admitir, en los cuadrantes 2 se observan nodos para identificar si ya ha sido llenado alguno de los campos de texto o fecha para posteriormente cuando se acciona un botón habilitar y/o deshabilitar otro espacio del formulario, finalmente en el tercer cuadrante se encuentran las funciones donde se recopila la información ingresada, uniéndola y convirtiéndola en formato JSON para almacenarla en la base de datos.

## ACTIVIDAD 11. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### ➤ Planificación:

El diseño experimental para la validación de funcionamiento del dispositivo, así como de la herramienta desarrollada se realiza mediante una serie de pruebas básicas de concepto y comprobación de las características esperadas. Así mismo, a través de un diseño observacional basado en la experiencia de un grupo de usuarios limitado y restringido acerca de la acogida de la aplicación e interfaz.

Ya que este estudio pretende determinar la eficacia y confiabilidad del sensor comparándolo con algún estándar o parámetros de referencia, no se aborda el cálculo de tamaños de muestras, pues el interés recae en dar respuesta a la interpretación de cada uno de los objetivos planteados a través de estas pruebas realizadas por un investigador; de esta forma, el muestreo se realiza a conveniencia.

➤ **Análisis de riesgo:**

**PRUEBAS DEL SENSOR:**

Para las pruebas del sensor, se desarrolla un diseño experimental dividido en 3 pruebas para la verificación del funcionamiento de este. El tipo de muestreo definido para estas pruebas es un muestreo de conveniencia, en este se toman los elementos de los que se puede disponer de forma más fácil. En este caso registrar las mismas variables que se controlan en un patrón y comparar por medio de sensores externos.

**PRUEBA 1:** Esta prueba es realizada bajo un ambiente con condiciones normalmente invariantes durante la misma franja horaria, pero en 4 días distintos, donde se compara la medición del sensor frente a la medición realizada con termohigrómetros calibrados para determinar la confiabilidad en las mediciones.

Los datos recopilados por el sensor de NidoApp son almacenados en la base de datos de Firebase, mientras que los valores registrados por el termohigrómetro son anotados cada 20 minutos durante aproximadamente 8 horas en un formato diario (Anexo 2), posteriormente de la base de datos de NidoApp son seleccionados los datos que corresponden a esas mismas horas de anotación del termohigrómetro.



**Figura 28.** Comparación de medidas entre termohigrómetros y sensor de NidoApp.

**PRUEBA 2:** La segunda prueba tiene como fin determinar características de los datos enviados por el sensor, como son el tiempo de envío de datos y la pérdida de los mismos y a partir de estas describir la eficiencia del sistema; para ello, como se definió en actividades anteriores de la metodología, los algoritmos realizados envían información de fecha y hora junto con las variables medidas de temperatura y humedad; de esta forma, cuando se realizaron las jornadas de envío continuo de datos posteriormente en el tratamiento de

estos se filtran las horas y por medio de un algoritmo se determina la variación en segundos de los tiempos de cada dato, tiempos promedio y los máximos y mínimos tiempos de envío, así mismo se realiza un análisis de los datos que de alguna forma son datos erróneos o muy dispersos y número de veces en las cuales entre dato y dato transcurre más del doble del tiempo definido para envío el cual es de 30 segundos y de esta manera calcular un aproximado en pérdidas de datos obtenidos.

**PRUEBA 3:** La tercera prueba se realiza para estimar el rendimiento del sistema de acuerdo a la duración de las baterías en un máximo de envío de datos. Se realizan cuatro subpruebas, la primera haciendo uso de baterías AAA alcalinas convencionales hasta su total descarga, la segunda utilizando baterías AAA recargables hasta su total descarga, la tercera utilizando nuevamente baterías AAA convencionales, pero de una marca diferente a la primera hasta su completa descarga y la cuarta subprueba utilizando nuevamente baterías AAA recargables de otra marca. Se realiza una comparación en el número total de envíos de datos durante la primera, segunda, tercera y cuarta subprueba y el tiempo transcurrido hasta sus respectivas descargas.

#### PRUEBAS DE CONCEPTO

La prueba de concepto hace referencia al resultado del desarrollo de una aplicación basada en loMT (NidoApp) y la aceptación, alcance y usabilidad que le daría un usuario final a la misma; para esta prueba, se realiza un muestreo opinático pues en este tipo de muestreo, la selección de un participante se basa en la experiencia y juicio del seleccionador y el cambio o innovación que esta herramienta puede llegar a brindar. Para este caso se incluyen variables según la opinión de los profesionales en el área de neonatología y se desarrolla un cuestionario de evaluación (Anexo 3).

### **ACTIVIDAD 12. CONFIGURACIÓN Y COMUNICACIÓN SENSOR-NUBE-BASE DE DATOS-APP**

#### ➤ **Planificación:**

Como última actividad para la metodología se integran las fases previas desarrolladas en las otras actividades, con el fin de establecer finalmente la estructura del sistema loMT en el cual está basado NidoApp pues las arquitecturas de vanguardia deben tener un cierto nivel de adaptabilidad para manejar adecuadamente las interacciones dinámicas dentro de todo el ecosistema.

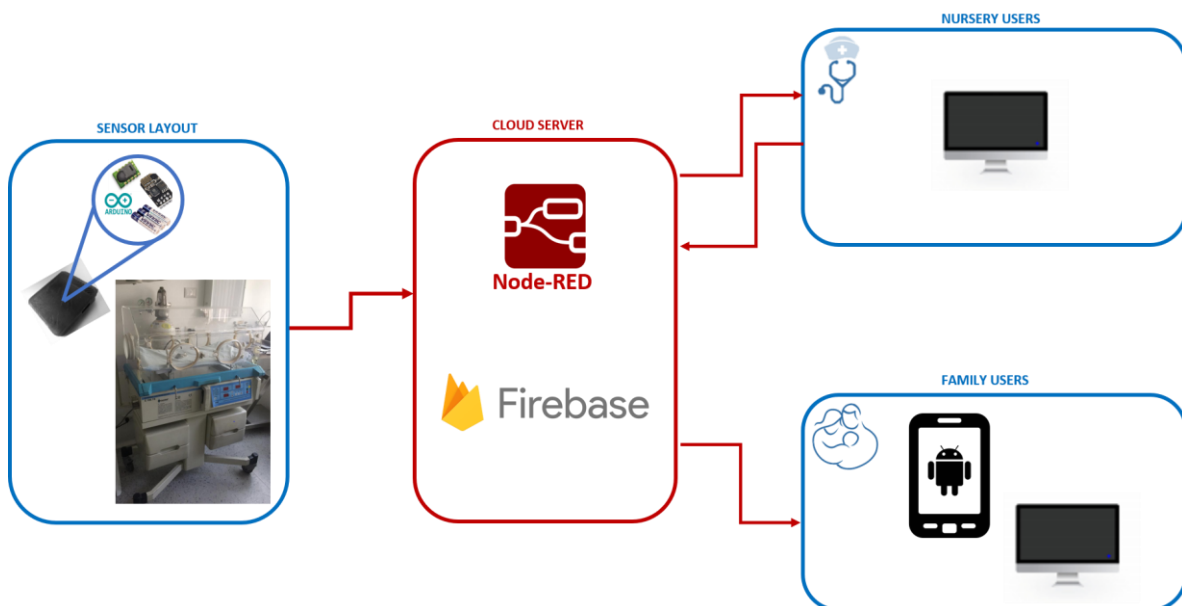
En general, para la arquitectura desarrollada gracias a esta metodología en NidoApp y teniendo en cuenta lo mencionado desde la actividad 1, se logra dividir en subsistemas que se acoplan libremente y se pueden descomponer de forma modular, para que en caso de fallas se pueda detectar fácilmente y mantener todo el sistema a salvo desde sus componentes individuales.



➤ **Análisis de riesgo:**

La confiabilidad es lo que más se destaca en las arquitecturas de computación en la niebla permitiendo la comunicación entre las cosas y los subsistemas en las capas. En este caso la arquitectura IoMT para este proyecto es tal como se ve en la figura 29, con las siguientes capas:

- Capa de sensado (Capa física): Sensor desarrollado para NidoApp para ubicar en el ambiente del RN dentro de la incubadora.
- Capa de red: infraestructura para conectividad por medio inalámbrico Wi-Fi
- Capa Intermedia de Transporte: por medio del protocolo MQTT el cual está basado en protocolo de control de transmisión TCP creando conexión entre cliente y servidor para que exista el flujo de datos.
- Capa de Nube (Recursos y Servicios): Procesamiento en Node-Red y Almacenamiento de datos en FireBase, así como las interfaces a través de las pantallas de visualización en las herramientas diseñadas para dispositivos móviles y para escritorio
- Capa de Aplicación: Ambiente donde finalmente será implementado en este caso hace referencia a un ambiente clínico como lo es un servicio de enfermería neonatal, aunque también para el uso de familiares particulares.



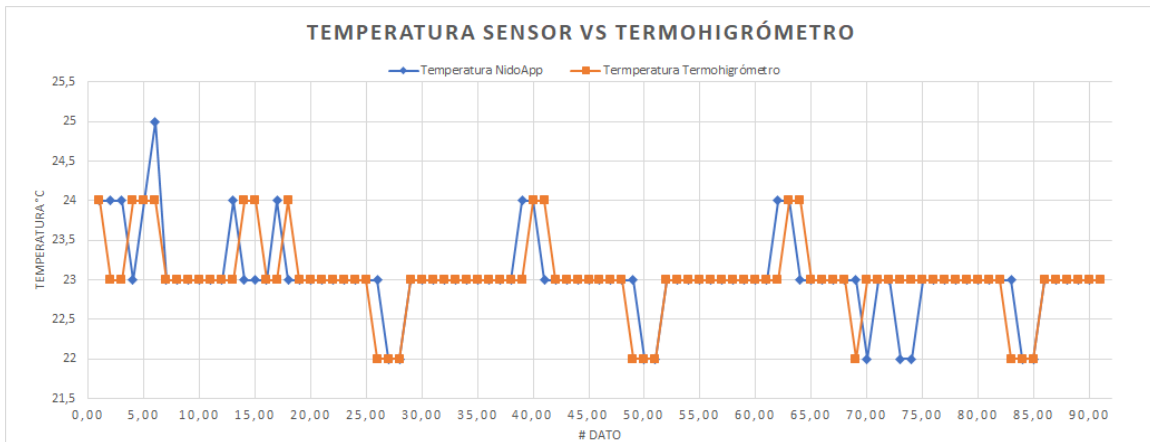
**Figura 29.** Interacción entre las capas del sistema basado en IoMT para la arquitectura de NidoApp.

## 4. RESULTADOS

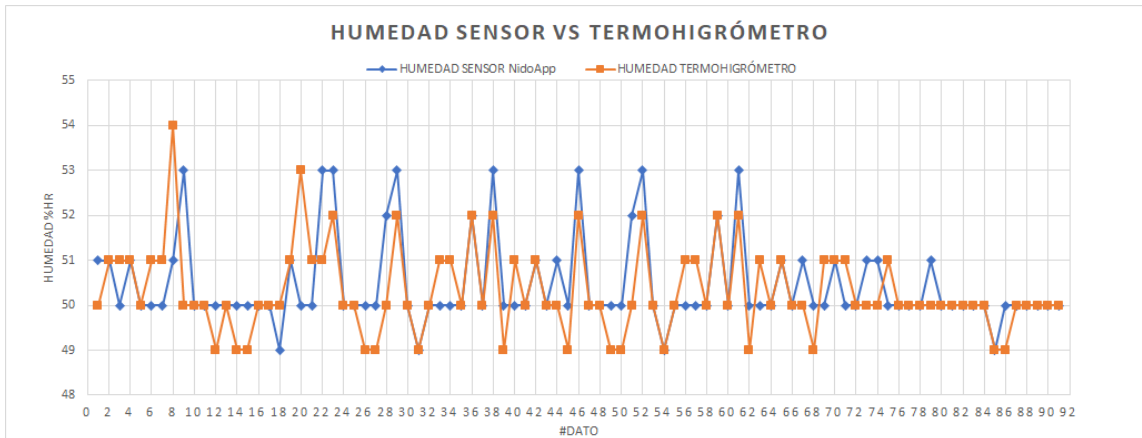
A partir de las fases de implementación y evaluación de las actividades desarrolladas en la metodología descrita anteriormente, en esta sección se presentan los resultados obtenidos para cada una de estas durante el desarrollo de este proyecto dirigido, así como los resultados de las pruebas de funcionamiento finales. Por último, se presenta la realimentación realizada hacia el resultado final para verificación de aceptación del sistema por parte de un posible usuario final.

