

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE
LA FRECUENCIA DE CAMBIOS DE POSICIÓN DURANTE SUEÑO EN SUJETOS
SANOS**

Javier Fernando Bernal Hernandez

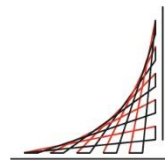
Práctica profesional

Tutores

**PhD Olga Lucía Cortés Ferreira
MSc Jefferson Sarmiento Rojas
MSc Pedro Antonio Aya Parra**



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

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

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS	12
2.1. General.....	12
2.2. Específicos	12
3. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Fase 1: revisión sistemática de literatura.....	13
3.2. Fase 2: diseño del equipo de adquisición de información y estructura de soporte del dispositivo.....	14
3.3. Fase 3: diseño de sistema comunicación IoT.....	19
3.4. Fase 4: validación de funcionamiento del sistema de adquisición.....	22
3.5. Fase 5: evaluación de factibilidad en usuarios adultos.....	24
4. RESULTADOS	26
4.1. Fase 1: revisión sistemática de literatura.....	26
4.2. Fase 2: diseño del equipo de adquisición de información y estructura de soporte del dispositivo.....	27
4.3. Fase 3: diseño de sistema comunicación IoT.....	30
4.4. Fase 4: validación de funcionamiento del sistema de adquisición.....	32
4.5. Fase 5: evaluación de factibilidad en usuarios adultos.....	38
5. DISCUSIÓN.....	42
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	46
7. CONCLUSIONES	47
8. REFERENCIAS	48
9. ANEXOS.....	50
9.1. 9.1. Anexo 2 características metodológicas de investigación.....	50
9.1. Anexo 2 Código de programación y configuración del circuito electrónico.....	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 COMPARACIÓN DE APLICACIÓN CLÍNICA PARA SENSORES RELACIONADOS A LA ADQUISICIÓN DE MOVIMIENTO.....	14
Tabla 2 DESCRIPCIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN.....	16
Tabla 3 VARIABLES RELACIONADAS A LA ADQUISICIÓN DE FRECUENCIA DE MOVIMIENTO.....	17
Tabla 4 ASPECTOS TÉCNICOS DE LOS SENSORES.....	27
Tabla 5 PRUEBA ESTADÍSTICA PARA UNA MUESTRA, VALIDACIÓN SENSOR.	33
Tabla 6 PRUEBA T PARA UNA MUESTRA, VALIDACIÓN SENSOR.	33
Tabla 7 PRUEBA ESTADÍSTICA PARA UNA MUESTRA, SIMULACIÓN ESCENARIO DE ADQUISICIÓN.....	36
Tabla 8 PRUEBA T PARA UNA MUESTRA, SIMULACIÓN ESCENARIO DE ADQUISICIÓN.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación de la posición anatómica y el eje de coordenadas del sensor acelerómetro-giroscopio	18
<i>Figura 2 Identificación de los ángulos del tórax mediante el módulo MPU6050 (ACELEROMETRO-GIROSCOPIO).</i>	19
Figura 3. Diagrama del sistema de comunicación de los elementos del dispositivo.	21
Figura 4. Montaje realizado para prueba de validación sensor acelerómetro-giroscopio..	23
Figura 5. Escenario de adquisición simulada para validación de información.	23
Figura 6. Mecanismos de soporte y adquisición digital	28
Figura 7. Diseño del soporte del sistema electrónico.	29
Figura 8. Implementación del diseño en un usuario adulto.....	29
Figura 9. Sistema de capas IoT.	30
Figura 10. Flujo de recepción y almacenamiento de datos.....	31
Figura 11. Flujo de configuración de la base de datos.	31
Figura 12. Flujo de configuración de la interfaz gráfica del sistema IoT.	32
Figura 13. Distribución de datos determinados para la prueba de validación sensor.	34
Figura 14. Diagrama de caja y bigotes para la prueba de validación sensor.....	35
Figura 15. Datos de la prueba de simulación en escenario simulado a 30°.....	37
Figura 16. Datos de la prueba de simulación en escenario simulado a 45°.....	37
Figura 17. Datos de la prueba de simulación en escenario simulado a 60°.....	38
Figura 18. Datos de la prueba de descarga y duración de batería.	38
Figura 19. Eje de referencia configurado en el sistema IoT.....	39
Figura 20. Cambios del ángulo del tórax durante el periodo de sueño para usuario de 18 años.....	40
Figura 21. Cambios del ángulo del eje paralelo a la superficie de reposo para usuario de 18 años.....	40
Figura 22. Cambios del ángulo del tórax durante el periodo de sueño para usuario de 55 años.....	41
Figura 23. Cambios del ángulo del eje paralelo a la superficie de reposo para usuario de 55 años.....	41

1. INTRODUCCIÓN

La hospitalización es una estructura operativa de gran utilidad para el tratamiento de patologías, ya que brinda un sistema de monitoreo y control al paciente eficiente, pero existen diferentes efectos desfavorables en personas mayores durante la estadía prolongada en una institución médica. Puesto que algunos efectos producidos por la edad como la reducción de la densidad ósea, la piel frágil, reducción de la fuerza muscular, entre otras, producen múltiples complicaciones médicas que afectan gravemente al paciente. Los eventos que ocurren con alta repetitividad están concentrados en las caídas, malnutrición, dependencia, incontinencia funcional y úlceras por presión [1].

De acuerdo con ello, se determina que una de las dificultades durante la hospitalización más común se relaciona a úlceras por presión, estas son producidas durante el cuidado hospitalario y producen el aumento de personal de asistencia derivando costos altos en la administración del cuidado a adultos en UCI, ya que estos conforman las cifras más altas de prevalencia de úlceras por presión en España llegando a 18% en UCI de adultos y un 9,71% en las UCI pediátricas [2].

Las úlceras por presión se definen como lesiones localizadas en la piel bajo una prominencia ósea, como resultado de alta presión combinada con tiempo prolongado en la misma posición, que conduce a isquemia y necrosis de la zona afectada [3]. Estos eventos constituyen un gran problema de salud en todo el mundo, principalmente en el entorno de hospitalización de pacientes en estado crítico [5-6]. Su aparición deteriora la calidad de vida de los pacientes, y sus familias, aumentando el costo social, e incrementando el consumo de recursos en salud [2]. Aunque se consideran prevenibles, las úlceras por presión afectan entre el 30 y el 50% de los pacientes evaluados con alto riesgo y constituyen entre el 10 y el 50% de los eventos adversos hospitalarios en total. Este grupo de pacientes son usualmente adultos mayores, con incapacidad para moverse, y hospitalizados en áreas de cuidado crítico por la gravedad de su condición de salud. En Colombia, la tasa general de eventos adversos relacionados está entre 2.7 y 8.5 por cada 1000 egresos. La inmovilidad y la inactividad física se consideran entre los factores de riesgo de más alta probabilidad para el desarrollo de la úlcera por presión en pacientes inmóviles. Existen instrumentos para la evaluación del riesgo para úlcera por presión los cuales se basan en los niveles de actividad de los individuos, y entre más inmóvil y dependiente es un individuo mayor es el riesgo de adquirir una úlcera por presión [5].

A pesar de la necesidad de identificar intervenciones capaces de prevenir este tipo de úlceras en estos pacientes, aún existen limitaciones en la fortaleza de la evidencia que soporte su uso dado su eficacia. Las intervenciones con mejor evidencia en la prevención de úlceras por presión son el uso de colchones antiescaras apropiados para cada tipo de riesgo y el uso de geles en pacientes durante los procedimientos quirúrgicos [4]. Los cambios posturales realizados periódicamente por cuidadores se consideran preventivos para la aparición de úlceras por presión; han sido utilizados históricamente en el cuidado preventivo, y aunque se sabe que no movilizar a los pacientes en estos escenarios empeora el estado de la piel, se desconoce aún si una frecuencia alta de cambios posturales (menor o igual a 2 horas) o una de baja frecuencia (una vez cada 4 horas) en las 24 horas es la que mejor reduce el riesgo de aparición de úlceras por presión [6][7].

La propuesta de aumentar la frecuencia en el reposicionamiento se basa en datos documentados en estudios observacionales en unidades de cuidados intensivos, donde la posibilidad para auto regular su movilización es más reducida que en hospitalización. No

existen estudios en los cuales haya un grupo comparador con otra frecuencia excepto aquellas realizadas en donde el comparador es un sistema con cambios de posición controladas en colchón antiescaras, o en los cuales haya existido un grupo comparador sin la intervención [5].

Por el contrario, las instituciones médicas tienen procedimientos de prevención variados. Existen mecanismos como lo es el frecuente reposicionamiento del paciente, en el cual se realizan configuraciones del ángulo de inclinación de la cama, se minimiza el contacto de altas presiones a áreas sensibles del paciente [6]. La incógnita que se presenta en esta área de investigación es que, en estudios clínicos realizados, no han puesto en evidencia variables de tipo mecánico-físicas como las superficies de interacción durante la hospitalización o fuerzas de presión las cuales afectan directamente a pacientes en potencia a sufrir úlceras por presión basado en los cambios de posición. Las instituciones tienen procedimientos destinados a la prevención, pero aún no hay un estudio que determine contundentemente la frecuencia en la cual un paciente debe ser movilizado a una diferente posición corporal para aliviar presiones prolongadas, especialmente cuando los cambios de posición de estos pacientes dependen de un cuidador externo. Fuentes de información como: "*The National Pressure Injury Advisory Panel*", varían en la recomendación de la frecuencia de movilización, entre si el paciente tiene que ser movilizado con una frecuencia de cada 2 o 3 horas [7].

Al realizar una inmersión en el área de frecuencia de movilización de pacientes hospitalizados se debe realizar una comparación de relación de datos entre escenarios que se asemejan. Por ejemplo, identificar la frecuencia de movilización de individuos normales, durante el sueño. Se ha identificado que adultos normales en su fase de sueño se movilizan con una media de frecuencia de 1.6 veces /hora (SD 0.7), acorde con el estudio de Schjelderup, lo que llevaría a suponer que un paciente hospitalizado en inmóvil debería ser movilizado a una frecuencia similar a la que realiza cuando duerme. Este mismo estudio reportó que los adultos prefieren tomar una posición lateral (54.1%) durante el sueño, y menor frecuencia en posición prona (37.5%), y aún menor en posición supina (7.3%).

Estas diferencias entre individuos sanos y personas con diferentes patologías aún no están aclaradas, este proyecto servirá para estructurar un trabajo piloto que podrá permitir la evaluación de la frecuencia de estos cambios de movimiento en individuos sanos durante el sueño, en el cual se estima que las necesidades de movilización sean similares en términos de frecuencia a la de los individuos inconscientes, puesto que estos últimos no pueden expresar su necesidad de cambio y dependen de personal entrenado en protocolos de reposicionamiento corporal [6].

Las úlceras por presión o decúbito son producidas por una prolongada exposición de altas presiones en áreas donde la piel y el tejido óseo están cercanas. Estas úlceras son propensas a aparecer en lugares como: tobillos, columna vertebral, codos, cadera, glúteos, coxis y la parte posterior u occipital del cráneo [7]. Las variables que afectan la aparición de las úlceras por presión están determinadas por efectos adversos en el entorno hospitalario, los cuales están ligados a la movilidad limitada a la que un paciente está expuesto. Las más notorias se manifiestan por interacciones físico mecánicas efectuadas al cuerpo del paciente, produciendo una mala respuesta por parte de la piel y estructuras externas. Un claro ejemplo de variables que se asocian al riesgo de producir una úlcera es lo que ocurre relacionando el peso de una persona, un grado de inmovilidad reducido y fricciones existentes con los elementos sobre los cuales el paciente reposa su cuerpo [8].

La disminución de movimiento de una persona produce un aumento del tiempo de exposición de fuerzas de presión sobre zonas específicas del cuerpo, basado en esto se produce la disminución del flujo sanguíneo en la piel lo cual conduce un daño del tejido (necrosis ó muerte del tejido), es recomendable establecer una reducción de la presión en dichas zonas del cuerpo por medio de estrategias concluyentes. Estas estrategias incluyen metodologías de prevención que pueden ser divididas en dos aspectos: 1) la magnitud de la presión experimentada; y 2) la duración localizada de la presión. La magnitud de la presión expuesta en un área tisular puede ser controlada mediante superficies de soporte. Estas intervienen en puntos donde estructuras óseas puedan ocasionar obstrucciones en el sistema vascular de tejidos sensibles, ampliando el área de contacto entre la superficie de reposo y la persona, ocasionando redistribución de presión. Por otro lado, la presión localizada se controla mediante el reposicionamiento cíclico de las articulaciones del paciente, con el fin de reducir el tiempo en que un individuo permanece en una misma posición [9].