### 4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SENSOR

La figura 30 y 31, representa gráficamente los resultados obtenidos, a través de gráficos con líneas y marcadores tanto para temperatura como para humedad, con datos obtenidos bajo un ambiente con condiciones normalmente invariantes durante 4 días distintos en las mismas franjas horarias.



**Figura 30.** Prueba 1 del Sensor - Comportamiento de la Temperatura registrada por el Sensor Vs la Temperatura registrada por termohigrómetro en condiciones típicamente invariantes, franjas horarias similares y cuatro días distintos.



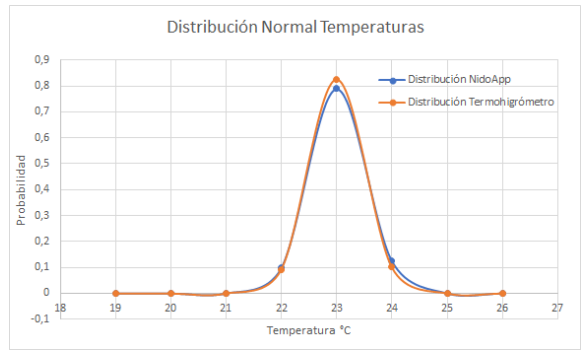
**Figura 31.** Prueba 1 del Sensor - Comportamiento de la Humedad registrada por el Sensor Vs la Humedad registrada por termohigrómetro en condiciones típicamente invariantes, franjas horarias similares y cuatro días distintos.

Por otro lado, la Tabla 2 presenta en resumen la estadística descriptiva realizada con los datos de estas variables de tipo razón y de relación independiente entre ellas, como lo son la temperatura y humedad para su posterior comparación.

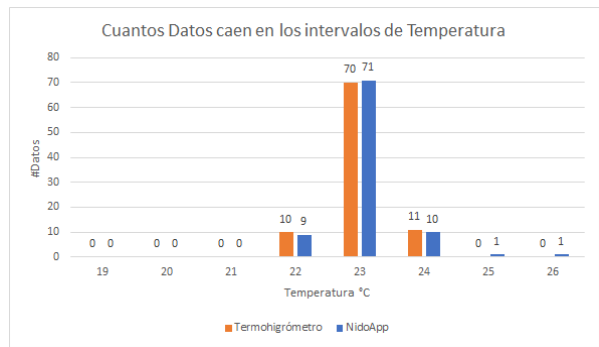
**Tabla II.**  
**ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PRUEBA 1.**

	Temperatura NidoApp	Temperatura Termohigrómetro	Humedad NidoApp	Humedad Termohigrómetro
Media	23,033 °C	23,011 °C	50,451 %	50,308 %
Error típico	0,053	0,051	0,103	0,101
Desviación estándar	0,504	0,483	0,981	0,963
Varianza de la muestra	0,254	0,233	0,961	0,926
Curtosis	3,127	1,477	1,812	1,780
Coefficiente de asimetría	0,596	0,031	1,587	1,024
Mínimo	22 °C	22 °C	49 %	49 %
Máximo	25 °C	24 °C	53 %	54 %
Cuenta	91	91	91	91
Nivel de confianza(95,0%)	0,105	0,101	0,204	0,200

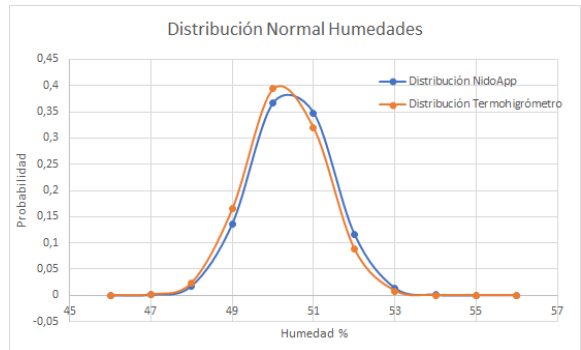
Con referencia a la tabla anterior y la recolección de esta estadística se obtiene el comportamiento normal de estas variables comparando entre ellas temperatura y humedad; a partir de esto, se observan las curvas de distribución normal en las figuras 32 y 34, así como también una representación gráfica a través de un diagrama de barras en los cuales está la cantidad de datos que caen en los intervalos de temperatura y humedad en las figuras 33 y 35.



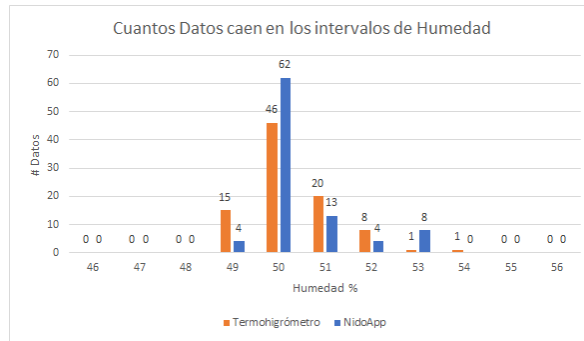
**Figura 32.** Distribución normal de Temperaturas registradas en la prueba 1.



**Figura 33.** Número de muestras que toman valores en los rangos de temperatura.



**Figura 34.** Distribución normal de Humedades registradas en la prueba 1.



**Figura 35.** Número de muestras que toman valores en los rangos de humedad.

En la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los resultados a la prueba de correlación donde en la Tabla 3 se encuentra el valor del coeficiente de correlación, en la Tabla 4 la estadística de la regresión y en la Tabla 5 los resultados de probabilidad e intervalos de confianza de esta prueba para la variación conjunta de temperaturas y con esto determinar qué tan próximos o distantes se encuentran estos datos.

**Tabla III.**  
*PRUEBA DE CORRELACIÓN ENTRE LAS 2 VARIABLES DE TEMPERATURA.*

	Temperatura NidoApp	Temperatura Termohigrómetro
Temperatura NidoApp	1	0,545836205
Temperatura Termohigrómetro	0,545836205	1

**Tabla IV.**  
*REGRESIÓN LINEAL CON LOS DATOS DE TEMPERATURAS.*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,545836205
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,297937163
R <sup>2</sup> ajustado	0,290048816
Observaciones	91

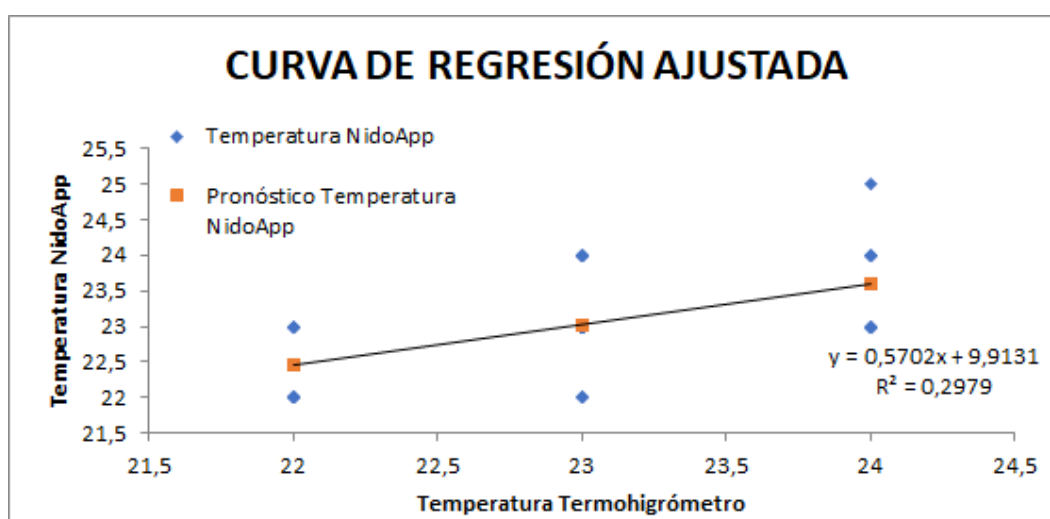
**Tabla V.**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA TEMPERATURA, A PARTIR DE PRUEBA DE REGRESIÓN.**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	6,82308843	6,82308843	37,76927944	0,00000002
Residuos	89	16,07801047	0,180651803		
Total	90	22,9010989			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Temperatura Termohigrómetro	0,570157068	0,092773761	6,145671602	2,19828E-08	0,385817581	0,75449655

A continuación, en la figura 36, se presenta la curva de regresión ajustada a partir de estos datos obtenidos, el cual es un diagrama de dispersión con los valores que toman ambas variables y su aproximación a la recta.



**Figura 36.** Curva de regresión que atraviesa la nube de puntos de temperaturas registradas y que mejor se ajusta a estos y ecuación de estimación para posibles valores desconocidos.

Así mismo la ecuación de dicha recta conocida como ecuación de estimación permite calcular valores desconocidos según el comportamiento de las variables; por ejemplo, la ecuación 1 describe el comportamiento que mejor se ajusta a los datos:

$$y = 0,5702 x + 9,9131 \tag{1}$$

A partir de lo anterior, conociendo esta ecuación y suponiendo que se registra con el termohigrómetro una temperatura de 24°C en determinado instante de tiempo al reemplazar en la ecuación, se obtiene que:

$$y = 0,5702 * (24) + 9,9131 = 23,59°C \tag{2}$$

De esta manera como se ve en la ecuación 2, conociendo que el termohigrómetro en ese instante de tiempo registró 24°C, se estima que en el mismo instante de tiempo es muy probable que el sensor de NidoApp registre 23,59°C.

Por otro lado, se realiza lo mismo para la humedad, en la Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 se muestran los resultados a la prueba de correlación. En la Tabla 6 se encuentra el valor del coeficiente de correlación, en la Tabla 7 la estadística de la regresión y en la Tabla 8 los resultados de probabilidad e intervalos de confianza de esta prueba para la variación conjunta de humedades y con esto determinar qué tan próximos o distantes se encuentran estos datos.

**Tabla VI.**  
**PRUEBA DE CORRELACIÓN ENTRE LAS 2 VARIABLES DE HUMEDAD.**

	Humedad	
	Humedad NidoApp	Termohigrómetro
Humedad NidoApp	1	0,557849934
Humedad Termohigrómetro	0,557849934	1

**Tabla VII.**  
**REGRESIÓN LINEAL CON LOS DATOS DE HUMEDAD.**

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,557849934
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,311196549
R <sup>2</sup> ajustado	0,303457184
Observaciones	91

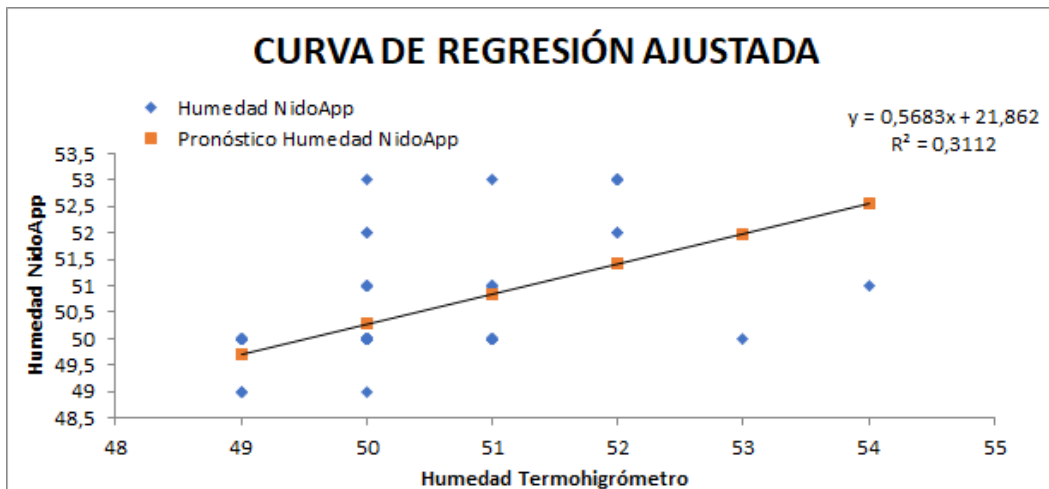
**Tabla VIII.**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA HUMEDAD, A PARTIR DE PRUEBA DE REGRESIÓN.**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	26,92705081	26,92705081	40,20957324	0,00
Residuos	89	59,60042172	0,66966766		
Total	90	86,52747253			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Humedad Termohigrómetro	0,568265683	0,089616236	6,341101894	9,2204E-09	0,390200131	0,746331234

Así mismo en la figura 37, se presenta la curva de regresión ajustada a partir de estos datos obtenidos, el cual es un diagrama de dispersión con los valores que toman ambas variables y su aproximación a la recta.



**Figura 37.** Curva de regresión que atraviesa la nube de puntos de humedades registradas y que mejor se ajusta a estos y ecuación de estimación para posibles valores desconocidos.

De la misma forma como se realizó con la temperatura, La ecuación de estimación para calcular valores de humedad desconocidos según el comportamiento de las variables es la siguiente:

$$y = 0,5683 x + 21,862 \quad (3)$$

A partir de lo anterior, conociendo esta ecuación y suponiendo que se registra con el termohigrómetro una humedad del 53% de humedad relativa en determinado instante de tiempo al reemplazar en la ecuación, se obtiene que:

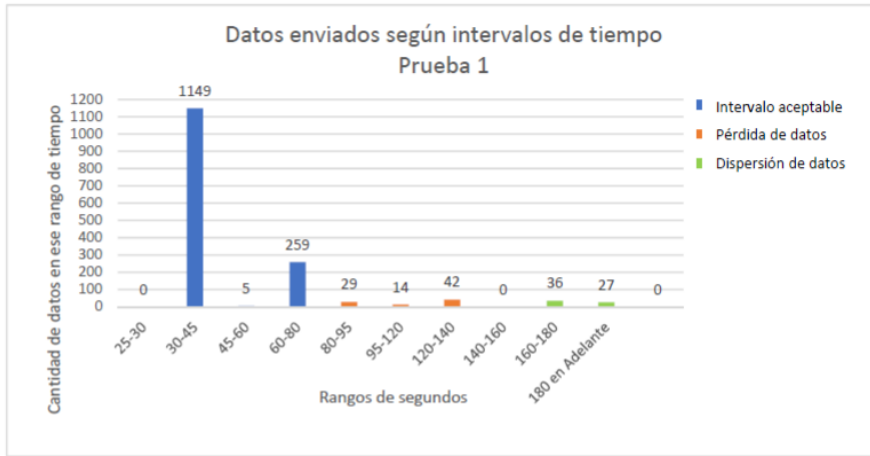
$$y = 0,5683 * (53) + 21,862 = 51,98^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

De esta manera como se ve en la ecuación 4, conociendo que el termohigrómetro en ese instante de tiempo registró 53 %HR, se estima que en el mismo instante de tiempo es muy probable que el sensor de NidoApp registra aproximadamente 52 %HR.

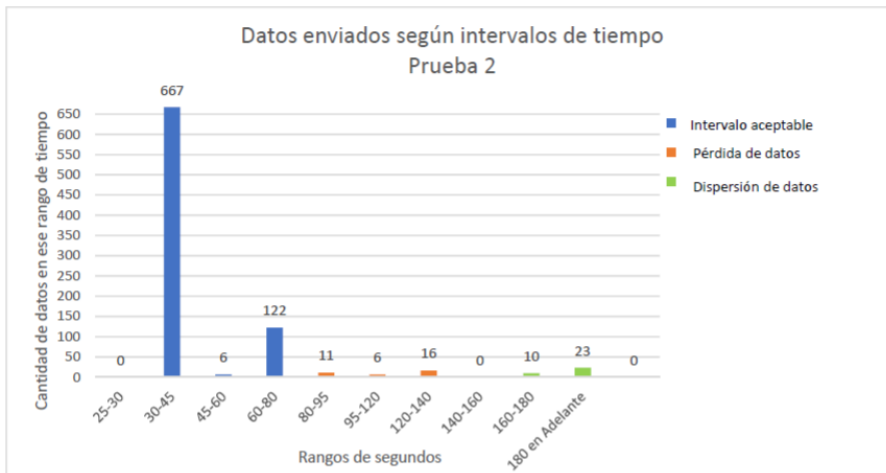
## 4.2 CARACTERÍSTICAS EN EL REGISTRO DE LOS DATOS

A continuación, en las figuras 38, 39, 40 y 41 se observan los resultados de la prueba 2 definida en las pruebas del sensor. Para la obtención de estos, se analizaron los tiempos de envío de datos durante las jornadas continuas de sensado, y mediante un algoritmo en un sistema de cómputo (MATLAB), se logra determinar entre las horas registradas el tiempo exacto entre dato y dato enviado estas se muestran como Prueba1, Prueba2, Prueba3 y Prueba4 las cuales corresponden a las jornadas en el día 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Evidenciando entonces cuantas veces entre dato y dato transcurre determinado intervalo de tiempo y tarda en llegar el mensaje.

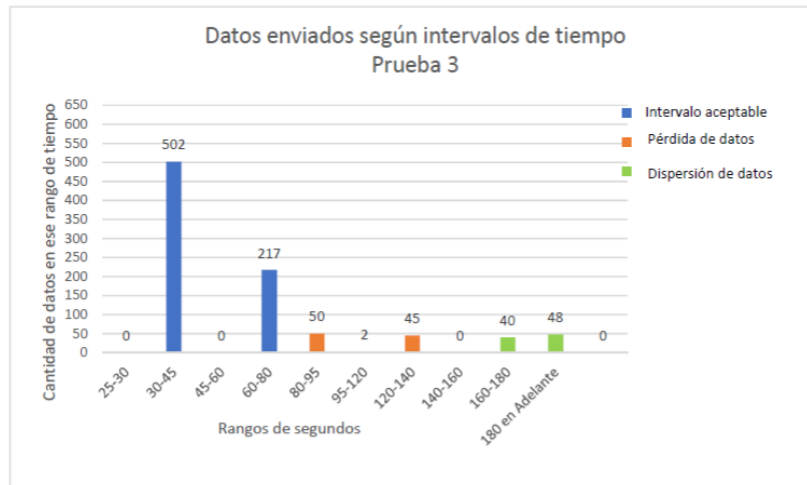




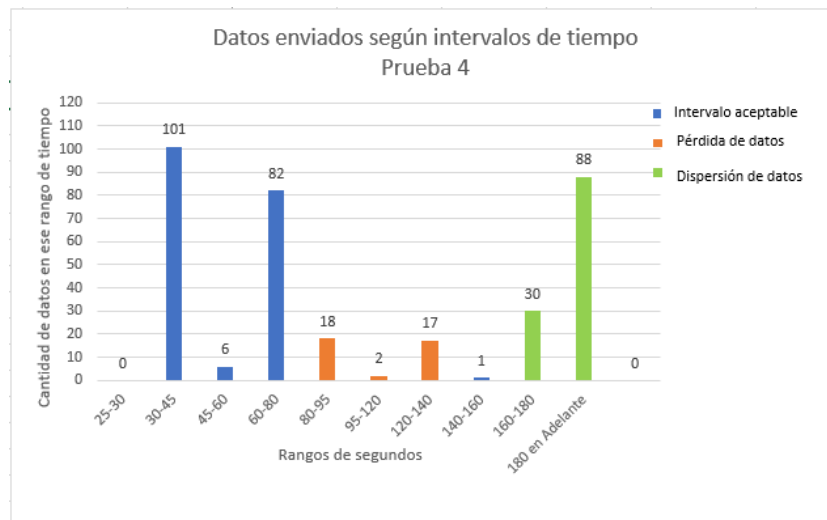
**Figura 38.** Número de veces que entre dato y dato enviado transcurren ciertos intervalos de tiempo. Día 1



**Figura 39.** Número de veces que entre dato y dato enviado transcurren ciertos intervalos de tiempo. Día 2



**Figura 40.** Número de veces que entre dato y dato enviado transcurren ciertos intervalos de tiempo. Día 3



**Figura 41.** Número de veces que entre dato y dato enviado transcurren ciertos intervalos de tiempo. Día 4

Posteriormente, se reúnen estos datos en la Tabla 9 con el fin de compararlos y describir la eficiencia del sistema, calculando un aproximado en pérdidas de datos obtenidos, datos dispersos y el comportamiento de estos.

**Tabla IX.**  
**COMPARACIÓN DATOS ENVIADOS CORRECTAMENTE, PÉRDIDA DE DATOS Y DATOS DISPERSOS**

		<i>Prueba 1</i>	<i>Prueba 2</i>	<i>Prueba 3</i>	<i>Prueba 4</i>
Datos enviados dentro del rango establecido		1413	795	719	189
Perdida de datos		85	33	97	37
Datos Dispersos		63	33	88	118
Mínimo tiempo entre dato y dato	(s)	30	30	30	30
Máximo tiempo entre dato y dato	(s)	651	592	1171	1028

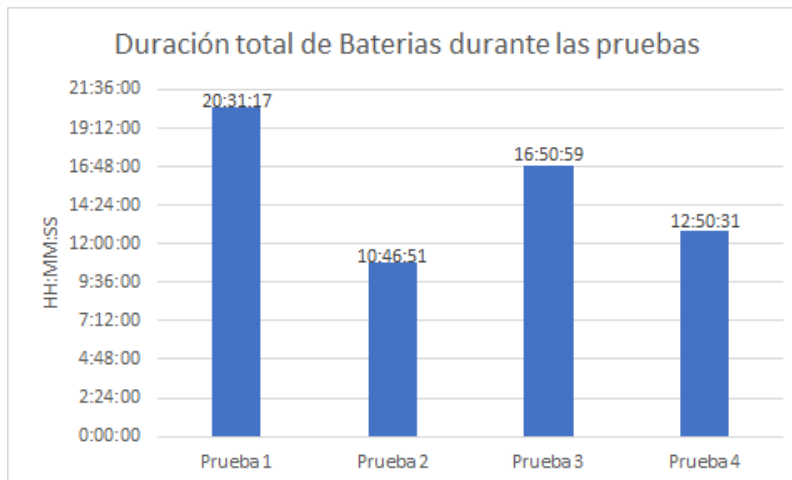
### 4.3 RENDIMIENTO DEL SISTEMA

A continuación, en la Tabla 10, se observa el resultado de las 4 subpruebas realizadas con baterías AAA de distintas marcas, desde su instalación hasta su respectiva descarga con el fin de estimar el rendimiento del sistema, saber el mejor tipo de baterías a utilizar y la duración promedio de las mismas.