Las personas que potencialmente pueden ser afectados por úlceras por presión tienen movilidad limitada o inclusive ninguna (y dependen completamente de cuidadores externos), ya que pueden estar en estado de inconciencia, para ello, se ha determinado que el cuerpo de estos pacientes debe ser reposicionado para que agentes físicos no afecten las estructuras tisulares del paciente. Las personas sanas evitan esto cuando duermen ya que el cuerpo tiene un sistema de control motor que interrelaciona sistemas sensoriales para dar paso a movimientos que cambian la posición de las articulaciones durante el sueño, produciendo una serie de movimientos que evitan una prolongada presión en áreas sensibles [9]. Adicionalmente se ha evidenciado que a medida que las personas envejecen van perdiendo la capacidad de este sistema autónomo de control de movimiento en estado de inconciencia en el sueño [10], afectando e incrementando el factor de riesgo en personas de edad avanzada. Personas jóvenes cambian de posición en promedio 0.75 veces durante una hora de sueño [11]. La evidencia que relaciona la frecuencia de cambios de posición involuntarios del cuerpo al dormir puede ser relacionada con la necesidad que tienen los individuos que se encuentran a riesgo en unidades de cuidados intensivos, los cuales se encuentran en estado inmóvil o inconsciente [10].

Aunque existen estrategias de prevención que buscan el beneficio del paciente que sufre de úlceras por presión, por ejemplo: apoyo nutricional, estructuras de apoyo, protocolos de reposicionamiento, vestido especializado y clasificación de riesgos [4-6]. El estudio se centrará en indagar un aspecto relacionado con la prevención de las úlceras. Este se relaciona con la creación de un sistema que censado de la frecuencia de cambios de posición en individuos normales durante el sueño utilizando un sistema electrónico, con el fin de extrapolar mediante un estudio piloto, cuál podría ser la frecuencia de los cambios de posición que deben ofrecer los protocolos de prevención a pacientes en estado inconsciente dada por su patología.

Los alcances en la ingeniería han permitido la generación de sensores y sistemas de monitoreo que son aplicados hoy en día en el cuidado de la salud de pacientes hospitalizados. El desarrollo de los dispositivos ha renovado el modo en que los profesionales de la salud pueden monitorear a pacientes en puntos remotos a una institución médica, por medio de los datos de equipos que integran una gama de sensores que ayudan al registro y seguimiento de variables asociadas [12].

De acuerdo con lo mencionado, los sensores en medicina tienen una influencia alta en la forma en que los profesionales de la salud realizan su trabajo. Mediante la

tecnología y el cuidado de la salud, es posible establecer un sistema robusto de estudio de variables cada vez más grande que tiene como objetivo la optimización de procedimientos médicos y la reducción de complicaciones en los pacientes que se encuentran en riesgo. Se ha determinado que los sensores en medicina son utilizados para adquirir datos biológicos, químicos, bioeléctricos, biofísicos. Actualmente, estos sensores adquieren datos en un amplio número de aplicaciones, para ello se debe implementar un sistema de adquisición y análisis de la información más eficiente. Por consiguiente, en aplicaciones médico-tecnológicas se ha implementado diferentes áreas de investigación que aportan una metodología que ayuda al procesamiento de los datos médicos [13].

Con ayuda del concepto de internet de las cosas o por sus siglas en inglés IoT, la medicina ha tenido que intervenir áreas de interés para las aplicaciones clínicas de monitoreo, adquisición de datos y control de parámetros hospitalarios. Para ello, se implementan Tecnologías inalámbricas, las cuales se apoyan en la comunicación de datos por medio de un medio no físico entre dos o más dispositivos. Existe gran variedad de tipos de comunicación inalámbrica, las más utilizadas son: bluetooth, RFID (Radio Frequency Identification), y el servicio de conectividad entre dispositivos Wi-Fi (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) [13,14]. Además, el uso combinado de las tecnologías mencionadas anteriormente con sensores portátiles es altamente desarrollada en investigaciones definidas por utilizar estructuras de comunicación de internet de las cosas en el sector salud [13-14]. Según los diferentes avances tecnológicos expuestos anteriormente, los fabricantes de herramientas electrónicas disponen sensores eficientes, de bajo consumo de energía para aplicaciones portátiles, los cuales son aplicables a sectores variados, incluyendo el ámbito médico. Adicionalmente se requiere de la existencia de plataformas libres que permiten el almacenamiento de datos programados acorde con las variables de investigación capturadas por un sensor, puesto que el desarrollo de aplicaciones y dispositivos está ligado a la fácil intervención y manipulación. Es decir, lo que se desea con servicios IoT es ofrecer una capacidad de adquisición de datos sin limitaciones en cuanto a programación, uso de los sensores y dispositivos asociados [14].

Uno de los objetivos más claros de las arquitecturas IoT es el de aplicar tecnología a cualquier área, ámbito, campo o escenario incluyendo el de la medicina. Según esto, hay una gran cantidad de aplicaciones que pueden suplir necesidades médicas, las cuales se pueden aplicar mediante tecnologías de adquisición de datos, comunicación inalámbrica y almacenamiento. Al enfocarse en el ámbito del monitoreo de actividades asociadas al movimiento de pacientes se tienen dispositivos electrónicos que se utilizan para ello, un ejemplo claro de estos dispositivos son los relojes inteligentes, los cuales tienen incidencia en la forma en cómo se monitorea un paciente de forma remota [33]. Las aplicaciones que se tienen se encuentran divididas según la necesidad de aportar a la prevención y rehabilitación de diferentes patologías. Las áreas de aplicación clínica los sensores de movimiento, acopla monitorización ambulatoria a pacientes con diferentes patologías como Parkinson [15].

Existen sensores que ayudan a adquirir datos de movimiento de estructuras del cuerpo de una forma sencilla, según la aplicación en la cual se quiera implementar. Estas tecnologías pueden ser configuradas para aportar información que ayude a mejorar el cuidado de los pacientes [16]. De acuerdo con lo mencionado se realiza una descripción general de diferentes sensores y su influencia en aplicaciones de salud.

Relacionado al enfoque actual que poseen diferentes instituciones médicas de tener un control más estricto de variables en áreas de rehabilitación y prevención de

patologías ligadas a la limitación del movimiento de los pacientes, se han involucrado a el espacio hospitalario sensores que se encuentran en aplicaciones del deporte y la industria [17].

Actualmente existen sensores que proporcionan una gran posibilidad de automatización y verificación de variables manipuladas en el ámbito clínico. Una de las aplicaciones más importantes que existe en el sector salud es la recolección de datos asociado a la actividad de movimiento que una persona realiza mediante sensores, donde se analizan la actividad muscular, la marcha. Los datos que se logran destacar del área de enfoque de monitorización del paciente son extensos. Para ello se describirán diferentes aplicaciones de sensores en el registro de actividad y monitoreo físico en el sector salud [20]

Por ejemplo, a través de sensores de presión, se han involucrado aplicaciones como la caracterización del movimiento de una persona, de tal forma que se pueda determinar la posición de sus extremidades [11]. Estos dispositivos son muy buenos en aplicaciones en donde el movimiento es definido por parámetros ya establecidos como por ejemplo en el monitoreo del ciclo de la marcha. Su implicación interviene en un área en donde el movimiento del objeto de estudio es definido. Cuando en la aplicación se quiere utilizar sensores de presión para evaluar un movimiento que posee diferentes grados de libertad, es necesario usar una cantidad alta de sensores o tener la disposición de un área extensa en donde podría ocurrir el movimiento de estudio.

Las aplicaciones de los sensores de presión en aspectos del cuidado de la salud se relacionan con el estudio de movimiento de las extremidades. Un claro efecto del uso de los sensores de presión se puede apreciar en las investigaciones que se realizan al parametrizar la interacción entre estructuras anatómicas y actividades como caminar o la posición en que una persona mueve su cuerpo al realizar un deporte. Una aplicación de los sensores de presión es evaluada por Hoque, se enfoca en el área que interviene el estudio, en el cual se determina la posición y los movimientos de una persona al dormir, utilizando la aplicación de placas que cubren la superficie de una cama [11].

Otro tipo de sensor que registra el cambio de posición del cuerpo de gran aplicación en el área de cuidado clínico es el sensor acelerómetro-giroscopio. Este tipo de sensor registra los cambios de aceleración en tres diferentes ejes lo cual es útil para adquirir información de posición y movimiento específico que realiza una persona [19].

El funcionamiento de un sensor acelerómetro-giroscopio concibe dos efectos físicos, uno para el acelerómetro y otro para el giroscopio. Respectivamente, el giroscopio se basa en el efecto Coriolis [18], el cual explica los fenómenos físicos que ocurren como consecuencia de la rotación de un cuerpo sobre otro. Es decir, la rotación que un objeto en movimiento realiza sobre el sensor, los cuales producen fuerzas de rotación en cada eje del sistema cartesiano [X, Y y Z], el movimiento de un objeto móvil interactuando con el sensor genera fuerzas de Coriolis las cuales son dependientes de la velocidad en que el objeto gira sobre el sensor [18].

Adicionalmente, el sensor en su componente de registro de aceleración está determinado por mecanismos que interrelacionan con fuerzas físicas, por ejemplo, el mecanismo MEMS (sistema micro electromecánico) [21]. El mecanismo MEMS es un mecanismo de tres ejes el cual mide aceleración lineal en cada dirección del plano cartesiano, el efecto es representado por el efecto de masa resorte-amortiguador, el cual

produce una tensión mecánica característica por efecto de un movimiento relativo en el sistema, el comportamiento descrito anteriormente define las fuerzas de aceleración externas, de esta manera interpreta los movimientos que se desarrollan sobre el sensor [18]. El acelerómetro acopla las fuerzas de aceleración que se producen en los planos coordenados, desarrollando una interpretación del medio en el que se encuentra. Por ejemplo, sobre el acelerómetro recaen diferentes fuerzas, entre ellas la de gravedad. Dicha fuerza es interpretada como una tensión mecánica la cual es característica e interpretada por su magnitud y dirección sobre el sensor, generando que el eje de coordenadas en el sensor cambie según las interacciones de movimiento determinado según el medio.

Los ejes de coordenadas cartesianos definen la ubicación de un punto, los ejes [X, Y y Z] son los que determinan en dónde se ubica un objeto en el espacio, según un punto de origen. En el sistema cartesiano es posible agrupar los ejes de coordenadas para formar planos de referencia. Por ejemplo, como se puede observar mediante una comparación que se da entre el sistema de planos anatómicos y el eje de coordenadas cartesianas. La relación que poseen es que cada plano existente en estos dos sistemas puede expresarse de dos formas. Basado en esto, si el punto de origen es el mismo para cada sistema, los planos serán expresados de la misma manera. Dicho esto, el plano sagital corresponde al plano que forma el eje Z con el eje Y, el plano coronal o frontal corresponde a el plano que forma el eje X con el eje Y y el plano sagital transversal u horizontal a el plano que forma el eje Z con el eje X.

Relacionando lo descrito anteriormente, se debe mencionar que existen diferentes principios de funcionamiento para los sensores, pero la finalidad de cada dispositivo es la misma, expresar la orientación del sensor por medio de los ejes [X, Y y Z]. Tomando en cuenta estas características, se propone diseñar un sistema de adquisición de datos de movimiento el cual integre conceptos de IoT y el sensor acelerómetro-giroscopio.

El sensor acelerómetro-giroscopio descrito anteriormente permite registrar parámetros en cuanto al movimiento que realiza una persona, pero también es importante para esta investigación, el comportamiento en el espectro temporal el cual liga los movimientos que se realizan durante el periodo de inconciencia del sueño, variables como el tiempo de duración del movimiento, el intervalo que existe entre reposicionamientos del cuerpo, la hora en la que se realiza el movimiento, la repetitividad que existe en estos movimientos. Las variables mencionadas anteriormente servirán para validar y contrastar la información que expertos poseen acerca de la frecuencia de movimiento que se desarrolla una persona para evitar presiones prolongadas en el estado de sueño.

Ya presentadas las orientaciones que tiene el proyecto, se quiere destacar los aportes metodológicos que se puede llegar a alcanzar por medio de investigaciones asociadas, con las problemáticas que posee el manejo de úlceras por presión, son altas y de gran importancia, ya que al implementar recursos tecnológicos se es capaz de establecer un panorama más amplio de cómo abordar y dar solución a la necesidad de prevenir heridas causados por presión constante.

Al recopilar datos relacionados al movimiento que se debe realizar, por medio de ciclos de reposicionamiento de la persona hospitalizada, se avanzará en el conocimiento de la periodicidad a la que debe movilizarse un paciente durante hospitalización. Por otro lado, el progreso en el diseño de este tipo de sistemas de adquisición de información permitirá su uso en pacientes hospitalizados con el fin de verificar que esta población esté recibiendo los cambios de posición en términos de frecuencia por hora requeridos (acorde

con un patrón normal). A futuro los sensores permitirán establecer un patrón de calidad en el cuidado de pacientes que no puedan moverse por sí mismos y requieren ser movidos por otras personas.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Diseñar un sistema de adquisición de información relacionada con la frecuencia de cambios de movimientos corporales de población adulta en posición decúbito durante el sueño, basada en arquitectura de internet de las cosas (IoT).

2.2. Específicos

- Desarrollar una revisión sistemática cualitativa de la literatura con el fin de explorar la tecnología existente para evaluar cambios de posición anatómica en aplicaciones clínicas.
- Diseñar un dispositivo electrónico con capacidad para adquirir información relacionada con cambios de posición de adultos durante el periodo del sueño.
- Diseñar un sistema de recepción y transferencia de información ligada a una plataforma-servidor para el almacenamiento de información.
- Validar el funcionamiento (calibración) del sistema de adquisición y transferencia de información mediante pruebas de laboratorio.
- Evaluar la factibilidad del funcionamiento del sistema de forma preliminar en adultos voluntarios aplicados durante el periodo del sueño.

3. METODOLOGÍA

3.1. Fase 1: revisión sistemática de literatura.

Marco teórico

La revisión de la literatura es un factor importante para la investigación realizada, en esta se presentan los antecedentes de investigaciones y desarrollos previos los cuales dan un espectro amplio de: como se desarrollan diferentes investigaciones frente a la problemática de úlceras por presión y como sus soluciones abordan la problemática con diferentes herramientas tecnológicas y de investigación.

Para la presente investigación se requiere buscar artículos científicos relacionados a pruebas clínicas relacionadas con aplicaciones de sensores utilizados para el monitoreo de la actividad física y los cambios de posición; por otro lado, sobre la adquisición del movimiento de pacientes con movilidad limitada propensos a padecer úlceras por presión. Además de destacar propiedades técnicas de los sensores se presentan características metodológicas asociadas a los artículos científicos filtrados, estas metodologías están descritas como la estructura que los investigadores presentaron para realizar el estudio, un ejemplo de ello es si durante la investigación se presenta una comparación entre grupos: control y experimental.

Métodos-procesos (variables):

La búsqueda se diseñó teniendo en cuenta fuentes bibliográficas específicas, las cuales se basan en recursos relacionados a artículos e investigaciones médicas. La estrategia de búsqueda se basa en integrar artículos que relacionen las siguientes palabras clave mediante conectores lógicos AND: "Sensors", "Repositioning", "Intensive care", "Adults" y "Monitoring".

Estas palabras se relacionan en una plataforma de búsqueda teniendo en cuenta las bases de datos: Embase desde 1974 a 2020, Global Health desde 1973 a 2020, Health and Psychosocial Instruments desde 1985 a 2020, PsycINFO desde 1987 a 2020, Ovid Emcare desde 1995 a 2020 y Ovid MEDLINE(R) desde 1946 a 2020. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se identificó los artículos que estén relacionados con las palabras clave suministradas, posteriormente se realizó un filtrado de cuales investigaciones halladas cumplen el perfil que se desea para así recolectar información de ellos.

Los artículos determinados con las características de búsqueda de interés para la investigación fueron relacionados a la interacción de la tecnología de monitoreo y sensores en contraste con su aplicación clínica, además fue importante evidenciar rasgos de cada estudio en distintos aspectos, aspectos metodológicos del estudio y tipologías técnicas de los sensores aplicados.

Frente a ello, se realizó una tabla comparativa la cual clasifica información correspondiente al estudio realizado por los artículos escogidos, en la tabla se integra: el tipo de estudio, muestra, edad promedio de los participantes de la investigación, el lugar y el servicio que se presta para la información, las intervenciones que recibe el grupo control, experimental y los resultados que obtuvo el estudio.

Por otro lado, se construyó una tabla que relaciona los aspectos técnicos de los sensores o la tecnología que utiliza cada artículo científico para registrar las herramientas y estrategias para realizar estudios que buscan resolver o dar respuesta a necesidades que influyen en el desarrollo de una herramienta para medir la frecuencia de cambios de posición durante el sueño, la tabla consta de ítems que son necesarios para identificar el tipo de tecnología y como se realiza su aplicabilidad. Para ello, se identificó de cada artículo escogido: qué tipo de sensor utiliza, como se aplica a un paciente, su modo de transferencia de datos, las alertas que maneja y qué datos registra.

3.2. Fase 2: diseño del equipo de adquisición de información y estructura de soporte del dispositivo.

Marco teórico

Para el diseño del dispositivo se realizó una clasificación de equipos y herramientas que pueden ser utilizadas para la construcción de un sistema de adquisición portable, el cual será diseñado para realizar la recopilación de datos relacionados a movimiento del tronco en personas adultas. Los principales materiales electrónicos que se incluyen deben ser determinados según el tipo de tecnología existente en el mercado, además de la conveniencia para evaluar el tipo de movimiento en el que este estudio se basa. Según esto, se debe realizar una clasificación de los tipos de sensores y las aplicaciones relacionadas a los usos clínicos, como se muestra en la Tabla 1, aquí puede observarse los sensores que son trabajados en aplicaciones clínicas para determinar movimientos [22].

Tabla 1 COMPARACIÓN DE APLICACIÓN CLÍNICA PARA SENSORES RELACIONADOS A LA ADQUISICIÓN DE MOVIMIENTO.

Aplicaciones	Tipo de sensor				
	Acelerómetro	Giroscopio	Sensor electromagnético	Sensor flexible angular	Fibras de electrodos
Análisis de la marcha	Recomendado	Recomendado	No Recomendado	Recomendado	No Recomendado
Postura y movimientos del tronco	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
Movimientos de extremidades superiores	Recomendado	No Recomendado	Recomendado	No Recomendado	Recomendado
Análisis de actividad física	Recomendado	No Recomendado	No Recomendado	No Recomendado	No Recomendado

Nota: esta tabla ha sido adaptada de “Clinical applications of sensors for human posture and movement analysis: A review”, W. Y. Wong, M. S. Wong, K. H. Lo, *Prosthetics and Orthotics International*, Vol. 31, pp. 62–75, 2007.

En la tabla 1, se puede evaluar la tendencia del uso que poseen elementos electrónicos en aplicaciones clínicas relacionadas a la adquisición de movimiento. Para el caso de esta investigación, la construcción de un dispositivo portable deberá tener la capacidad para captar e identificar principalmente los cambios de posición del tronco hacia

la derecha (lateral derecho), hacia la izquierda (lateral izquierdo), posición supina y la posición prona de los individuos en posición acostada. Se establece que, para la aplicación de la identificación de la postura, movimientos del tronco y análisis de actividad física el sensor apropiado es el acelerómetro, ya que es altamente recomendado para identificar los movimientos descritos anteriormente y posee una ventaja frente a los diferentes sensores existentes en el mercado, la cual se basa en la construcción paralela con dispositivo alterno el cual aporta más información, algunos módulos electrónicos están diseñados para que en un mismo circuito se pueda encontrar sensores de tipo acelerómetro y giroscopio.

Por ejemplo, en el mercado de elementos electrónicos el módulo MPU6050 es altamente utilizado por sus características técnicas para la adquisición de movimiento, de hecho este componente es un acelerómetro-giroscopio. Para entender el funcionamiento de comunicación de los dispositivos electrónicos como el de este módulo acelerómetro-giroscopio, es indispensable entender los dos sistemas de comunicación, los cuales se basan en I2C (Inter-Integrated Circuit) y SPI (Serial Peripheral Interface).

La comunicación I2C fue desarrollada para la comunicación interna de sistemas electrónicos, el protocolo de comunicación I2C está diseñado para recibir y transmitir datos mediante dos vías independientes a dispositivos que se encuentren agrupados en el sistema de comunicación. Las dos vías agrupan un puerto para la señal de reloj (CLK) y otra para la transferencia de datos (SDA), una característica fundamental para la comunicación entre dispositivos electrónicos es que debe existir una sincronía mediante la señal de reloj (CLK). Por otro lado, el protocolo SPI es otro tipo de comunicación que desarrollan los circuitos integrados, los canales por el cual la comunicación de elementos electrónicos se realiza, es por medio de cuatro señales las cuales son: SCKL (Clock), el encargado de sincronizar la transmisión de información. MOSI (Master Output Slave Input), encargado de la salida de datos del dispositivo maestro y la recepción del dispositivo esclavo. MISO (Master Input Slave Output), encargado de la salida de datos del dispositivo esclavo y la recepción del dispositivo maestro. SS (Select), utilizado para seleccionar y activar un dispositivo esclavo [23].

Los protocolos de comunicación descritos anteriormente facilitan la integración de elementos que conforman un sistema eficiente de adquisición de información. Por consiguiente, el circuito que tomará los datos de las personas desarrollará una comunicación entre el sensor un módulo que comunicará la información vía señales inalámbricas.

Métodos-procesos (variables):

Para la construcción del dispositivo es indispensable aplicar fases para el diseño y construcción, la primera está relacionada a los componentes electrónicos, la segunda se centra en el diseño de la estructura de soporte y finalmente la última ruta fue aplicada a la construcción de los lineamientos cualitativos que debe tener el sistema de adquisición. El proceso que determina el diseño de la herramienta se demuestra mediante la abstracción de requisitos que el sistema debe cumplir y la solución a los parámetros establecidos. Por esa razón se implementa la Tabla 2, donde se puede observar los requisitos que debe cumplir el sistema que determinará cuantas veces una persona al dormir cambia de posición. Se representa la descripción del requisito, la variable que interviene y el elemento que satisface la necesidad. De esta forma se conforma una estructura de elementos a utilizar acoplados a un propósito fijado.

Tabla 2 DESCRIPCIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN.

Requisitos del dispositivo de adquisición	Descripción de requisito	Características de diseño	Elemento que suple la necesidad
1. Portabilidad y comodidad	Debe estar diseñado de tal forma que un usuario pueda portar el dispositivo cómodamente	Diseño ergonómico	Elaboración de un diseño con características de comodidad
2. Volumen del dispositivo	Los elementos que componen el sistema deben cumplir con no sobrepasar un volumen especificado	Volumen del dispositivo	Módulos de circuito de bajo tamaño y estructura de soporte del dispositivo eléctrico de tamaño reducido
3. Adquirir cambios de posición de una persona al dormir	Un componente fundamental de la investigación es adquirir datos del movimiento que realiza una persona en el sueño	Posición del tórax a lo largo del tiempo	Sensor acelerómetro-giroscopio
4. Funcionamiento debe ser de más de 7 horas	La aplicación del sistema requiere que el dispositivo adquiera datos por un tiempo determinado	Duración de fuente de energía	Batería de recargable lipo de 160 mah y programación del dispositivo que limite el gasto de energía
5. Fácil de usar	El dispositivo debe ser de fácil uso	Diseño intuitivo	Protocolo de uso simple
6. Visiblemente estético	El elemento será acoplado a un participante, por esta razón el dispositivo debe inspirar seguridad	Agrado al portar	Diseño elaborado con materiales de calidad
7. Protección contra elementos ambientales	El dispositivo debe cumplir con parámetros de protección contra agentes externos como agua o polvo	Grado de protección	Diseño del soporte de herramienta encapsulado
8. Protección eléctrica	Elementos eléctricos del dispositivo no deben afectar el medio de uso	Aislamiento eléctrico	Diseño implementado en el encapsulado elaborado con materiales dieléctricos

Los componentes electrónicos que se usarán para satisfacer algunos requerimientos serán:

1. Sensor MPU6050 acelerómetro-giroscopio, este componente cumplirá como elemento para cumplir con el requisito número 3. Además de ello, aportará a complementar el requisito número 2, ya que su tamaño es considerablemente reducido, las dimensiones del módulo son, 20mm*15.5mm*2.5mm.
2. Batería tipo LiPo de 3.7V 160mAh, este componente será el que abastezca al circuito eléctrico de energía, es una batería de tamaño reducido pero eficiente cumpliendo con el requisito número 2 y 4, la batería se calcula que durará 10 horas con funcionamiento continuo del sistema.
3. Cargador de batería "LiPo TAR TP4056PROT", al tener un sistema recargable se desea brindar comodidad al implementar el sistema, cumpliendo con el requisito número 5, además este componente se determinó por su propiedad de protección eléctrica ya que interviene como una barrera de sobre voltajes de la batería.

4. Módulo de comunicación inalámbrica ESP8266 07, la implementación de este componente fue muy importante ya que brinda facilidad de uso, portabilidad y eficiencia en cuanto al gasto de energía, cumpliendo con los requisitos número 1,2,4,5. Este componente brinda acciones de programación gracias a su procesador de bajo consumo.