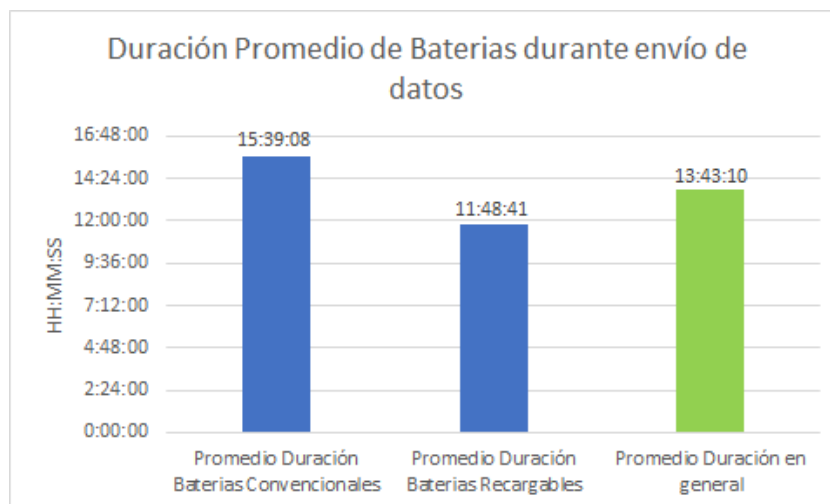
**Tabla X.**  
**DATOS REGISTRADOS DURANTE LAS 4 PRUEBAS A BATERÍAS DEL SISTEMA.**

		<i>Prueba 1</i>	<i>Prueba 2</i>	<i>Prueba 3</i>	<i>Prueba 4</i>
		Convencionales AAA VARTA	Recargables AAA Energizer	Convencionales AAA Energizer	Recargables AAA GP
Baterías					
Hora de Inicio de envío de datos	(HH:MM:SS)	10:57:11 a.m	10:53:54 a.m	11:38:34 a.m	11:23:40 a.m
Voltaje al inicio de envío de datos	(V)	4,88	4,78	4,78	4,17
Hora al final de envío de datos	(HH:MM:SS)	6:26:28 a.m	9:39:45 p.m	3:28:33 a.m	11:33:29 p.m
Voltaje al final de envío de datos	(V)	1,75	2,75	2,75	1,73
Total de horas de envío de datos	(HH:MM:SS)	20:31:17	10:46:51	16:50:59	12:50:31
Total de datos enviados		1562	862	905	346

De la misma forma, en las figuras 42 y 43 se observa gráficamente el comportamiento de la duración de las baterías durante las pruebas en horas y así mismo la comparación de medias entre los tipos de baterías utilizados y duración promedio de las baterías en general dejando al sistema registrar las variables hasta su total descarga.



**Figura 42.** Duración total de las baterías hasta su descarga según prueba realizada.

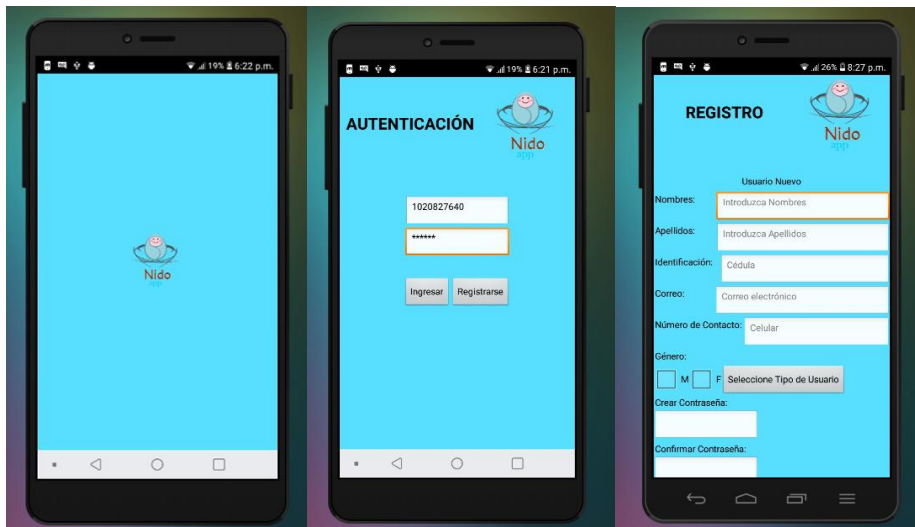


**Figura 43.** Duración en promedio de las baterías según tipo de baterías y rendimiento promedio en general de las baterías en el sistema.

#### 4.4 RESULTADOS DE LA INTERFAZ

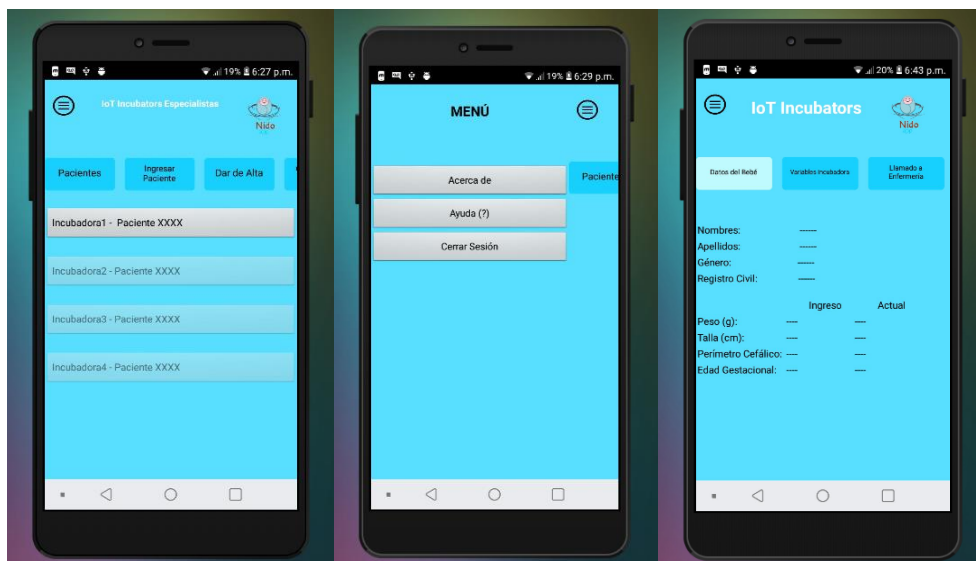
Teniendo en cuenta las distintas funcionalidades y requerimientos que se desean obtener con la aplicación y la interfaz de escritorio, A continuación, se presenta como se logra organizar adecuadamente las funciones de la herramienta digital siendo esta una versión mejorada pero aun así prototipo ya que no cuenta con la totalidad de funciones habilitadas únicamente las necesarias para el alcance a los objetivos del desarrollo de este trabajo dirigido.

En las figuras 44, 45 y 46 se muestra respectivamente, los cambios que se hicieron a los diseños de las ventanas o pantallas de la aplicación móvil NidoApp.

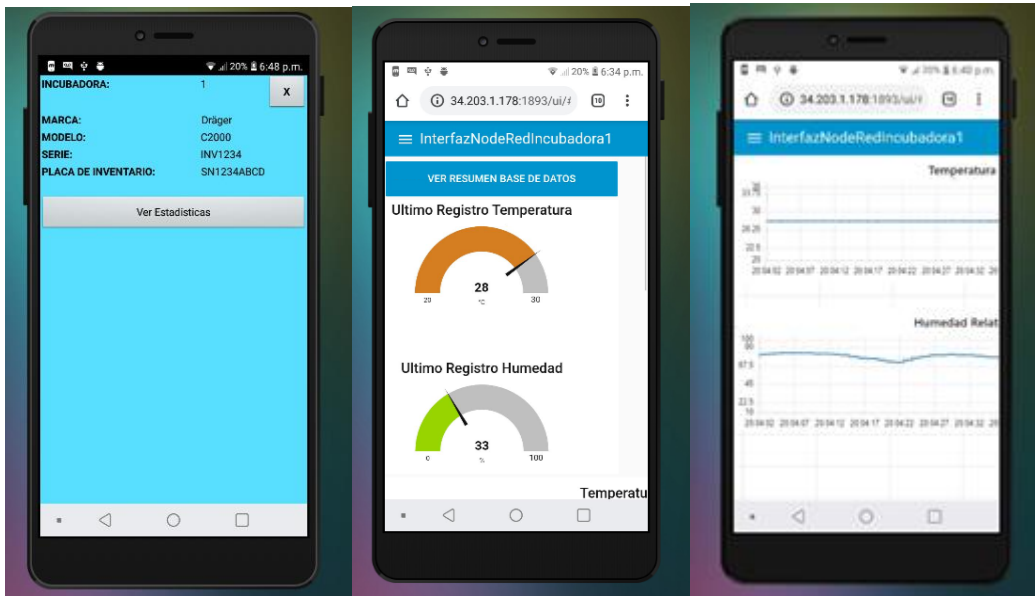


**Figura 44.** De izquierda a Derecha. Acceso a la App, Pantalla de ingreso a la App, Pantalla de Registro como usuario nuevo.

A continuación, se observan las pantallas con funcionalidades adicionales para la aplicación desarrollada

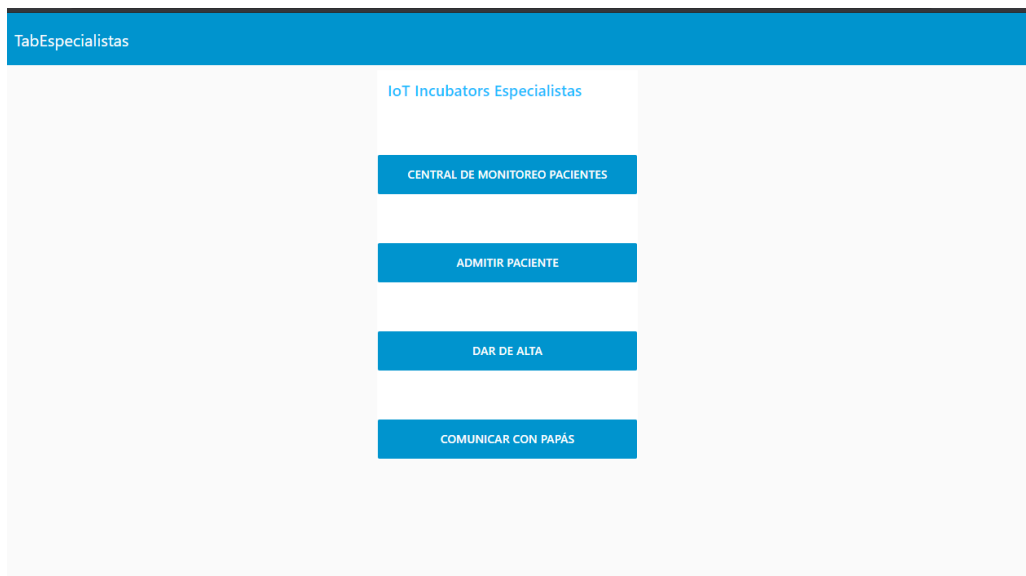


**Figura 45.** De izquierda a Derecha. Menú de Especialistas, Barra lateral opciones, Menú usuario convencional.



**Figura 46.** De izquierda a Derecha. Pantalla Incubadora 1 Seleccionada, Pantalla datos en tiempo real Incubadora, Pantalla registro gráfico Temperatura.

Así mismo, en las figuras 47, 48 ,49 y 50 se presentan las pantallas “Screens” realizadas para la interfaz de escritorio.