Al integrar los elementos electrónicos propuestos anteriormente se procedió a verificar el cumplimiento de los parámetros de adquisición. Las variables que se recalcan en el proceso de diseño se relacionan a la adquisición del dispositivo electrónico. En la Tabla 3 se describen las variables que se tienen en cuenta para garantizar la adquisición de la frecuencia de movimiento mediante el manejo de las variables [X Y Z] y del almacenamiento del momento en el que los datos son tomados.

Tabla 3 VARIABLES RELACIONADAS A LA ADQUISICIÓN DE FRECUENCIA DE MOVIMIENTO.

Variable	Definición	Escala Medición	Tipo de variable
Ejes coordenados	Los ejes coordenados se especifican como tres datos, [X Y Z], estos determinaran la orientación en el espacio del sensor acelerómetro-giroscopio mediante la distribución de la fuerza de gravedad.	Magnitud de la fuerza de gravedad (N)	Cuantitativa
Tiempo	Durante la adquisición de datos es importante determinar el momento en que ocurren los eventos. Frecuencia de movimiento	Segundos (seg) Veces que se moviliza /h	Cuantitativa

Para la evaluación de los cambios de posición, mediante un sistema electrónico es necesario la estructuración del escenario y las variables implicadas en la aplicación del dispositivo, para ello se recrea el escenario de cómo se identificará un movimiento durante el sueño de una persona y como se interpretará.

Basado en esto se identifica que el sensor acelerómetro-giroscopio será ubicado sobre el tórax del participante, el cual determinará los ejes de coordenadas [X Y Z] que interaccionaran con la ubicación espacial del usuario. En la figura 1 se representa las posiciones anatómicas que el sensor puede distinguir como un evento de cambio de posición durante el sueño. La adquisición de la información de posición se realiza por medio del acelerómetro-giroscopio, el cual, por medio de su construcción electromecánica, define por sí mismo los ejes de coordenadas de su sistema.

Para definir las posiciones descritas se tienen diferentes recursos para lograrlo, todos están definidos por el efecto de la gravedad y los datos que se adquieren del sensor. Es decir, el sensor utiliza los datos de coordenadas sobre las consecuencias que el efecto de la gravedad tiene sobre su mecanismo. Por ello es sencillo describir a lo largo del tiempo lo que ocurre con los movimientos que experimenta el sensor, producto del movimiento de la persona que lo porta. Por otro lado, los ejes de coordenadas que identifica el sensor acelerómetro-giroscopio está ligado a la distribución de la magnitud de la gravedad entre sus ejes, en este caso la magnitud de la fuerza de gravedad se distribuirá por el eje Z y X, como se representa en la Figura 1, allí existen dos elementos importantes a considerar. El

primero es la distribución de los ejes de coordenadas sobre el participante, se observa que el eje Y se encuentra perpendicular a la superficie donde reposa la persona produciendo que no exista componente de gravedad sobre este, en cambio los ejes X y Z intervienen en cada posición anatómica sobre la orientación de la gravedad, produciendo que se distribuya la magnitud de la fuerza que recae sobre el sensor en estos dos ejes.

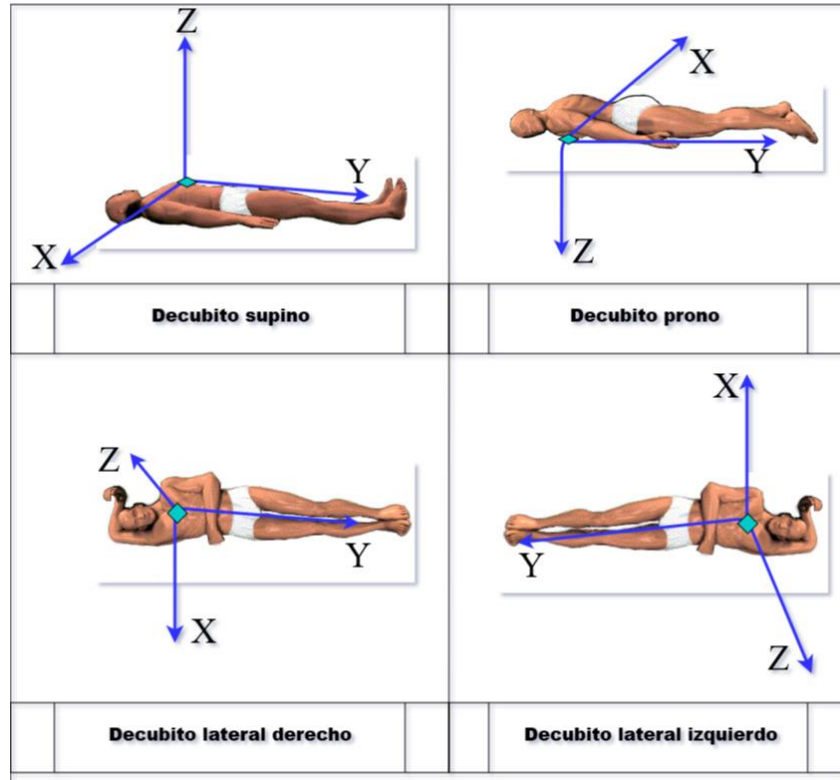


Figura 1. Relación de la posición anatómica y el eje de coordenadas del sensor acelerómetro-giroscopio

Mediante el análisis de la distribución de la fuerza de gravedad sobre los ejes X y Z se determina la posición anatómica del participante. Además, las variaciones que existen durante los movimientos durante decúbito lateral derecho e izquierdo, ya que pueden variar los ángulos de inclinación existentes en estas posiciones.

De acuerdo con lo anterior, se aplica el teorema de Pitágoras mediante el diagrama de fuerzas que experimenta el escenario de adquisición del sensor, en la figura 2 se representa de qué manera se grafican los ángulos en los ejes donde interviene la gravedad, los ejes Z y X. Por consiguiente, el eje involucrado con el ángulo que se desea adquirir está determinado por el eje Z y el eje de referencia representado en azul en la figura.

Para entender gráficamente como se forma el ángulo de 45° en el sistema, se deberá relacionar el eje Z y el eje X y su proporcionalidad con la fuerza de gravedad y después relacionarlo con el eje de referencia. Como se muestra en la figura 2 el eje X y Z, los cuales para este caso intervienen en la misma proporción con la gravedad. Cuando esto ocurre el ángulo que se forma entre el eje de referencia, el cual es un eje perpendicular a la fuerza de gravedad, y el eje Z es de 45° .

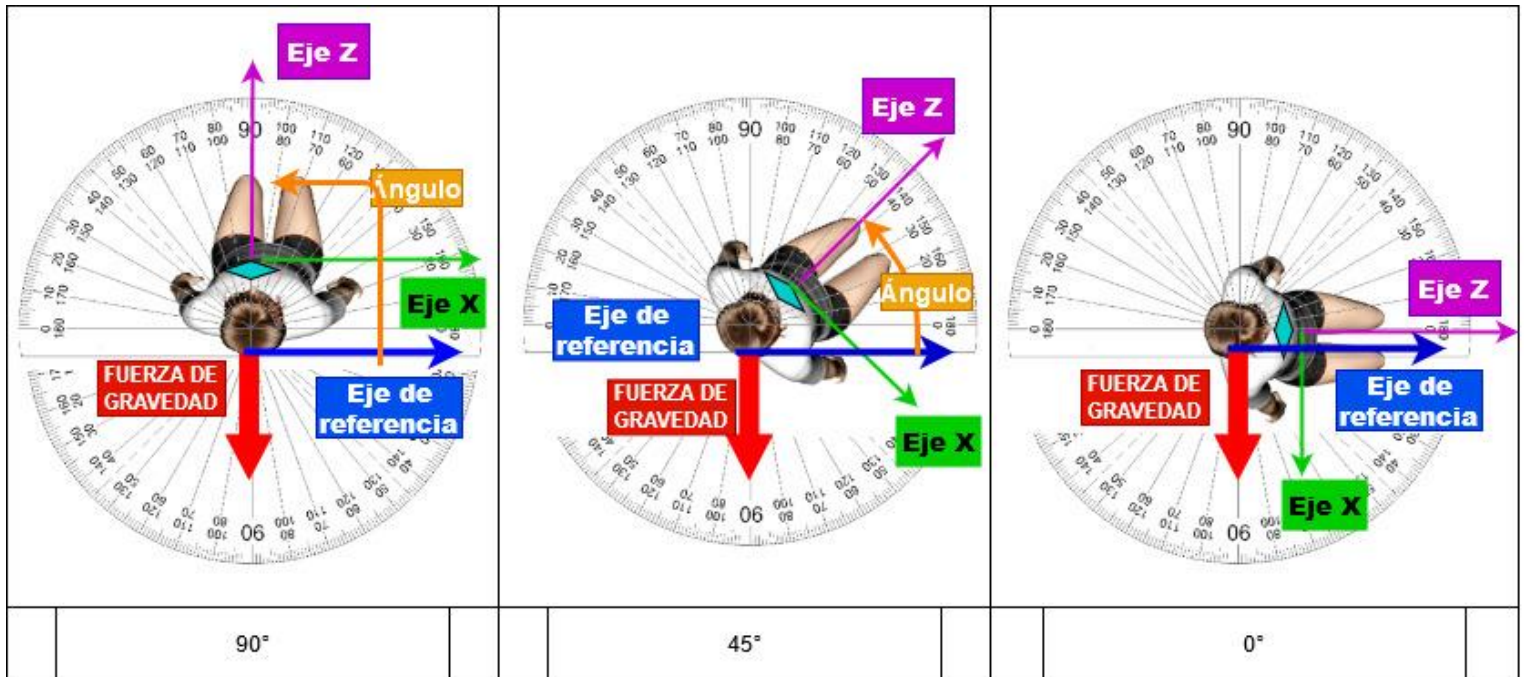


Figura 2 Identificación de los ángulos del tórax mediante el módulo MPU6050 (ACELEROMETRO-GIROSCOPIO).

Por otro lado, la evaluación del diseño estructural que soportará el dispositivo electrónico es una fase primordial ya que este, tendrá que soportar variables asociadas a el peso del participante, la humedad que se presenta al dormir y la comodidad al portarlo durante el tiempo de prueba, como se indicó anteriormente en la tabla 2: Descripción de requisitos del sistema de adquisición.

El diseño de la estructura que protege el dispositivo electrónico se evaluó mediante ensayos de simulación de fuerzas para evaluar la resistencia que la estructura debe soportar, por ejemplo, el peso del tórax del usuario fue realizado haciendo uso del software de diseño de estructuras "SOLIDWORKS", se configuró una aplicación de evaluación de fuerzas mediante una distribución de la magnitud y dirección de una fuerza estática en un a dirección del soporte. Además, se crea un diseño de soporte para los elementos electrónicos integrados en el sistema, de acuerdo con las especificaciones presentadas anteriormente en la Tabla 2.

3.3. Fase 3: diseño de sistema comunicación IoT.

Marco teórico

La comunicación inalámbrica como bluetooth o Wi-Fi, se determina por medio de principios de transferencia y recepción de datos y por medio de ondas electromagnéticas de baja frecuencia. La comunicación Wi-Fi se determina mediante conexiones inalámbricas las cuales se rigen por dos tipos de intercambio de información, mediante "access point" y "client", las cuales son ondas de radio. El "Access point" se constituye como el punto de acceso del dispositivo. Por ejemplo, para que un dispositivo móvil o sensor pueda adquirir

información de una red Wi-Fi, el dispositivo mediante su vía de comunicación “client”, debe conectarse a él “access point” de la red de comunicación [24].

Por medio de este funcionamiento los dispositivos electrónicos usan este principio para ser nodos de comunicación entre un sensor y una plataforma virtual la cual almacena información (nube). Este elemento es usualmente tratado en la arquitectura más común que tiene la implementación de IoT, y está denominada por la interacción de tres niveles de elementos. El primer nivel es el proceso por el cual un dispositivo sensor adquiere datos del mundo real, el segundo nivel lo integran los dispositivos que reciben información de los sensores y la comunica a una red de información, y el tercer nivel es la recepción de la información y el almacenamiento, con el fin de ser interpretada para prestar un servicio basado en adquisición de información [25].

Existen plataformas virtuales que ayudan a desarrollar servicios de análisis de información relacionada a IoT. Algunas plataformas presentan un orden de comandos y acciones que manipulan una secuencia lógica de elementos para realizar una acción específica, existe un modo de definición de acciones por medio de nodos, los cuales son utilizados en la estructuración de la programación y la aplicación, los nodos están ligados a propiedades que ayudan a automatizar procesos de manejo de datos, en cuanto al manejo, transformación, comunicación, divulgación, manejo de Hardware y almacenamiento de datos. La herramienta Node-Red se basa en programación establecida en flujos, esta arquitectura contempla en su programación, funciones que permiten la comunicación de datos por medio de redes de comunicación física o igualmente inalámbrica [26].

La interfaz de usuario de Node-Red está determinada por: un panel de nodos, un área de programación de nodos y un panel de activación nodos y almacenamiento de información. Entre las ventajas que posee el desarrollo de aplicaciones y servicios de información en la plataforma Node-red se destaca, la propiedad de ser una red de información flexible, dinámica e intuitiva. Además de incluir un gran número de posibilidades en cuanto a la aplicación de sistemas electrónicos administrados por medio de redes de información variada [26].

Ligado a las plataformas virtuales, existen protocolos que permiten la comunicación por medio de redes de internet. Existen dos estructuras llamadas “Hypertext Transfer Protocol” (HTTP), y “Message Queue Telemetry Transport” (MQTT). El protocolo HTTP corresponde a la denominación más conocida para el protocolo basado en la relación cliente-servidor o también conocido petición- respuesta. El cliente establece un enlace y solicita datos al servidor por medio de un mensaje. El servidor responde el estado de la solicitud y si aplica, los datos requeridos, y procede a terminar la conexión de enlace. Por otro lado, existe el protocolo MQTT, contrario al protocolo HTTP, el protocolo MQTT mantiene una conexión abierta entre un publicador y un suscriptor a través de un elemento llamado bróker, la conexión solo se verá afectada por un requisito del cliente, que podría finalizar la conexión e intercambio de datos [27].

Para enviar datos a través de web existe un formato que usan los protocolos de comunicación llamado JavaScript Object Notation (JSON). Las estructuras “JSON” son un formato usado en los protocolos de intercambio de datos web, tiene una estructura definida la cual es usada universalmente para el intercambio de información [7].

Métodos-procesos (variables):

El componente que funciona como nodo de comunicación entre el sensor acelerómetro-giroscopio y la plataforma en la nube llamada Node-Red es un módulo electrónico llamado: ESP8266-07. Este elemento es un chip integrado, su particularidad más interesante para el estudio es la función de conectividad a redes Wi-Fi, haciendo posible el intercambio de información vía internet. El uso de este dispositivo es clave para el proyecto de diseño ya que es el componente central en la red de adquisición y envío de información.

El desarrollo del código se ejecuta en la plataforma ARDUINO IDE, el código que se implementa en la herramienta electrónica tiene una estructura de programación que divide tareas como: preparación de uso del dispositivo al participante, configuración del sistema, comunicación entre sensores, recepción de datos, almacenamiento de variables, configuración de transmisión de red Wi-Fi, conexión y transmisión de información por red a la nube.

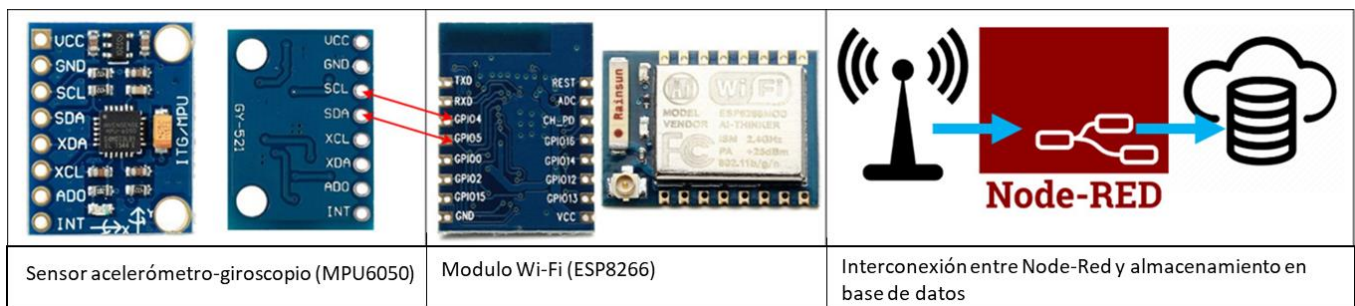


Figura 3. Diagrama del sistema de comunicación de los elementos del dispositivo.

En la Figura 3 se puede observar el flujo de comunicación que interactúa con los elementos de diseño del dispositivo. En la fase inicial se encuentra el sensor MPU6050 el cual adquiere información del medio físico. La información recibida es directamente comunicada por medio de protocolo I2C mediante las conexiones SCL y SDA. El módulo Wi-Fi ESP8266-07. Al recibir información del sensor, el módulo Wi-Fi ejecuta una configuración de conexión a internet, posteriormente realiza una petición de conexión por medio del protocolo HTTP, para a continuación enviar la información suministrada por el sensor acelerómetro-giroscopio en formato JSON.

La construcción del sistema de comunicación IoT se realizará por medio de capas que serán definidas y clasificadas por la agrupación de las funciones de los elementos digitales y físicos que intervienen en la investigación. De tal modo que la arquitectura IoT quede se la siguiente manera:

1. Capa 1: dispositivos físicos los cuales intervienen con el participante y están compuestos por los módulos electrónicos, es decir el acelerómetro-giroscopio, batería, cargador de batería, módulo WiFi, carcasa plástica.
2. Capa 2: fase de comunicación inalámbrica por medio de comunicación HTTP. Se involucra la recepción y transmisión por parte de los procedimientos configurados en el código del módulo ESP8266 desarrollados vía internet inalámbrica. Este inicia en el momento en que el módulo WiFi de la capa 1, se

conecta a la red inalámbrica, para finalizar efectuando la transferencia de datos al servidor de Node-Red.

3. Capa 3: infraestructura de almacenamiento y recepción de datos. Integra la plataforma Node-Red con el fin de recibir, organizar y almacenar los datos en una base de datos previamente configurada. La construcción de la base de datos del sistema de comunicación se realiza por medio de un servidor externo por medio de la base de datos MySQL, la configuración realizada se basó en crear tablas para cada grupo de adquisición, mediante el comando: "CREATE TABLE TABLA (`id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT, `X` FLOAT NOT NULL, `Y` FLOAT NOT NULL, `Z` FLOAT NOT NULL, `DATE` TIMESTAMP NOT NULL, PRIMARY KEY (`id`)) ENGINE = InnoDB;".
4. Capa 4: por medio de flujos y algoritmos se grafican los datos obtenidos durante la adquisición para ser analizados y visualizados por los investigadores. Estas herramientas están disponibles en la plataforma interactiva de Node-Red, según lo descrito para identificar valores correspondientes al ángulo que el tórax con respecto a la superficie horizontal del usuario se debe usar la fórmula descrita en la ecuación 1, donde las variables X, Y y Z representan la magnitud de los ejes del sensor acelerómetro-giroscopio.

$$\text{ángulo torax} = \left(\text{atan} \left(\frac{\left(\frac{Y}{\sqrt{Z^2 + X^2}} \right)}{\frac{Pi}{180^\circ}} \right) \right) + 90^\circ \quad (1)$$

3.4. Fase 4: validación de funcionamiento del sistema de adquisición.

Métodos-procesos (variables):

La validación del funcionamiento del dispositivo creado en un modelo simulado tiene como objetivo evaluar la fiabilidad del sensor para capturar y diferenciar entre varios cambios de posición, en términos de ángulos corporales (lateral derecho–lateral izquierdo). De la capacidad del sensor para detectar estos cambios dependerá su probabilidad de uso en diversas áreas del cuidado clínico. Adicionalmente, este sensor tiene la capacidad para cuantificar y graficar la frecuencia de los cambios de posición en un tiempo determinado.

Para validar los resultados del sensor se realizaron dos tipos de pruebas. La primera se basó en pruebas de control simuladas, las cuales tienen como finalidad identificar la exactitud y la precisión del dispositivo. Frente a esto, se tomaron 30 muestras cada 10° empezando en 0° y finalizando en 90°, se toman cada 10° ya que se determinó que tomar 10 variables de comparación de validación de datos fue conveniente para determinar precisión y exactitud de un rango de adquisición del sensor. El procedimiento efectuado para realizar la toma de datos del sistema se realizó acoplado el sensor a un goniómetro, configurando previamente el ángulo que se pretendía observar. Al encender el sistema, inmediatamente, se produce que por red Wi-Fi, se transfiere la información a un centro de almacenamiento en la nube como se observa en la figura 4. Para cada dato extraído se inicia el sistema desde el modo apagado del dispositivo.

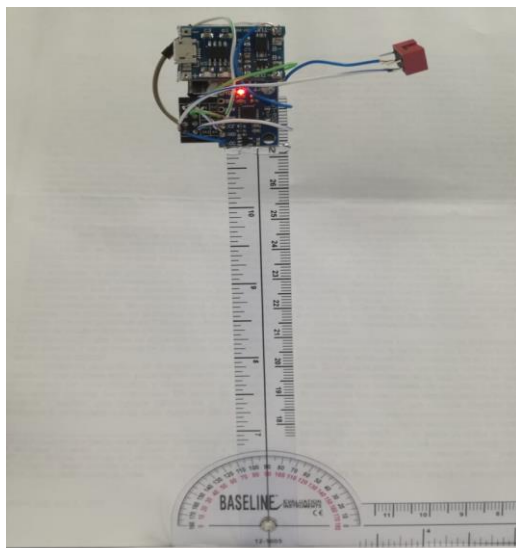


Figura 4. Montaje realizado para prueba de validación sensor acelerómetro-giroscopio.

Por otro lado, se quiere estudiar el comportamiento del escenario donde el sensor trabajará, esto mediante una prueba que brinda las dimensiones espaciales del tórax con la interacción de los elementos típicos de un sitio para descansar como lo es una cama, con almohadas, cobijas, entre otros elementos. Para esta prueba se dispone de un voluntario el cual debe realizar una posición anatómica determinada

Se quiere evidenciar los valores de los ejes X, Y y Z cuando el voluntario está en la posición decúbito lateral con un ángulo de inclinación de 30, 45° y 60° entre el tórax y la superficie horizontal en la que reposa (ver figura 5), para cada ángulo expuesto anteriormente se tomaran 30 datos. Para verificar la comparación se utilizará un goniómetro convencional.

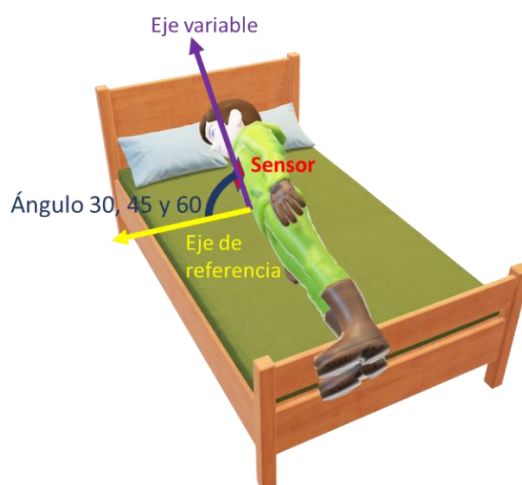


Figura 5. Escenario de adquisición simulada para validación de información.

Para las dos metodologías de validación se aplicará una prueba estadística descriptiva, con el fin de evaluar la exactitud y precisión en cada caso. Se realiza estadística descriptiva de los datos por medio del software IBM SPSS Statistics 25. Destacando el

histograma de los datos obtenidos y el gráfico de bigotes, además de los datos estadísticos particulares.

Por otro lado, se quiere validar cuanto es el tiempo máximo de adquisición desarrollado por el dispositivo frente a la batería cargada y conexión de red inalámbrica estable. La metodología se enfoca en evaluar cuanto tiempo le toma al dispositivo descargarse y en qué proporción lo hace a medida del tiempo. Los datos adquiridos de esta prueba son de voltaje de la batería durante el tiempo de descarga, la adquisición de estos datos se realiza por medio de un multímetro convencional cada 10 minutos, se verifica directamente sobre la batería.

3.5. Fase 5: evaluación de factibilidad en usuarios adultos.

El propósito de la evaluación de factibilidad en participantes adultos es crear un escenario en donde sea posible registrar información con ayuda de sistema IoT desarrollado a lo largo de la investigación. Principalmente se quiere evaluar que las características del sistema se acoplan a la aplicación para realizar la adquisición de los reposicionamientos que realizan las personas al dormir, se evaluará específicamente si el sensor cumple su función, basado en un protocolo de configuración específico.

Durante esta fase metodológica se aplica un protocolo el cual tiene como objetivo adquirir la frecuencia de cambios de posición durante el sueño en personas adultas. Existen tres fases en las cuales se deben realizar actividades específicas para tener la certeza de que la interacción entre los componentes del sistema de adquisición actuará correctamente.