**Figura 47.** Pantalla de Inicio a la aplicación de especialista con botones de funcionalidades.

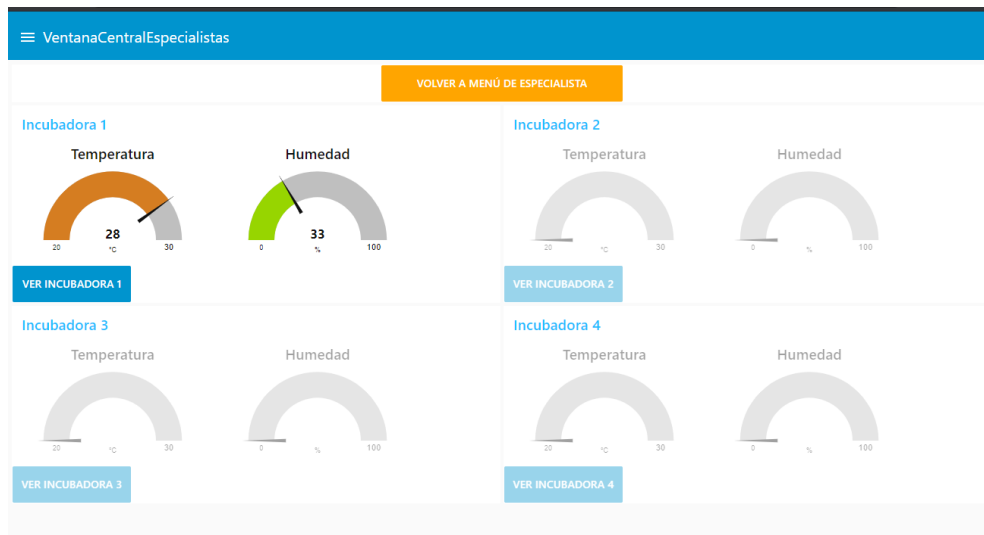


Figura 48. Pantalla principal de central de monitoreo

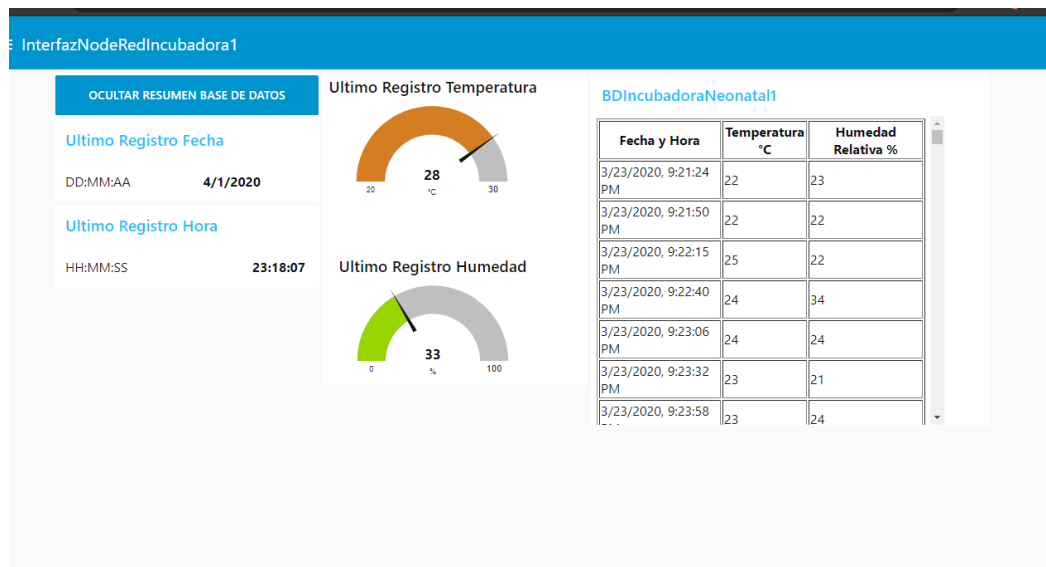
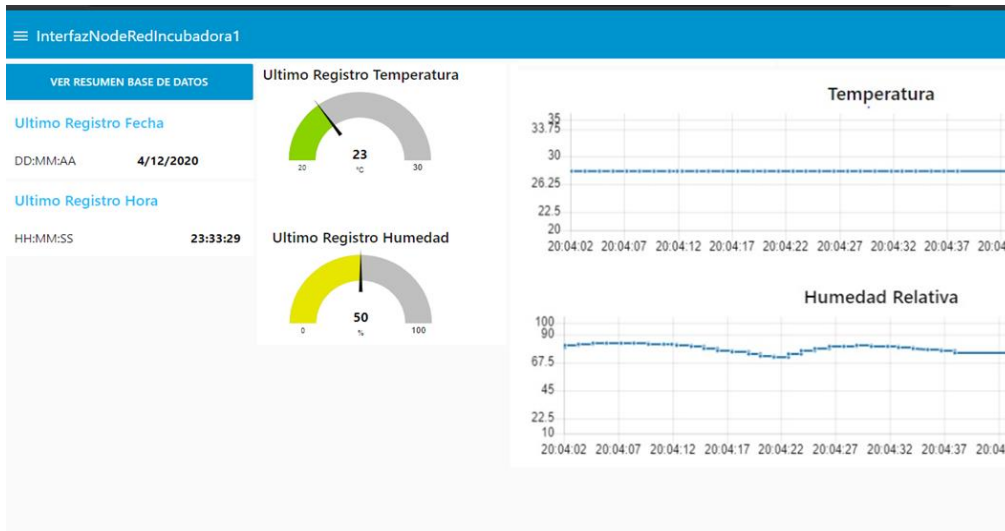


Figura 49. Botón para habilitar gráficas, Información última hora y fecha de registro, indicadores de temperatura y humedad y registro extraído de la base de datos.

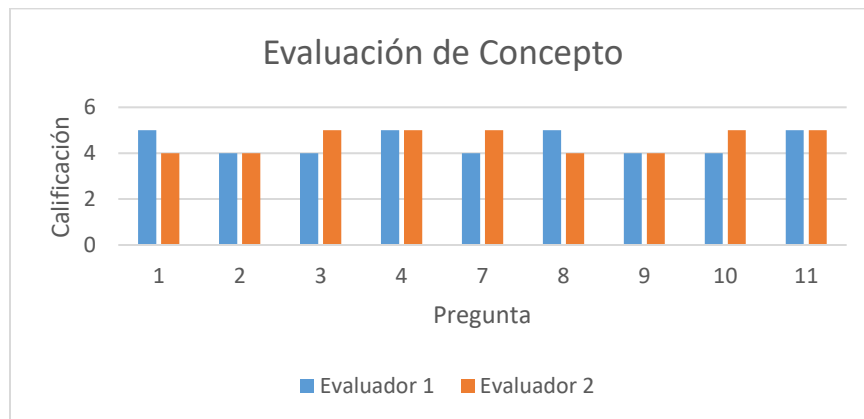


**Figura 50.** Botón para ocultar gráficas y mostrar tabla resumen, Información última hora y fecha de registro, indicadores de temperatura y humedad y gráficas de comportamiento de temperatura y humedad.

#### 4.5 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CONCEPTO APP IoT

Las pruebas de concepto del internet de las cosas se basan en la percepción que tiene el usuario final de las funcionalidades de un servicio IoT, desde el acceso remoto, la posibilidad de una aplicación móvil, la medición de parámetros en ubicaciones distintas, el almacenamiento y acceso a la información.

El cuestionario desarrollado para evaluación del sistema general de NidoApp en la semana número 14 (Anexo 3), puede ser evaluado según la escala de Likert debido a la estructura de las afirmaciones propuestas. A la fecha dicha evaluación fue diligenciado por el Ingeniero Biomédico de la Clínica infantil Colsubsidio y una enfermera en jefe del área de Cuidados Intermedios pediátricos de la misma siendo una aceptación positiva y con percepciones constructivas del proyecto.

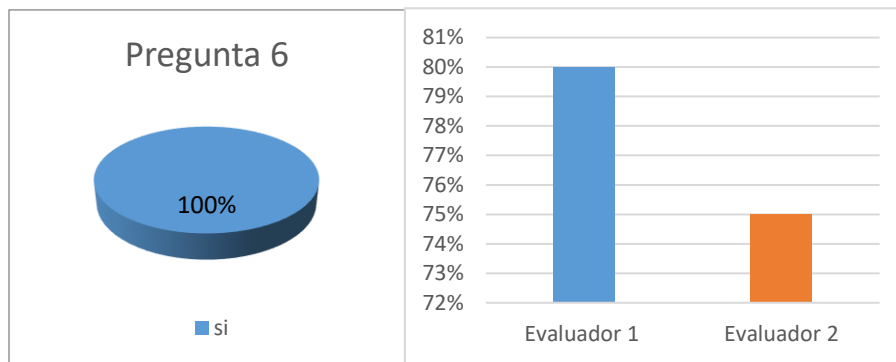


**Figura 51.** Diagrama de resultados evaluación de concepto

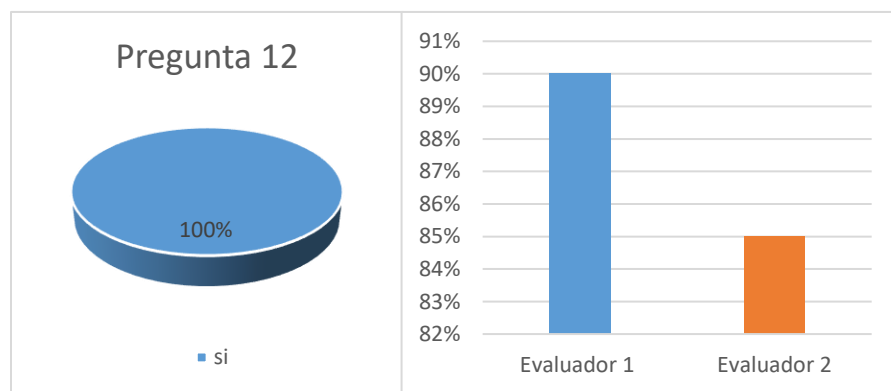




**Figura 52.** Diagrama de resultados evaluación de concepto pregunta 5.



**Figura 53.** Diagrama de resultados evaluación de concepto pregunta 6.



**Figura 54.** Diagrama de resultados evaluación de concepto pregunta 12.

Esta misma encuesta se espera sea diligenciada por el personal biomédico de la Clínica Méderi, así como personal de enfermería de esta, pues actualmente el protocolo de investigación clínica ya se encuentra en comité técnico para comprobar la aceptación y aprobación de la propuesta presentada y el enfoque del proyecto.

## 5. DISCUSIÓN

El sistema de NidoApp, es una herramienta que surge como apoyo para el monitoreo en tiempo real de pacientes neonatales en estado de prematuridad, su función es permitir a especialistas y familiares observar el comportamiento, vigilar las variables y tener un registro continuo de dicho comportamiento para el cuidado del recién nacido. El tiempo total en el que se desarrolló este proyecto dirigido, fue de 15 semanas, tiempo en el cual se llevó a cabo el diseño, programación y prueba del sistema.

Durante la fase inicial de consulta de estado del arte y antecedentes, se planteó la necesidad a la cual se quiere dar solución y se estima que esta herramienta pretende contribuir en la mejora del rendimiento de las tareas de monitoreo y registro del comportamiento de las variables de temperatura y humedad en tiempo real de incubadoras neonatales.

La metodología realizada mediante fases y ciclos de actividades, descrita a detalle en incisos anteriores tenía propósitos específicos para integrar al final el funcionamiento del sistema e ir mejorando a su vez la herramienta diseñada, esto con el fin de avanzar y culminar el proyecto complementando y corrigiendo cada resultado parcial que se obtenía.

El tipo de sensor utilizado DHT cuenta con un sensor de humedad de tipo resistivo y un componente NTC para la medición de temperatura, el cual tiene un rango de sensado de la temperatura de 0°C hasta 50°C y de medición de porcentajes de humedad relativa entre 30% y 90% traducido en transmisiones de datos de 40 bits en un formato especial para envío por parte del microcontrolador del sensor propio, tal como está indicado en las hojas de datos del fabricante. La configuración que se realizó del sistema por medio de la programación del algoritmo permitió medir temperatura y porcentajes de humedad relativa positivos, los cuales en las pruebas realizadas comprenden sus datos en rangos de aproximadamente 22°C a 40°C y 49% hasta 55% HR.

En la implementación del sensor con las pruebas de funcionamiento, durante 4 días distintos en franjas horarias similares se comprueba que, en condiciones poco invariantes, al comparar las mediciones del sensor frente la medición realizada con termohigrómetros calibrados, la diferencia o desviación en los datos registrados es mínima pues gráficamente se logra observar que la variación es pequeña, tanto para temperatura como para humedad. En la Tabla II y las figuras 32, 33, 34 y 35 se muestra la estadística descriptiva y el comportamiento en función de densidad de las distribuciones normales en torno a la media de los datos registrados de temperatura y humedad. Allí se observa cómo el error entre los datos es muy pequeño y por ende la desviación estándar entre las mismas variables es a su vez pequeña, es fácil observar como en los valores registrados la variación en temperaturas no supera los 3°C y la variación en humedad relativa no superan el 4% por ende el nivel de confianza a este comportamiento es alto.

Especialmente en las figuras 32 y 34 se compara el comportamiento entre termohigrómetro y sensor tanto para temperatura como para humedad y a simple vista el comportamiento que estos siguen bastante cercanos y para esto se realiza la prueba de correlación y regresión para observar la linealidad presente.

La correlación se realizó para conocer si ambas variables de temperatura y ambas variables de humedad están relacionadas entre ellas, y encontrar la expresión que refleja dicha relación. Como se observa en la figura 36 y figura 37 la correlación entre estas es lineal y mediante las ecuaciones de estimación 1 y 3 se logra aproximar el posible valor registrado por el sensor conociendo un valor registrado por el termohigrómetro. En la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los resultados a la prueba de correlación donde en la Tabla 3 se encuentra el valor del coeficiente de correlación o dependencia lineal de temperaturas, así como en la Tabla 6 para humedades, en ambos casos son valores positivos lo cual indica que existe correlación fuerte mayor a 0,5 y así no sea en la misma proporción la desviación en ambos casos como se mencionó es pequeña.