Inicialmente para que una sesión de adquisición sea efectiva se debe realizar una previa configuración del sistema IoT, ya que elementos como:

1. El almacenamiento en la base de datos debe ser configurada para almacenar en cada sección los datos en una tabla nueva, para realizar esta configuración se debe ingresar en la plataforma de Node-Red y codificar el requerimiento deseado.
2. El nivel de la batería debe estar cargada al máximo de su capacidad, este proceso se realiza mediante un cargador de 5V con un cable micro USB. Cuando la batería no está en su máxima capacidad, el circuito encargado de cargarla tiene una alerta, sí al conectar la batería el dispositivo no requiere se cargado un led produce una luz color azul, pero si la batería no se encuentra cargada la luz del led será de color rojo. Es importante que para cada sección de toma de datos con participantes la batería dure aproximadamente 9 horas y esto se logra con una carga total de la batería Lipo integrada en el circuito.
3. Para que la comunicación entre el sensor acelerómetro-giroscopio y la plataforma Node_Red sea efectiva, se debe realizar una conexión inalámbrica que brinde la conectividad por el tiempo necesario para que el sensor pueda tomar la mayor cantidad de datos. La información y requisitos que dicho dispositivo debe ofrecer es conexión a internet de forma inalámbrica, según esto un dispositivo portable como un celular o la red local de internet de una vivienda puede ser parte del sistema de comunicación del dispositivo. La configuración de este proceso se da por medio del ingreso del nombre y clave de la red inalámbrica en el código del dispositivo ESP8266. Es recomendable tener disponible un dispositivo portable de tipo celular para que el proceso no se torne complicado al cambiar el lugar de aplicación del dispositivo.

Existe una segunda fase la cual constituye la interacción entre el dispositivo sensor y el usuario, esta serie de pasos deben ser claros puesto que la aplicación donde interviene el aparato IoT debe tener lineamientos controlados como por ejemplo el tiempo efectivo en que el usuario duerme, la edad del participante, la comodidad que interviene entre el sensor y la persona que lo usa.

1. Principalmente el investigador se debe asegurar que el dispositivo no va a causar un efecto adverso al esperado al aplicar el sensor en un escenario de toma de datos, como lo puede ser una vivienda familiar. Lo mencionado anteriormente involucra una revisión general del sistema físico, es decir: si la estructura que sostiene el dispositivo se encuentra en óptimas condiciones, ya que en ningún momento debe tener contacto con el exterior.
2. Por otro lado, el investigador se debe asegurar que el participante se sienta cómodo usando el dispositivo, esto se verifica antes de que se efectúe el inicio de la adquisición. El dispositivo cuenta con una banda elástica elaborada con texturas similares a la tela, pero con componentes elásticos en su configuración. Basado en esto se quiere formar un sistema cómodo para no alterar de ninguna forma la interrupción del sueño en el participante.
3. Cuando el participante está dispuesto a entrar a su rutina diaria de sueño, se debe encender el dispositivo por medio de sus botones, este encenderá un led de baja intensidad alertando un estado de funcionamiento activo, se reconoce que una persona sana que no ingiere medicamentos para conciliar el sueño no entre en este de forma inmediata, es decir que al momento de visualizar los datos se debe establecer un rango donde exista certeza de que el usuario este dormido, la determinación de este rango se da por la eliminación de la primer y la ultima hora de adquisición .
4. Al despertar el usuario debe apagar el equipo de adquisición, en ese momento se dará por terminada la sesión de adquisición.

La tercera fase se basa en las capas digitales del sistema de almacenamiento, visualización y análisis de datos de un participante. Es importante tener un orden de actividades para realizar una visualización de los datos en tablas que brinden información detallada del comportamiento de la persona durante el estado de sueño.

1. la información que es almacenada en la base de datos son 5 variables: el ID del dato es decir el registro único del dato, las variables espaciales del equipo sensor (X, Y, Z) y el tiempo exacto en el que fue recibida la información en la base de datos.
2. Teniendo esto en cuenta, cuando finaliza la sesión de adquisición de datos y el equipo esta apagado se dejará de transmitir información a la plataforma de Node-Red, al igual finalizará el almacenamiento en la base de datos. Allí es cuando se puede ver por completo la información captada en esa sesión, para cada variable espacial (X, Y, Z) se diseñó un gráfico que involucra el tiempo, con el fin de visualizar el comportamiento de actividad del participante. Lo mencionado anteriormente tiene implicaciones muy importantes en el análisis de la investigación ya que confirmara con exactitud como se realiza el movimiento de una persona al dormir, su forma de acomodación del tórax a medida del tiempo, su frecuencia de cambio, los ángulos que toma el torso con respecto a un eje horizontal, cada parámetro expuesto anteriormente es abstraído de la plataforma Node-Red ya que allí se grafica cada componente de la base de datos.

4. RESULTADOS

4.1. Fase 1: revisión sistemática de literatura.

La búsqueda de los artículos científicos se determinó mediante la relación de las siguientes palabras claves: “repositioning” AND “sensor” AND “intensive care”. Se obtuvo 12 resultados, los cuales fueron evaluados buscando la relación entre tecnología y su aplicación médica. Finalmente, para el cumplimiento de este objetivo seleccionamos 4 artículos. Estos son comparados en el anexo 1, la cual describe diferentes características del estudio que se realiza, destacando las diferencias en cuanto a los métodos investigativos que se obtuvieron para aplicar la tecnología al ámbito clínico.

En los cuatro artículos finalmente seleccionados, se determinan dos subcategorías en cuanto a la metodología realizada en las investigaciones encontradas en los artículos. Por un lado, se observó que en los estudios de Renganathan [29] y Pickham [30] el propósito de la investigación fue determinar el efecto de utilizar un sistema tecnológico de evaluación de la frecuencia de cambios de posición en el alcance de resultados (reducción de eventos como úlceras en un grupo comparado con el grupo que no utilizó el sensor de frecuencia). Por otro lado, tanto en el estudio de Y. W. Liu [31] como en el de M. J. Peterson ocurre lo contrario, la tecnología y el uso de esta en aplicaciones clínicas fueron el foco principal de la investigación.

Al analizar cada artículo la información relacionada con la tecnología implementada en cada uno de los estudios y se ha resumido en la tabla 5. En todos los estudios se identificaron dos vías tecnológicas utilizadas, compuestas por el uso de sensores basados en acelerómetros y sensores de presión. En el estudio realizado por Renganathan [29] y en el de Pickham [30], la tecnología de adquisición de la información fue muy similar por cuanto ambos utilizaron un dispositivo compacto portable y de transferencia de datos inalámbrica basado en acelerómetro. Y aunque la estructura que soporta el sistema electrónico fue diferente, en estos dos estudios se utilizó un modo similar de adherencia del sistema al paciente de forma desechable.

En los estudios presentados por Y. W. Liu [32] y Peterson [31], se evidenció la importancia de realizar un mapeo establecido por los datos de presión, con el fin de determinar el cambio de movimiento y ubicación de estructuras anatómicas en áreas del cuerpo como por ejemplo de las extremidades superiores e inferiores. La tecnología fue constituida mediante el cubrimiento de las áreas en donde repercuten los movimientos del paciente con sensores de presión, estableciendo un rango sobre la superficie de la cama donde reposa la persona.

Adicionalmente se describe (en la Tabla 4) el tipo de comunicación presentado en cada dispositivo de cada uno de los estudios incluidos en esta revisión. En este caso la tendencia a transferir y recibir los datos de forma inalámbrica es evidente en la tecnología presentada, a excepción del estudio de Peterson [31] en el cual se utiliza una vía de comunicación directa desde los sensores por medio de cables.

Tabla 4 ASPECTOS TÉCNICOS DE LOS SENSORES.

Estudio	Tipo de sensor y Ubicación	Modo de comunicación	Modo de alerta	Datos registrados
1-B. S. Renganathan <i>et al.</i> , Effectiveness of a continuous patient position monitoring system in improving hospital turn protocol compliance in an ICU: A multiphase multisite study in India. <i>Journal of the Intensive Care Society</i> . 20 , 309–315 (2019).	Sistema que integra sensor de baja energía basado en acelerómetro-giroscopio-magnetómetro, ubicado en el pecho del paciente.	Comunicación inalámbrica por medio del sensor a un dispositivo Android tipo tableta	La alerta se determina por medio de la visualización de los datos adquiridos por el sensor, mediante una interfaz se identifica a lo largo del tiempo el desarrollo y cumplimiento de los protocolos	Evaluación del cumplimiento de los protocolos de reposicionamiento para cada grupo. El registro del ángulo de rotación del torso del paciente con respecto a la superficie de la cama. El cumplimiento del protocolo de giro es la relación entre el tiempo total que el paciente cumplió con el protocolo de giro (Tc) y el tiempo total monitoreado (Tm).
2-D. Pickham <i>et al.</i> , Effect of a wearable patient sensor on care delivery for preventing pressure injuries in acutely ill adults: A pragmatic randomized clinical trial (LS-HAPI study). <i>International Journal of Nursing Studies</i> . 80 , 12–19 (2018).	Sistema que integra sensor acelerómetro de 3 ejes, sensor fototransistor	Comunicación inalámbrica mediante radio frecuencia. Los datos son transferidos desde el sensor a una antena y después a una plataforma virtual	Mediante leds el dispositivo da una realimentación directa al personal médico, además de la visualización de datos en la plataforma propia de la empresa	Evaluación del cumplimiento de los protocolos de reposicionamiento para cada grupo. Recopilación de la orientación del paciente determinado por el torso y un eje paralelo a la superficie de reposo. Registro del nivel de luz ambiental.
3-M. J. Peterson, W. Schwab, J. H. Van Oostrom, N. Gravenstein, L. J. Caruso, Effects of turning on skin-bed interface pressures in healthy adults. <i>Journal of Advanced Nursing</i> . 66 , 1556–1564 (2010).	Matriz de sensores de presión tipo capacitivos con integración de sistemas de mapeo y extracción de imágenes por presión	Comunicación serial desde la matriz de sensores a un dispositivo de almacenamiento	La recolección de datos se realiza por medio de la matriz con el fin de observar diferentes variables relacionadas a la presión de una persona, en este estudio no se presentan alarmas	Se realiza un mapeo por medio de imágenes que organizan para describir en un área específica la distribución de presión de una persona durante una posición anatómica específica.
3-Y. W. Liu, Y. L. Hsu, W. Y. Chang, Development of a bed-centered telehealth system based on a motion-sensing mattress. <i>Journal of Clinical Gerontology and Geriatrics</i> . 6 , 1–8 (2015).	Arreglo de sensores de presión tipo piezorresistivo con integración de sistemas de mapeo y extracción de imágenes por presión	Comunicación inalámbrica y serial desde el arreglo de sensores a un dispositivo de almacenamiento	El sensor de movimientos por presión activa una alarma al detectar la persona sentada sobre la cama, completamente sobre la cama o ausente del dispositivo. Al igual que al dormir y la calidad del sueño.	Se realiza un mapeo por medio de imágenes que organizan para describir en un área específica la distribución de presión de una persona durante una posición anatómica específica además del registro de parámetros relacionados a frecuencia respiratoria y calidad del sueño.

La limitación identificada en los estudios se observa al comparar los dos métodos de adquisición del reposicionamiento de pacientes en unidades de hospitalización, mediante el uso de acelerómetros y placas sensores de presión. En primera instancia existe una limitante muy importante al usar las placas de presión, dado que estas miden el cambio de posición del paciente de forma efectiva, pero no brinda información específica de la posición exacta de una persona cuando se encuentra en un rango en posición de decúbito lateral izquierdo o derecho. Contrario a esta tecnología el acelerómetro proporciona información con gran exactitud de los ángulos entre el paciente y la superficie en que reposa, pero no brinda información de donde o de qué forma se configuran las extremidades del sujeto.

4.2. Fase 2: diseño del equipo de adquisición de información y estructura de soporte del dispositivo.

Para dar respuesta a los requerimientos propuestos en la metodología se presenta el sistema circuito esquemático de diseño y conexiones de comunicación entre elementos como se presenta en la figura 7. El diseño del sistema electrónico está conformado por el sensor acelerómetro giroscopio (1), módulo de comunicación Wi-Fi (2), cargador de batería LIPO (3) y batería LIPO 3.7V (4). El sistema expuesto es el encargado de realizar las mediciones que determinarán la frecuencia de cambios de posición de los participantes.

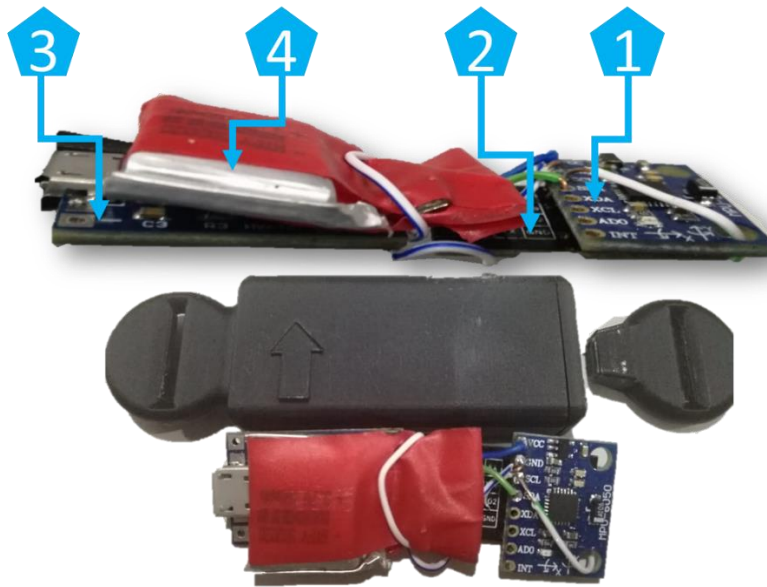


Figura 6. Mecanismos de soporte y adquisición digital

Con respecto al diseño del sistema de soporte realizado basado en tecnología de impresión 3D, se puede decir que permite:

1. Cargar la batería del dispositivo sin tener que exponer el circuito electrónico.
2. Su uso portátil mediante el accesorio de correas de sujeción compuestas de un material elástico,
3. El ajuste corporal a la talla de cada individuo—graduable. dado que el sistema de soporte tiene integrado un extensor el cual moldea las correas de sujeción dependiendo del diámetro del tórax del usuario.
4. Una mayor elasticidad y resistencia a la presión que podría efectuarse sobre él.
5. Su utilización de forma intuitiva, mediante marcas en el diseño 3D, mediante el cual se determina la orientación que debe tener sobre el usuario.

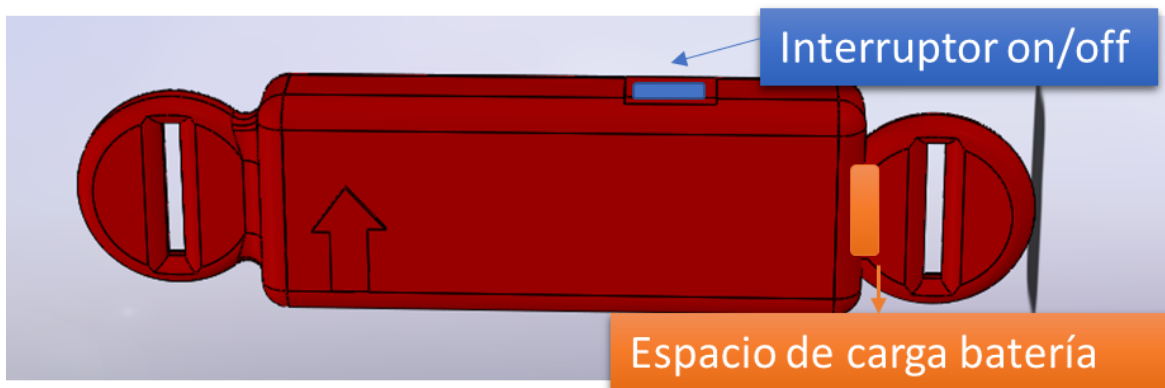


Figura 7. Diseño del soporte del sistema electrónico.

La figura 8 y figura 9 expone el diseño de soporte del sistema de adquisición de datos realizado por medio de un software especializado, utilizado para el diseño de estructuras. El diseño puede estar expuesto a diferentes fuerzas mecánicas, como lo es el peso del usuario, por esta razón comparan dos series de impresiones para dos posibles materiales plásticos, el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) y el PLA (Ácido poliláctico). Se puede observar que el diseño tiene en cada esquina un redondeo, esto caracteriza a la pieza 3D con diferentes propiedades de comodidad. El diseño de la pieza se basa en las dimensiones calculadas mediante un sistema electrónico.



Figura 8. Implementación del diseño en un usuario adulto.

4.3. Fase 3: diseño de sistema comunicación IoT.

El resultado obtenido de las configuraciones realizadas en el diseño del sistema de comunicación IoT se presenta mediante capas, cada una con una significativa función. En esta aplicación de IoT se presenta una arquitectura formada por 4 capas (ver figura 10), en donde se define: el sistema de adquisición de datos y elementos físicos destinados a ese propósito (capa 1), el sistema de comunicación Wi-Fi (capa 2), elementos de configuración, almacenamiento y manejo de variables constituido por Node-Red y la base de datos (capa 3) y la interfaz gráfica y las herramientas de análisis de datos (capa 4).

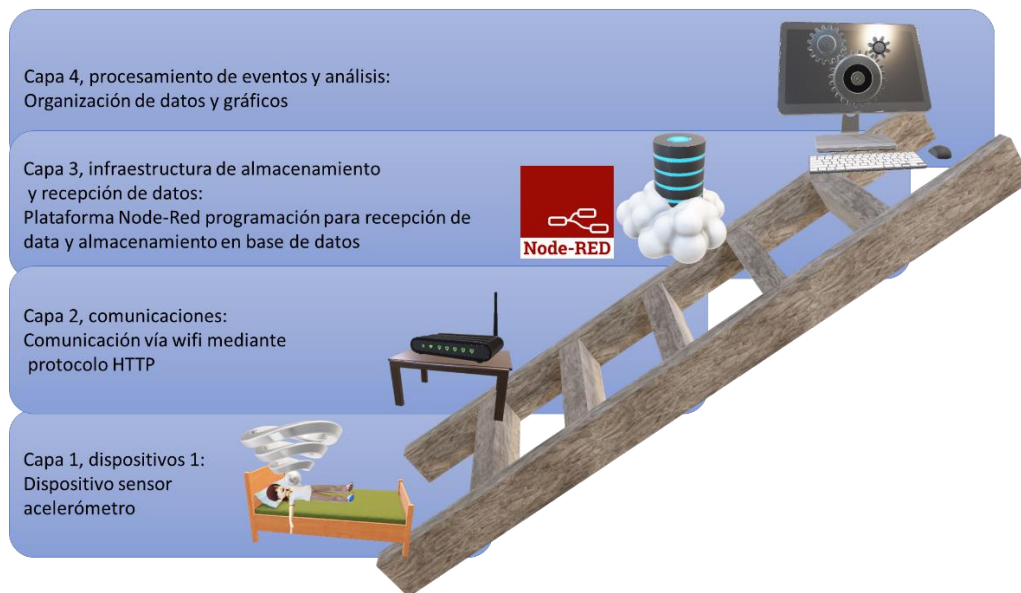


Figura 9. Sistema de capas IoT.

El código de programación del dispositivo de comunicación Wi-Fi (ESP8266) se puede analizar en el Anexo 2, está construido en una plataforma llamada Arduino IDE, el cual se compone de sistemas paralelos de control, los cuales intervienen en el manejo de configuración de variables a usar durante el ciclo de adquisición del dispositivo acelerómetro-giroscopio, y la estructuración de la comunicación efectiva entre el sensor, el módulo de comunicación WiFi y el dispositivo que brinda de internet al módulo ESP8266. Esta configuración es el inicio de la red de comunicación de los datos del movimiento del tórax de una persona, es decir interviene directamente con la capa 1 y 2 representada en la figura 10.

Al intervenir la configuración realizada en capa 3, se debe presentar la plataforma Node-Red. Esta plataforma hace un puente entre los datos crudos y datos organizados dispuestos para el análisis. La intervención que posee está determinada por la tercera capa del sistema de comunicación IoT, y en la plataforma se forman 3 flujos.

El primero interviene realizando acciones en cuanto a recibir y almacenar los datos procedentes del módulo electrónico por medio de red de internet inalámbrica. Se puede observar la organización de los nodos que se encargan de estas acciones en la figura 11. Los nodos presentados son los encargados de la recepción del mensaje en formato JSON utilizando el protocolo HTTP, la identificación de variables espaciales (X, Y, Z) y la configuración de conexión entre el mensaje que contiene los datos que serán almacenados en una base de datos.

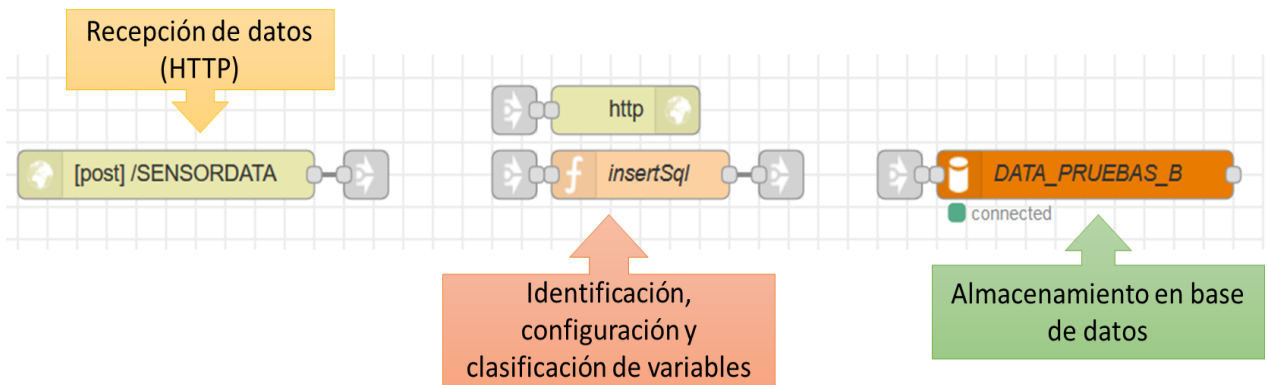


Figura 10. Flujo de recepción y almacenamiento de datos.

El segundo flujo es el que corresponde a todas las configuraciones que se pueden realizar a la base de datos MySQL, el diagrama de este flujo se puede observar en la figura 12. Allí se determinan diferentes nodos, los cuales están contruidos para realizar diferentes tareas, entre ellas: crear tablas específicas, observar registros, eliminar datos, crear tablas para adquisiciones diferentes y ver información de la base de datos.

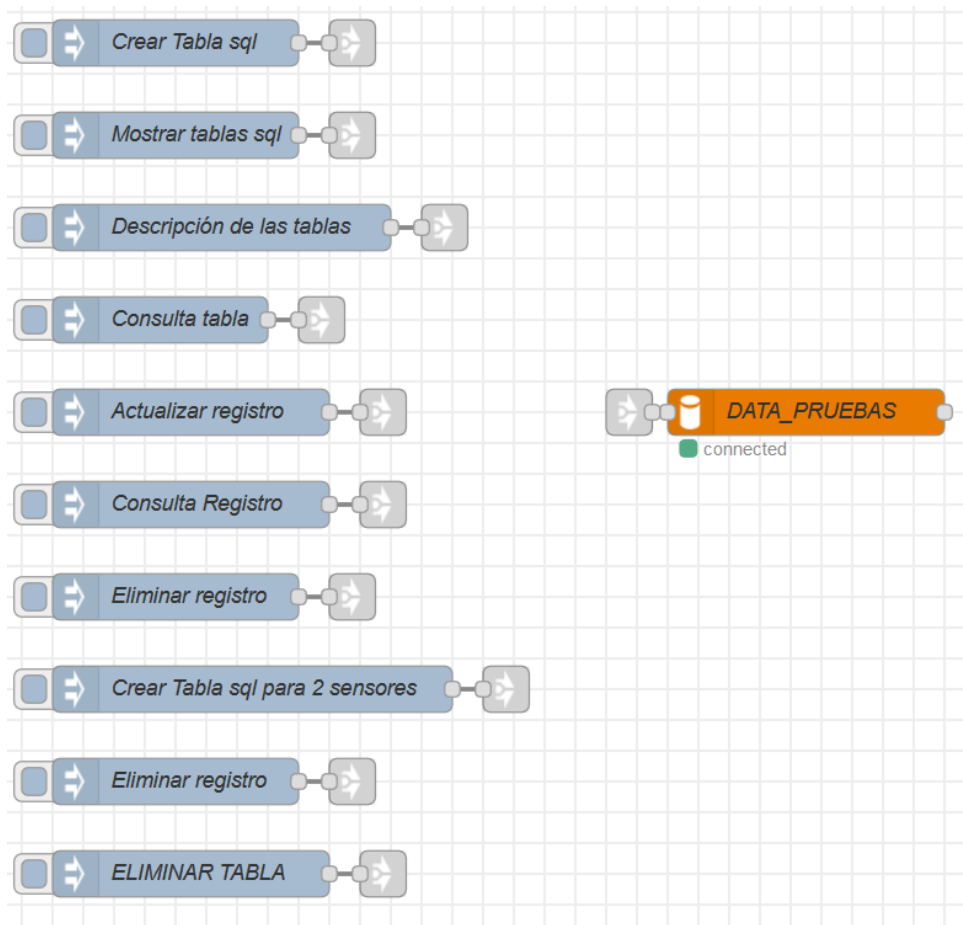


Figura 11. Flujo de configuración de la base de datos.