En la Tabla 4 y Tabla 7 además de encontrar nuevamente el coeficiente de correlación se encuentra el número de observaciones o datos involucrados en dicho análisis y el coeficiente de determinación; este último, representa el ajuste del modelo e indica el grado porcentual en el cual varían las variables dependientes respecto a las variables independientes es decir, para el caso de la temperatura si existe un cambio en el registro del termohigrómetro es muy probable que el cambio que registre el sensor se vea afectado en un 29% lo mismo para la humedad pero en un 31%.

Finalmente concluyendo los resultados que permiten obtener un panorama en la confiabilidad del sensor, en la Tabla 5 y Tabla 8 se encuentra dentro del análisis de varianza, la significancia global del modelo y la significancia individual del modelo por un lado para la significancia global del modelo, es importante el valor crítico de F pues si se tiene un p-valor menor a 0.05 como en este caso que es mucho menor tanto para temperatura como para humedad entonces el modelo es significativo, es decir hay una relación entre el comportamiento de la variable dependiente respecto al comportamiento de la variable independiente. Y por el otro lado para la significancia individual del modelo, el coeficiente, determina por cada unidad de cambio registrada cuanto es el porcentaje estimado que puede cambiar en la variable independiente y los intervalos de confianza (inferior 95% - superior 95%) los límites en porcentajes en los cuales probablemente pueden variar los datos siendo límites muy ajustados y pequeños donde no permite que los datos varíen mucho. Así mismo el error típico permite determinar la confiabilidad de las mediciones adquiridas en el caso de la temperatura este error es del 9,3% lo cual indica que para la temperatura la confiabilidad es del 90,7% y para la humedad el error típico es del 8,9% indicando que la confiabilidad para la humedad es del 91,1%.

El cálculo de tiempos de envío de datos y la pérdida de los mismos para describir la eficiencia del sistema, se logra realizar mediante un algoritmo desarrollado en Matlab y el posterior tratamiento de dichos datos; de esta manera, fue posible segmentar las fechas en intervalos de tiempo en segundos para analizar entre dato y dato registrado, cuánto tarda en sensar y enviarse el mensaje con la información; para ello, en las figuras 38, 39, 40 y 41 se observan día a día en las 4 sub-pruebas realizadas, cuantos datos pertenecen a dichos intervalos de tiempo. En la programación del sensor normalmente se establecieron retardos de entre 30-40 segundos y se considera como aceptable dentro de datos normales hasta máximo 60 segundos de retardo por otro lado entre 80 segundos y 140 segundos de retardo se considera que comienza a haber pérdida de datos pues supera el doble de tiempo establecido y finalmente para datos que tardaron entre 160 segundos y más, se considera que son datos bastantes dispersos y que pertenecen a errores en funcionamiento o en el registro.

La Tabla 8 agrupa esta última información señalando según la prueba que corresponde cuantos datos se enviaron con retardos de tiempo dentro de lo normal, cuantos tardaron más y son considerados como aceptables o pérdidas y cuántos son bastante dispersos además de los tiempos mínimos y máximos de retardo entre dato y dato. De esta forma Teniendo en cuenta que para la prueba 1 el total de datos enviados durante la jornada fue de 1562, el 90,46% de datos se envió dentro de un rango de tiempo normal, el 5,44% de datos se envió en intervalos superiores donde ya se considera que existe pérdida de datos y el 4,03% se envió en intervalos de tiempo que pertenece a errores en el registro, para la prueba 2 el total de datos enviados durante la jornada fue de 862, el 92,22% de datos se envió dentro de un rango de tiempo normal, el 3,82% de datos se envió en intervalos superiores donde ya se considera que existe pérdida de datos e igualmente el 3,82% se envió en intervalos de tiempo que pertenece a errores en el registro, para la prueba 3 el total de datos enviados durante la jornada fue de 904, el 79,53% de datos se envió dentro de un rango de tiempo normal, el 10,73% de datos se envió en intervalos superiores donde ya se considera que existe pérdida de datos y el 12,23% se envió en intervalos de tiempo que pertenece a errores en el registro, por último para la prueba 4 el total de datos enviados durante la jornada fue de 344, el 54,94% de datos se envió dentro de un rango de tiempo normal, el 10,75% de datos se envió en intervalos superiores donde ya se considera que existe pérdida de datos y el 34,3% se envió en intervalos de tiempo que pertenece a errores en el registro.

En resumen, para esta prueba de eficiencia en tiempos de envío y pérdida de datos, el total de datos enviados durante toda la jornada de cuatro días fue de 3672, el 84,85% de datos se envió dentro de un rango de tiempo normal, el 6,86% de datos se envió en intervalos superiores donde ya se considera que existe pérdida de datos y el 8,22% se envió en intervalos de tiempo que pertenece a errores en el registro.

Este tipo de pruebas es un buen comienzo para observar cómo se comporta el sistema una vez se somete a pruebas de funcionamiento y registro ya que para el desarrollo de aplicaciones en loMT, a medida que se realizan aplicaciones cada vez más robustas se toman en cuenta variables como lo son demoras en la ejecución, poca experiencia del usuario y fallas en los tiempos de ejecución. La mejora de algoritmos y eficiencia pueden ayudar a minimizar la energía consumida, aunque también se deben incluir otros parámetros como la movilidad y la latencia para soluciones adecuadas para loMT, así como recursos de tiempo como son el ancho de banda de red y las métricas de capacidad de almacenamiento y capacidad computacional [33]. Así mismo, la imperfección y aleatoriedad en los datos son consecuencia del constante flujo de datos. los factores principales que pueden verse implicados en esto son las fuentes de datos en diferentes entornos, lo que hace casi imposible garantizar la secuencia de llegada de datos, el proceso de transmisión de datos puede provocar desorden, puede perder datos, dañarlos o retrasarlos debido a las condiciones de red que cambian constantemente por un flujo en tiempo real.

Para el análisis de estimación del rendimiento de sistema, se tiene en cuenta la duración de las baterías sometiendo al sensor a un máximo de envío de datos hasta su total descarga, se realiza una comparación en el número total de envíos de datos durante la primera, segunda, tercera y cuarta prueba y el tiempo transcurrido hasta sus respectivas descargas tal y como se presentó en la Tabla 10, allí es evidente ver como varía el tiempo de duración tanto por el tipo de batería usada (convencional o recargable) y por el tipo de marca utilizada en estas pruebas (Energizer, VARTA y GIP). En la figura 42 se observa

gráficamente dicho comportamiento evidenciando que las baterías convencionales tienden a durar más tiempo que las baterías recargables, así mismo el total de datos enviados con esas baterías es mayor, para estas pruebas el desempeño fue mejor de las baterías convencionales VARTA y de las Baterías recargables Energizer. Para ver un poco mejor la relación se observa en la figura 43 la comparación de medias según el tipo de batería y como se mencionó antes las baterías convencionales logran durar más, en este caso alrededor de 2,5 horas más. En general el rendimiento del tipo de baterías AAA utilizado para este sistema tiene una duración en promedio de 13,4 horas lo cual se clasifica como aceptable pues a la hora de realimentar resultados con personas involucradas en servicios de enfermería manifestaron que la duración de medio día es suficiente y óptimo para no descuidar un monitoreo de paciente pues encaja con jornadas de cambio y entrega de turno y toma de registro de variables, tiempo en el cual se puede dedicar a verificar a su vez el estado del sensor.

Los resultados obtenidos dentro de las actividades de desarrollo de interfaz de usuario para aplicación móvil y aplicación de escritorio son las esperadas, teniendo en cuenta las herramientas implementadas y las posibilidades que éstas ofrecen para diseño y programación en el tiempo que se le dedicó a dichas actividades. De esta forma se demuestra a su vez la versatilidad que tienen dichas herramientas de software interactivo, de acceso libre y gratuitas que por medio de herramientas básicas, y otras pre diseñadas y/o API's se logra enlazar una secuencia lógica para entregar aplicaciones funcionales. Para el desarrollo de este trabajo dirigido se habilitan únicamente las funcionalidades que se ven involucradas en el cumplimiento de los objetivos planteados, sin dejar de mostrar en las figuras de los respectivos resultados de las interfaces, el alcance y funcionalidades que complementan la aplicación para futuro desarrollo. Se observa en las figuras como el diseño permite que sean interfaces amigables e intuitivas, que presentan la información relevante en sus respectivas pantallas, así como a la hora de presentar el comportamiento del sensor hace uso de colores, y figuras que se actualizan a medida que se va registrando un nuevo dato, permitiendo comprender lo que sucede en la aplicación y lo que está sucediendo en ese instante donde se encuentra el sensor.

Finalmente, con el objetivo de recibir comentarios de aceptación, y opiniones para mejora, evaluando el desempeño del sensor, puesta en marcha de la aplicación e impresiones generadas, de acuerdo con la escala de Likert, se miden las actitudes y el nivel de conformidad de algunos de los posibles usuarios finales, en este caso dos jefes de enfermería una persona del común con la premisa de llegar a ser padre de un bebé prematuro, y un ingeniero clínico.

El análisis de los resultados obtenidos es presentado a la fecha de redacción de este documento; sin embargo, dependiendo el impacto que pueda generar y teniendo en cuenta posibles intereses de la herramienta y su puesta en marcha, se prevé la posibilidad de continuar con el desarrollo del sensor y el alcance de esta herramienta.

## 6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Mediante el desarrollo de este proyecto y posteriores mejoras que se realicen a la herramienta de NidoApp, se espera contar con un sistema integral que al estar basado en una arquitectura de IoT permite la aplicación de nuevas alternativas en términos de supervisión y gestión de la información de una incubadora para el cuidado de recién nacidos en estado de prematuridad, monitoreo de variables en tiempo real y acceso a la información de forma remota para supervisión por parte del personal asistencial y familiares del bebé.

Se espera que con esta herramienta se impulse el desarrollo de sistemas remotos y más robustos para manejo de bases de datos clínicos y permita aportar soluciones reales desde el área de ingeniería biomédica que está al tanto de nuevos avances tecnológicos y en constante investigación para su aplicación en ambientes como hospitales, centros médicos y puntos de salud, intentando a su vez continuar en medio de lo posible, con el uso de soluciones de bajo costo, accesibles, y de fácil manejo para mejorar el desarrollo de herramientas tradicionales y generar mayor impacto.

La posibilidad de mejorar los sistemas tradicionales para registro y trazabilidad de variables en ambientes controlados pueden lograr impactar directamente al paciente y contribuir a la minimización de costos de asistencia en salud, insumos, mantenimientos y servicios de hospitalización, al monitoreo del correcto funcionamiento de los equipos biomédicos y fomentar la participación de los padres en las diferentes áreas de neonatología en los hospitales, involucrándose en procesos de cuidado del RN, como apoyo del personal de enfermería.

Cabe destacar la importancia de analizar y profundizar en la mejora de los algoritmos a medida que el contenido y funcionalidades de la herramienta va creciendo, pues en desarrollos de IoMT las demoras en la ejecución y fallas en el tiempo de ejecución pueden ser consecuencia de esto, el ancho de banda de red, bases de datos para almacenamiento y capacidad computacional.

Las mejoras para una correcta implementación en cuanto a la seguridad debe tenerse en cuenta y más cuando en las aplicaciones se cuenta con sistemas de control de acceso y registro de los usuarios que utilizan la herramienta, en el caso de este trabajo dirigido se registraron usuarios aleatorios de carácter ficticio para acceso a la versión de especialista y versión de familiar, sin embargo para una puesta en marcha real es necesario además de asignar usuarios, contraseñas y delimitar funciones a las cuales puede acceder y restringir el acceso a otras, contar con todas las políticas y normatividad vigente acerca de tratamiento de datos personales y el lugar final en el cual se almacena la información ingresada.

Mediante el diseño experimental para protocolo de investigación se espera continuar con el desarrollo e implementación a futuro del sistema, para la validación de funcionamiento del dispositivo, así como una evaluación de desempeño de la herramienta desarrollada en un entorno real y a su vez un diseño observacional basado en la experiencia de un grupo de usuarios limitado y restringido sobre la aplicación e interfaz.

Así mismo luego de las pruebas parciales durante la implementación y mejoras que se puedan realizar en cuanto a sensores y baterías, dentro de esta etapa de diseño posterior a este proyecto dirigido en calidad de investigación se propone de la mano del tutor y profesores que han orientado este trabajo presentar el diseño según clasificación de riesgo ante la entidad regulatoria para patente y los códigos de programación para registro en derechos de autor, realizar las pruebas en entorno real, el cual en este caso será un entorno clínico, así como también participar en charlas, foros y congresos que abarquen estas temáticas de interés y fomentar la investigación y desarrollo de este tipo de herramientas.

## 7. CONCLUSIONES

El desarrollo de aplicaciones biomédicas, y herramientas tecnológicas para el servicio de la salud logra impactar de forma positiva los procesos tradicionales, brindar soporte a los especialistas y plantear estrategias de solución a problemas presentes en la cotidianidad.

Los resultados que se obtuvieron gracias a la implementación del sistema desarrollado aportaron datos suficientes de una primera etapa del comportamiento del sensor y de la aplicación para evaluar la confiabilidad de este, las variaciones en los datos enviados y la eficiencia del sistema según esas mediciones registradas, latencia en tiempos de envío, así como la pérdida de datos.

El sistema desarrollado con interfaz gráfica para la visualización y monitoreo de la incubadora, mediante protocolos de comunicación y conexión a través de IoT, permite el registro y acceso de usuarios diferentes a la herramienta, sin embargo es necesario la mejora de esta según recomendaciones previamente mencionadas, esto representa una oportunidad para complementar y posteriormente desarrollar más herramientas que pueden optimizar tan bien como ésta otros procesos en otras áreas de la clínica, logrando contribuir al personal responsable y fomentar el uso de tecnología biomédica.

Finalmente, la realización de este trabajo dirigido permitió la integración de conocimientos adquiridos a lo largo del programa de pregrado, enlazar áreas de programación, diseño, electrónica e instrumentación, así como el conocimiento de entornos reales de implementación y el impacto que la tecnología biomédica puede generar.



## 8. REFERENCIAS

- [1]. Abril L, Cuervo E. (1994) Manual Pediátrico. Cap. 1 Neonatología. El prematuro. Problemas de la Prematuridad. Segunda Edición , D'VINNI EDITORIAL LTDA. Bogotá Colombia. pp. 11
- [2].Jasso L. (2008). Neonatología práctica. Cap.1 Atención perinatal por niveles. Importancia de la prematuridad. Séptima Edición. Ed. El manual Moderno S.A. México. pp 5-7
- [3].Ministerio de Salud y Protección Social - Colciencias (2013). Centro Nacional de Investigación en Evidencia y Tecnologías en Salud CINETS. Guía de práctica clínica del recién nacido prematuro - 2013 Guía No. 04. Sección 1. Alcance y objetivos. pp. 23. Bogotá. Colombia
- [4].Jasso L. (2008). Neonatología práctica. Cap. 5 Nutrición y metabolismo. Alimentación del niño prematuro. Séptima Edición. Ed. El manual Moderno S.A. México. pp 111-120
- [5].Instituto Nacional de Salud. Ministerio de Salud (2019). Informe de Evento Mortalidad Perinatal y Neonatal Tardía. Colombia Primer Semestre 2019. Versión 04 Disponible en: <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/MORTALIDAD%20PERINATAL%20Y%20NEONATAL%20TARD%C3%8DA%20SEMESTRE%20I%202019.pdf>
- [6].Instituto Nacional de Salud. Ministerio de Salud (2019).Boletín Epidemiológico Semanal. Colombia 2019. Morbilidad Materna Extrema.Disponible en: <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2019%20Bolet%C3%ADn%20epidemiol%C3%B3gico%20semana%2023.pdf>
- [7].Departamento de Salud Reproductiva e Investigaciones Conexas. Organización Mundial de la Salud. (2004) Método madre Canguro: Guía Práctica, 3.Requisitos. Ginebra. pp 11-12
- [8]. Aguilar M. (2003). Tratado de Enfermería Infantil: Cuidados Pediátricos, Recién Nacidos Pretérmino y de Bajo Peso. Cuidados del Recien Nacido pretermino en la sala de partos. Elsevier. Madrid España. pp 122-123
- [9]. Johnson S. (2010) Las buenas ideas: Una historia natural de la innovación, Turner Publicaciones. Madrid España. pp. 282
- [10]. PREMATUROS [Documental] Cap.4 Dirigida por Lucía Puenzo - Javier Olivera - Leo D'Agostino. Argentina: INCAA Productions; 2013
- [11]. Kim S, Lee E, Chen J, Ringer S. (2010) Improved Care and Growth Outcomes by Using Hybrid Humidified Incubators in Very Preterm Infants. En: American Academy of Pediatrics, 125 (1) e137-e145.

- [12]. Ministerio de Salud y Protección Social - Colciencias (2013). Centro Nacional de Investigación en Evidencia y Tecnologías en Salud CINETS. Guía de práctica clínica del recién nacido prematuro - 2013 Guía No. 04. Sección 1. Guía de Práctica Clínica. pp. 43-44. Bogotá. Colombia
- [13]. Aguilar M. (2003). Tratado de Enfermería Infantil: Cuidados Pediátricos, Recién Nacidos Pretérmino y de Bajo Peso. Atención centrada en la familia. Elsevier. Madrid España. pp 101-102
- [14]. Aguilar M. (2003). Tratado de Enfermería Infantil: Cuidados Pediátricos, Hospitalización infantil. Planificación para el alta hospitalaria. Cuidados de enfermería al niño hospitalizado. Elsevier. Madrid España. pp 91-93
- [15]. Sánchez Bañuelos, Lucrecia Guadalupe, Pérez Gutiérrez, Javier, Tamariz Velázquez, Flor Elizabeth, & Delgado Rubio, Margarita. (2012). Seguridad del neonato hospitalizado: Aproximaciones y propuestas. Enfermería universitaria, 9(2), 27-36.
- [16]. Khodadadi F. Dastjerdi A.V., Buyya R. Internet of Things: an overview, 2016. pp 3-27, ISBN 9780128053959
- [17]. Jayavardhana G, Rajkumar B, Slaven M, Marimuthu Pi, Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions Future Generation Computer Systems, Volume 29, Issue 7, 2013, Pags 1645-1660
- [18]. Wipro. What can IoT do for healthcare. (2020). En línea. Disponible en: <https://www.wipro.com/business-process/what-can-iot-do-for-healthcare/>
- [19]. aruba networks. EL ESTADO DEL IOT Sector Salud [imagen]. 2019. Disponible en: [https://www.arubanetworks.com/assets/\\_es/infographic/Aruba\\_IoT\\_Healthcare\\_Infographic.pdf](https://www.arubanetworks.com/assets/_es/infographic/Aruba_IoT_Healthcare_Infographic.pdf)
- [20]. Carestream. EL INTERNET DE LAS COSAS (IOT) EN EL ÁREA DE LA SALUD EN 2019 (2019). En línea. Disponible en: <https://www.carestream.com/blog/2019/01/01/el-internet-de-las-cosas-iot-en-el-area-de-la-salud-en-2019/>
- [21]. Reporte Digital. IoMT: Internet de las cosas médicas y sus aportes a la salud (2018). En línea. Disponible en: <https://reportedigital.com/iot/internet-de-las-cosas-medicas-iomt/>
- [22]. Mendoza P. Ávila K. Vilora C. Jabba D. Internet de las cosas y la salud centrada en el hogar Salud Uninorte. Barranquilla (Col.) 2016; 32 (2): 337-351
- [23]. Cerutti S, Magenes G, Bonato P. Guest Editorial Special Section on Smart Wearable Devices for Human Health and Protection. Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on 2010;14(3):691-3.

- [24]. ConSalud.es. Colchones que conectan a madre y bebé prematuro en el MWC (2015). En línea. Disponible en: [https://www.consalud.es/tecnologia/colchones-que-conectan-a-madre-y-bebe-prematuro-en-el-mwc\\_16518\\_102.html](https://www.consalud.es/tecnologia/colchones-que-conectan-a-madre-y-bebe-prematuro-en-el-mwc_16518_102.html)
- [25]. 20 minutos España. El Clínic instala cámaras en la unidad de Neonatología para mejorar el vínculo materno-filial (2018). En línea. Disponible en: <https://www.20minutos.es/noticia/3479249/0/el-clinic-instala-camaras-en-la-unidad-de-neonatologia-para-mejorar-el-vinculo-materno-filial/>
- [26]. De Araújo J, De Menezes M, Moura de Albuquerque A, Da Mota O, Ugulino de Araújo F. Assessment and Certification of Neonatal Incubator Sensors through an Inferential Neural Network. *Sensors Journal* 2013, 13, 15613-15632.
- [27]. Dilawar, Nimra & Rizwan, Muhammad & Akram, Saima & Ahamd, Fahad. (2019). Blockchain: Securing Internet of Medical Things (IoMT). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 10. 10.14569/IJACSA.2019.0100110.
- [28]. GAVIDE Asesoría en Sistemas e Informática. Metodología y estándares para proyectos específicos. (2010). En línea. Disponible en: <http://www.gavide.com/index-10.html>
- [29]. Leantec. MODULO DHT11 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA ARDUINO DHT-11 (2020). Disponible en: <https://leantec.es/tienda/modulo-dht11-sensor-de-temperatura-y-humedad-para-arduino-digital-dht-11/>
- [30]. Rajkumar B. Dastjerdi A. (2016) *Internet of Things Principles and Paradigms.*, *Internet of Things: an overview*. IoT Architectures. Elsevier. Cambridge, MA EUA. pp 3-27
- [31]. F. Racedo, A. Rodríguez, R. Sarmiento, M. Estrada. (2008). Desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real para la humedad relativa. *Revista Colombiana de Física*, vol 40, No 2.
- [32]. J. González, B. Nuñez, P. Vilorio. (2012). Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura. *Scientia et Technica* Año XVII, No 50.
- [33]. Rajkumar B. , Dastjerdi A. (2016) *Internet of Things Principles and Paradigms.*, *Internet of Things: an overview*. Communication Protocols. Elsevier. Cambridge, MA EUA. pp 11-15
- [34]. Ultimaker. Impresoras 3D Ultimaker 3. Disponible en línea: <https://ultimaker.com/es/3d-printers/ultimaker-3>
- [35]. Dastjerdi A. Gupta H. Calheiros R. Ghosh S. Buyya R. (2016) *Internet of Things Principles and Paradigms.*, Chapter 4 Fog Computing: Principles, Architectures, and applications. Reference Architecture. Elsevier. Cambridge, MA EUA. pp 64-70

## 9. ANEXOS

**Anexo 1.** Matriz de selección para el diseño elegido según criterios

		CONCEPTOS (Alternativas de diseño)			
CRITERIOS		Diseño 1 Prototipo con batería LIPO, módulo ESP8266s-01, interruptor y sensor DHT11 en Carcasa adaptada	Diseño 2 Prototipo con baterías alcalinas AAA, módulo ESP8266s-01, interruptor y sensor SHT11 en Carcasa adaptada	Diseño 3 Prototipo con baterías AAA, módulo ESP8266s-01, interruptor y sensor DHT11 en Carcasa diseñada	Diseño 4 Prototipo con baterías alcalinas AAA, módulo en arduino (Comunicación Serial), interruptor y sensor SHT11 en carcasa diseñada
	Sensores disponibles en mercado	1	-1	1	-1
	Baterías seguras y de fácil acceso	-1	-1	-1	1
	Material de la carcasa	0	0	1	-1
	Precio de Componentes	-1	0	0	1
	Tamaño compacto	-1	-1	1	1
Suma Positivos (+)	1	0	3	3	
Suma Negativos (-)	3	3	1	2	
Suma general	-2	-3	2	1	



### Anexo 3. Evaluación Usuario Final - Trabajo dirigido



Trabajo dirigido – Opción de Grado Alejandro Muñoz Juanias

Nombre de persona que evalúa: Cristian Leonardo Garcia Quemán

Cargo: Ingeniero Biomedico - Colsubsidio

A continuación, se presenta un conjunto de afirmaciones que tienen como objetivo calificar el alcance de este proyecto de trabajo dirigido, la herramienta desarrollada y su opinión de la misma. Lea atentamente cada enunciado y para cada uno califique de 1 a 5, donde 1 es totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo.

1. El título del Trabajo define adecuadamente el proyecto que finalmente es realizado. "SISTEMA PARA MONITOREO Y SUPERVISIÓN DE VARIABLES Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO EN INCUBADORAS NEONATALES A TRAVÉS DE INTERNET DE LAS COSAS IoT"

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
				X

2. Según la explicación del estudiante, la solución presentada con esta propuesta va acorde a la problemática identificada.

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
			X	

3. Teniendo en cuenta los tiempos de ejecución de este proyecto para recolección de información y desarrollo de la herramienta. La solución presentada cuenta con el nivel de complejidad que se esperaría y resultados aceptables para inicio de implementación en un servicio como parte de investigación y mejora.

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
			X	

4. Considera usted que esta herramienta cumple con el objetivo de: "Diseñar e implementar un sistema de monitoreo y gestión de la información basado en internet de las cosas, capturando variables del funcionamiento de una incubadora para supervisión del personal asistencial y familiares del RN."

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
				X

5. ¿Considera usted que esta solución presentada contempla un enfoque adecuado desde la Ingeniería Biomédica?  
 (Justifique brevemente)

SI	No
X	

• La innovación tecnológica es fundamental para el avance, es necesaria la renovación de equipos con características nuevas enfocadas a la atención en Salud.

6. Luego de conocer la herramienta y su funcionamiento, ¿Considera usted que esta herramienta podría beneficiarlo a usted como usuario final en la realización de alguna tarea específica y/o mejorar otras? Si la respuesta es afirmativa ¿en que porcentaje cree usted que mejoraría el desempeño de esta actividad?  
 (Justifique brevemente que tipo de tareas)

SI	No	PORCENTAJE
X		50%

• Aunque el proyecto es novedoso considero que se pueden tomar en cuenta mas variables de monitoreo, como control de ruido, sin embargo, considero que la idea planteada cumple con los requisitos requeridos para una monitorización en una institución de salud.

7. Una vez Conoce el Sensor desarrollado y sus componentes, considera que este cuenta con características tales como (dimensiones, materiales, proporciones) adecuados para su implementación según el entorno a exposición.

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
			X	

8. Considera que las funcionalidades (habilitadas y deshabilitadas) agregadas a la aplicación tanto móvil como de escritorio son de interés e importancia para usted como usuario final en sus actividades diarias ya en un escenario real.

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
				X

9. El idioma, estilo de letra, colores utilizados van acordes a las funciones de la herramienta y el entorno para la cual está enfocada.

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
			X	

10. La forma de organización de la información contenida, y disposición de botones permite un fácil manejo y adaptabilidad a la misma. (Interfaz intuitiva sin presentar niveles altos de dificultad)

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
			X	

11. Una vez conoció la Herramienta NidoApp refiriéndose al sistema completo, ésta es una solución totalmente apropiada para resolver la problemática planteada para este proyecto.

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
				X

12. ¿Considera que el acceso a herramientas que hacen uso del Internet de las Cosas Médicas (IoMT), logra reducir tiempos de ejecución de tareas, recibir información confiable en menor tiempo y acceder a la información de forma fácil y rápida?

(Si la respuesta es afirmativa, indique en que porcentaje considera que las aplicaciones y herramientas basadas en IoT e IoMT benefician y contribuyen a la realización de actividades dentro de un ámbito de la salud y hospitalario )

SI	No	PORCENTAJE
X		90%




## Anexo 4. Protocolo de Investigación Clínica

	<b>ORGANIZACIÓN:</b>	<b>FORMATO</b>	<b>NIVEL DE PROCESO:</b>	
			MISIONAL	
			<b>PROCESO:</b>	
			<b>INVESTIGACIONES</b>	
			<b>CÓDIGO:</b>	<b>VERSIÓN:</b>
			<b>F-INV-10</b>	<b>2</b>

### 1. Información General

Versión Protocolo: \_\_\_\_\_

Nombre del proyecto	<i>SISTEMA PARA MONITOREO Y SUPERVISIÓN DE VARIABLES Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO EN INCUBADORAS DE LA CLÍNICA MÉDERI A TRAVÉS DE INTERNET DE LAS COSAS IoT.</i>		
Grupos de investigación	<i>Méderi y GIBIOME</i>		
Línea de Investigación	<i>Internet de las Cosas: Aplicaciones en Salud</i>		
Descriptor/es/ palabras claves	<i>Aplicación móvil, Bases de datos, Gestión de variables, Incubadora, Internet de las Cosas (IoT), Sistema.</i>		
Investigadores principales (UR)	Jefferson Sarmiento Rojas y Pedro Antonio Aya		
Contacto	Dirección	Carrera 24 # 63c-69	
	Teléfono	2970200 ext. 3524	
	Celular	3053158991	
	Correo electrónico	Jefferson.sarmiento@urosario.edu.co	
Coinvestigadores	Nombre	Cargo	Contacto
	D. Alejandro Muñoz Juanias	Estudiante	dairo.munoz@mail.escuelaing.edu.co
	Angelmiro Núñez cruz	Ing. Biomédico	angelmiro.nuñez@mederi.edu.co
	Nidia Patricia Córdoba	Ing. Biomédico	nidia.cordoba@mederi.edu.co
	Alexandra Beltrán	Ing. Biomédico	alexandra.beltran@mederi.edu.co
Duración	2 Meses		
Fecha esperada de inicio y terminación	Inicio: 24 de Febrero de 2020	Finalización: 20 de Abril de 2020	
Clasificación del área científica o disciplinar	Ingeniería Biomédica		
Sector de aplicación	Unidad Neonatal		
Clasificación del tipo de financiación	Propia		
Costo general del proyecto			

<b>ORGANIZACIÓN:</b>	<b>FORMATO</b>	<b>NIVEL DE PROCESO:</b>	
		<b>MISIONAL</b>	
	<b>PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>PROCESO:</b>	
		<b>INVESTIGACIONES</b>	
		<b>CÓDIGO:</b>	<b>VERSIÓN:</b>
		<b>F-INV-10</b>	<b>2</b>
Costo a financiar por institución externa	<i>No Aplica.</i>		
Tiempo de dedicación semanal	16 Horas semanales / 4 Horas diarias		

## 2. Resumen

Los centros de atención perinatal y neonatal, se han organizado y centrado sus esfuerzos a la protección y preservación de la salud de los bebés en estado de gestación, recién nacidos, bebés prematuros y apoyo de padres antes, durante y después del embarazo. La atención a bebés prematuros debido a su complejidad, fragilidad, riesgos inminentes y tasa de mortalidad, requiere de elevados costos en la atención médica, recursos hospitalarios, personal médico apropiado con óptimo desempeño y acceso a recursos tecnológicos adecuados.

Las Incubadoras son equipos biomédicos que tienen como objetivo brindar al recién nacido (RN) prematuro un ambiente térmico neutro y controlado de forma continua con temperatura y humedad adecuadas para el desarrollo del bebé, el monitoreo y vigilancia de las condiciones ambientales a las cuales está sometido el prematuro y sus signos vitales hace parte de los puntos de buena práctica en los manuales de atención al RN prematuro en Colombia y en el mundo y no como una recomendación en la atención del bebé.

De esta manera se establece el monitoreo de dichas variables y condiciones de funcionamiento de estos dispositivos como una necesidad para tener en cuenta durante el tratamiento y desarrollo del RN mientras es atendido. En este proyecto se propone un sistema de monitoreo y gestión de la información basado en IoT, capturando variables del funcionamiento de una incubadora para supervisión del personal asistencial y familiares del RN, para consulta en tiempo real, accesible en cualquier momento, dentro y fuera de la institución.

## 3. Introducción

La seguridad del paciente hace parte de las prioridades de los sistemas de salud en Colombia. Actualmente el principal objetivo de las instituciones de salud es de prevenir eventos adversos durante la atención de los neonatos en su etapa de desarrollo, donde se encuentra más vulnerable a sufrir lesiones durante su hospitalización [1]. Es por ello, que la actual propuesta está enfocada a implementar medidas de seguridad específicas para evitar riesgos durante el cuidado de pacientes; el Internet de las

## Anexo 5. Manual para limpieza y desinfección del sensor de NidoApp

### Manual para Limpieza y desinfección del sensor de NidoApp.

Para preservar la duración del dispositivo y sus características físicas se recomienda usar los **agentes de limpieza** recomendados en el siguiente manual. Realícelo tal como se expone en esta guía.

#### • DIFERENCIA ENTRE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

**Limpieza** se refiere a la remoción física de suciedad o residuos orgánicos (Por ejemplo: Mugre o material residual extraño) de la superficie del dispositivo.

**Desinfección** es la remoción de la mayor cantidad, pero no en su totalidad de microorganismos causantes de enfermedades (Patógenos) del dispositivo.

#### • ¿CUÁNDO DEBERÍA EL DISPOSITIVO SER LIMPIADO Y DESINFECTADO?

- Limpie el dispositivo para remover polvo y material orgánico visible para una manipulación segura y/o antes de desinfectar.
- Realice una verificación periódica y regular del estado físico del sensor y su lugar de ubicación para asegurar un funcionamiento óptimo.

**• ¿QUÉ DEBE LIMPIARSE DEL DISPOSITIVO?**

A continuación, se hace referencia a las partes de mayor interés para su limpieza.

- Toda la carcasa visible del dispositivo.
- Énfasis en la rejilla y orificios.
- Énfasis en Interruptor.



Nota

- 
- Tenga en cuenta la guía de desinfección de su institución.
  - Haga uso de guantes.

---

Siga las instrucciones descritas a continuación para limpieza/desinfección del dispositivo. El incumplimiento o falla en los procesos descritos pueden causar daños del sensor.

---

---

**LIMPIANDO EL SENSOR**

---



**1** No remueva la tapa de la unidad del sensor. Ubique el dispositivo horizontalmente sobre una superficie plana.



**2** Limpie el exterior del dispositivo con un pañuelo ligeramente humedecido. Luego seque el dispositivo con un pañuelo de papel fresco.



**3** No aplique directamente líquidos al dispositivo, siempre aplique los líquidos al paño para limpiar

---

**DESINFECTANDO EL SENSOR**

---



**1** Limpie la cubierta del dispositivo (solo el área visible), tres veces horizontalmente y tres veces verticalmente con un pañuelo ligeramente humedecido.



**2** Espere el tiempo de desinfección de acuerdo con las instrucciones del agente desinfectante utilizado, recuerde aplicarlo directamente al paño limpio y no al dispositivo.



**3** Limpie el exterior del dispositivo con un pañuelo ligeramente humedecido. Luego seque el dispositivo con un pañuelo de papel fresco.



### Protección contra el daño del sensor

Para prevenir daños en el instrumento, considere también lo siguiente:

#### Nota

- Limpie **únicamente el área visible** (con movimientos circulares).
- No introduzca objetos dentro de los orificios del dispositivo, podría dañar los componentes internos del sensor.
- No utilice objetos para intentar *raspar/retirar* contaminantes del dispositivo.

### • Agentes de Limpieza y desinfección recomendados

Antes de utilizar una solución para limpieza/desinfección en el dispositivo revise en las instrucciones del producto, así como el tiempo de contacto para limpieza/desinfección y así garantizar que los ingredientes activos son adecuados para su uso. Prepare las soluciones según las recomendaciones en las instrucciones del fabricante. A continuación, se listan algunos de los agentes recomendados.

#### Limpieza

- Agua Jabonosa Suave
- 70% (o menos) de solución de alcohol isopropílico en agua
- 0.625% (o menos) de solución de hipoclorito en agua.

#### Desinfección

- 0.62 % (o menos) de solución de hipoclorito en agua.
- 70% (o menos) de solución de alcohol isopropílico en agua.