El tercer flujo se gráfica en la figura 13 representa la interfaz utilizada para organizar y visualizar los datos. Allí se configuran los nodos para ver mediante gráficas la interacción que poseen los diferentes eventos relacionados al cambio de posición del tórax durante el periodo de sueño, y resaltar las variables que se pretende analizar en la investigación. En este caso es la interacción entre el tiempo de sueño (en horas) y el número de reposiciones elaboradas inconscientemente, para dar un resultado de frecuencia de cambios de posición/hora, y frecuencia de cambios de posición en una posición determinada (lateral derecho, lateral izquierdo, o supina)

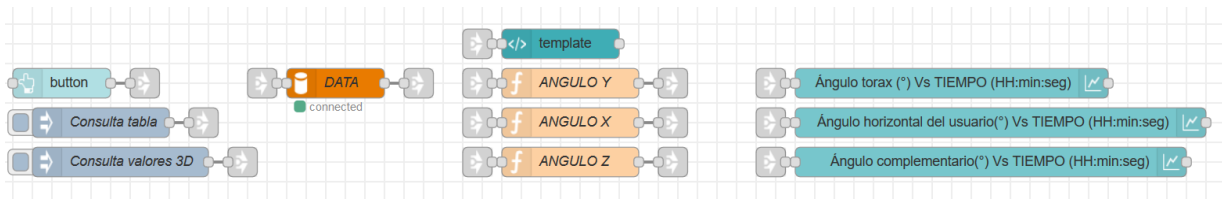


Figura 12. Flujo de configuración de la interfaz gráfica del sistema IoT.

4.4. Fase 4: validación de funcionamiento del sistema de adquisición.

Para validar el funcionamiento del dispositivo se realizan una serie de pruebas, las cuales quieren destacar el funcionamiento de adquisición en un ambiente controlado, basado en verificar que un ángulo proporcionado al sensor se registre correctamente. Entre las pruebas desarrolladas las variables que se registran son los datos espaciales (X, y, Z), y la prueba consiste en adquirir 30 muestras del registro del sensor a 10 ángulos diferentes, el procedimiento está determinado para realizar pruebas estadísticas descriptivas, además de una prueba t para muestras independientes, al cual determinará la veracidad de los datos adquiridos por el sensor acelerómetro-giroscopio, además de medir la tendencia tomada por la muestra adquirida. Las pruebas se realizan por medio de la simulación de un ángulo específico sobre el sensor acelerómetro-giroscopio. Cabe resaltar que esta prueba inicial se da en condiciones para que el sensor realice la medición sin ningún tipo de interferencia, como lo podría ser un objeto en movimiento.

Con base en lo anterior se realiza una prueba estadística descriptiva realizada con el software “IBM SPSS Statistics 25”. A continuación, se presenta el histograma y diferentes datos derivados de pruebas estadísticas realizadas, se destaca que el grado de dispersión entre las variables presentes es bajo, no sobrepasa el valor de 0.74652 (ver tabla 5). Como consecuencia el rango de los datos agrupados tiene una tendencia lo cual indica que para cada variable estudiada no existe valores atípicos sobre la medición. Allí se encuentra a su vez la diferencia entre la media estadística y la mediana, lo cual indica la tendencia del conjunto de datos analizados en conjunto y la tendencia valores del sensor, por ejemplo puede determinarse que para la variable de 90° ocurre una particularidad, la tendencia de los datos indican una relación exacta con el valor de referencia pero se observa que de igual manera existe una desviación de 0.467 indicando una media de 90.2584°, de tal forma que no se tiene un sensor completamente exacto en su medición pero indica que es confiable por la tendencia de sus valores al valor teórico.

Tabla 5 PRUEBA ESTADÍSTICA PARA UNA MUESTRA, VALIDACIÓN SENSOR.

Variables	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Mediana	Mínimo	Máximo
Ángulo_90	30	90,2584	0,46758	0,08537	90	88,83	91,4
Ángulo_80	30	80,5421	0,56003	0,10225	80,5856	80,06	82,37
Ángulo_70	30	70,6507	0,4933	0,09006	70,6422	69,72	71,57
Ángulo_60	30	60,2206	0,74652	0,1363	59,8907	59,24	61,62
Ángulo_50	30	50,3631	0,26656	0,04867	50,4206	49,97	50,88
Ángulo_40	30	40,0932	0,24602	0,04492	40,0303	39,48	40,48
Ángulo_30	30	29,8942	0,73681	0,13452	29,9622	28,14	31,35
Ángulo_20	30	20,3422	0,43859	0,08007	20,2826	19,54	21,58
Ángulo_10	30	10,4179	0,29743	0,0543	10,5126	9,94	11,08
Ángulo_0	30	0,5551	0,28729	0,05245	0,5846	0	1,17

Proporcionando otro enfoque de validación sobre esta prueba, se tiene en la tabla 6, la cual expresa los datos proporcionados por una prueba t para una muestra incluyendo el valor de referencia que se le asigna a cada variable, por ejemplo, en la adquisición se quiso tomar datos de como registra el sensor cuanto está a 40 grados, su valor será 40, y este valor se comparará con la media de los datos adquiridos.

Tabla 6 PRUEBA T PARA UNA MUESTRA, VALIDACIÓN SENSOR.

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 90					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
ANGULO_90	3,027	29	0,005	0,25839	0,0838	0,4330
	Valor de prueba = 80					
ANGULO_80	5,301	29	0,000	0,54205	0,3329	0,7512
	Valor de prueba = 70					
ANGULO_70	7,225	29	0,000	0,65073	0,4665	0,8349
	Valor de prueba = 60					
ANGULO_60	1,619	29	0,116	0,22064	-0,0581	0,4994
	Valor de prueba = 50					
ANGULO_50	7,461	29	0,000	0,36309	0,2636	0,4626
	Valor de prueba = 40					
ANGULO_40	2,075	29	0,047	0,09322	0,0014	0,1851
	Valor de prueba = 30					
ANGULO_30	-0,786	29	0,438	-0,10575	-0,3809	0,1694
	Valor de prueba = 20					
ANGULO_20	4,273	29	0,000	0,34216	0,1784	0,5059
	Valor de prueba = 10					
ANGULO_10	7,697	29	0,000	0,41795	0,3069	0,5290
	Valor de prueba = 0					
ANGULO_0	10,583	29	0,000	0,55508	0,4478	0,6624

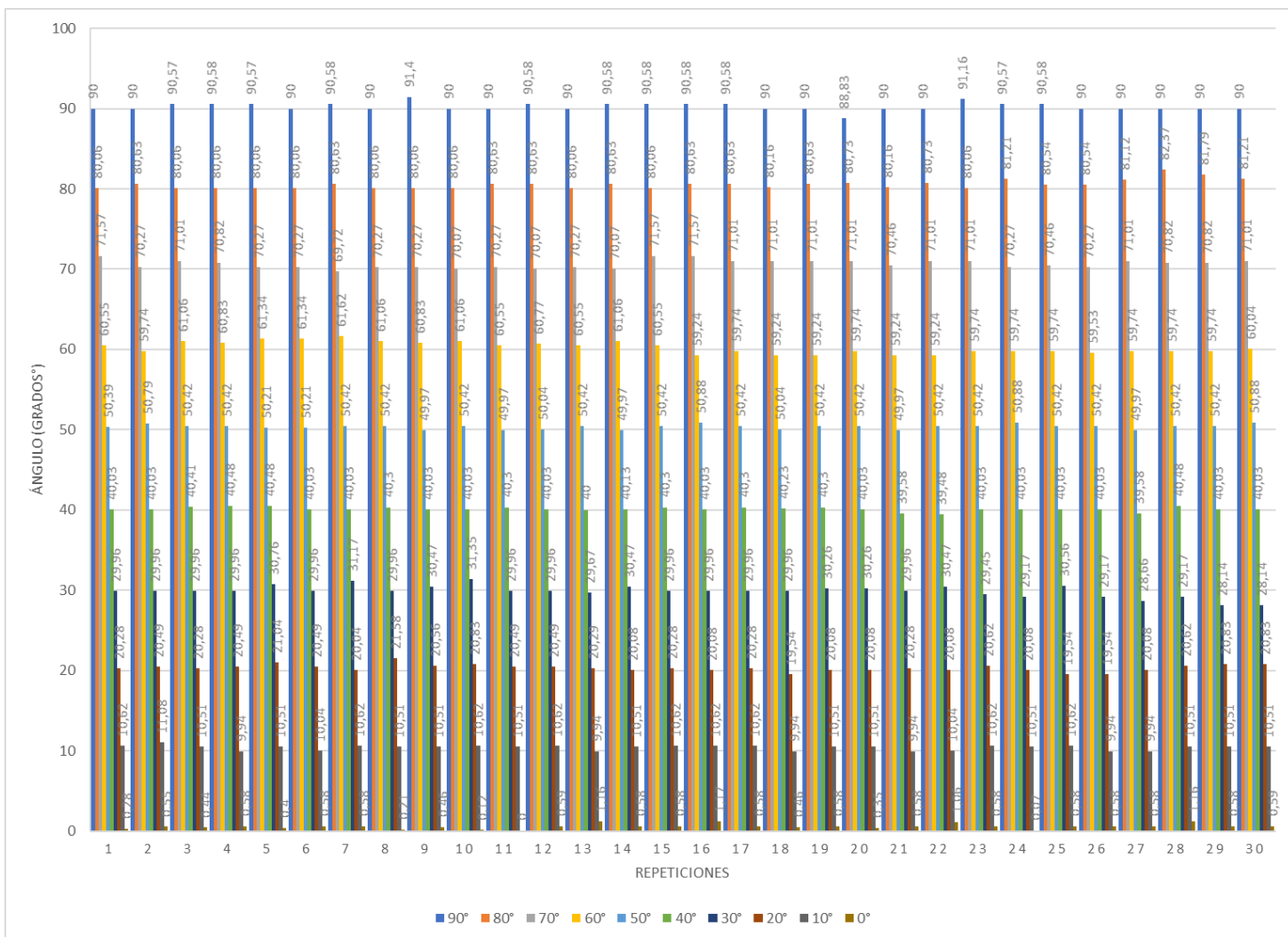


Figura 13. Distribución de datos determinados para la prueba de validación sensor.

A continuación, se describe los datos más relevantes obtenidos en la figura 14, la grafica representa la distribución de los datos durante la prueba de validación del sensor acelerómetro-giroscopio. Los datos destacados quieren dar a conocer al lector que la adquisición realizada fue determinante para describir la homogeneidad de las variables presentes en esta prueba.

Basado en esto, al observar los datos adquiridos del sensor a 90°, se reporta que se obtuvo una media de 90,258 con una desviación estándar de 0.468. Además, los rangos mínimos y máximos fueron de 88,83° y 91,40°. Además, se muestra una distribución de 27 datos entre 90°-90.5°. Para el ángulo de 80° se reporta que se obtuvo una media de 80,5421 con una desviación estándar de 0,56. Además, los rangos mínimos y máximos fueron de 80,06° y 82,37°, para este caso se evidencian 25 de 30 datos entre 80° y 80.5°. Respectivamente, el ángulo de 70° representa una media de 70,6507 con una desviación estándar de 0,4933. Igualmente, los rangos mínimos y máximos se establecen entre 69,72° y 71,57°, se caracteriza por poseer un rango de acumulación de datos amplio entre 70.5° y

71°. Para el ángulo de 60° se obtiene una media de 60,2206 con una desviación estándar de 0,74652. Así mismo, los rangos mínimos y máximos fueron de 59,24° y 61,62°, se observa que el rango en el cual se distribuyen los datos está constituido por 2.5° desde 59° a 61.5°. El ángulo de 50° se reporta que se obtuvo una media de 50,3631 con una desviación estándar de 0,26656. Además, los rangos mínimos y máximos fueron de 49,97° y 50,88°, se observa una clara acumulación de datos alrededor de 50.4°. El ángulo de 40° determina una media de 40,0932 con una desviación estándar de 0,24602. Además, los rangos mínimos y máximos fueron de 39,48° y 40,48°, se puede observar que 13 datos de 30 se encuentran en el valor de 40°. La variable del ángulo de 30° se caracteriza por una media de 29,8942 con una desviación estándar de 0,73681. Además, los rangos mínimos y máximos fueron de 28,14° y 31,35°, se es posible determinar que un elevado número de muestras se agrupan en el valor de 30°. El reporte estadístico descriptivo de la variable de 20° obtuvo una media de 20,3422 con una desviación estándar de 0,43859. Además, los rangos mínimos y máximos fueron de 19,54° y 21,58°. Para la variable del ángulo de 10° se reporta que se obtuvo una media de 10,4179 con una desviación estándar de 0,29743. Además, los rangos mínimos y máximos fueron de 9,94 y 11,08, se presenta que 21 datos están muy cercanos a 10,5°. La variable de 0° reporta una media de 0,5551 con una desviación estándar de 0,28729. Además, los rangos mínimos y máximos fueron de 0,00 y 1,17, se interpretan particularidades en esta variable ya que 3 datos se encuentran algo alejados de la tendencia ubicados entre 1° y 1,25°.

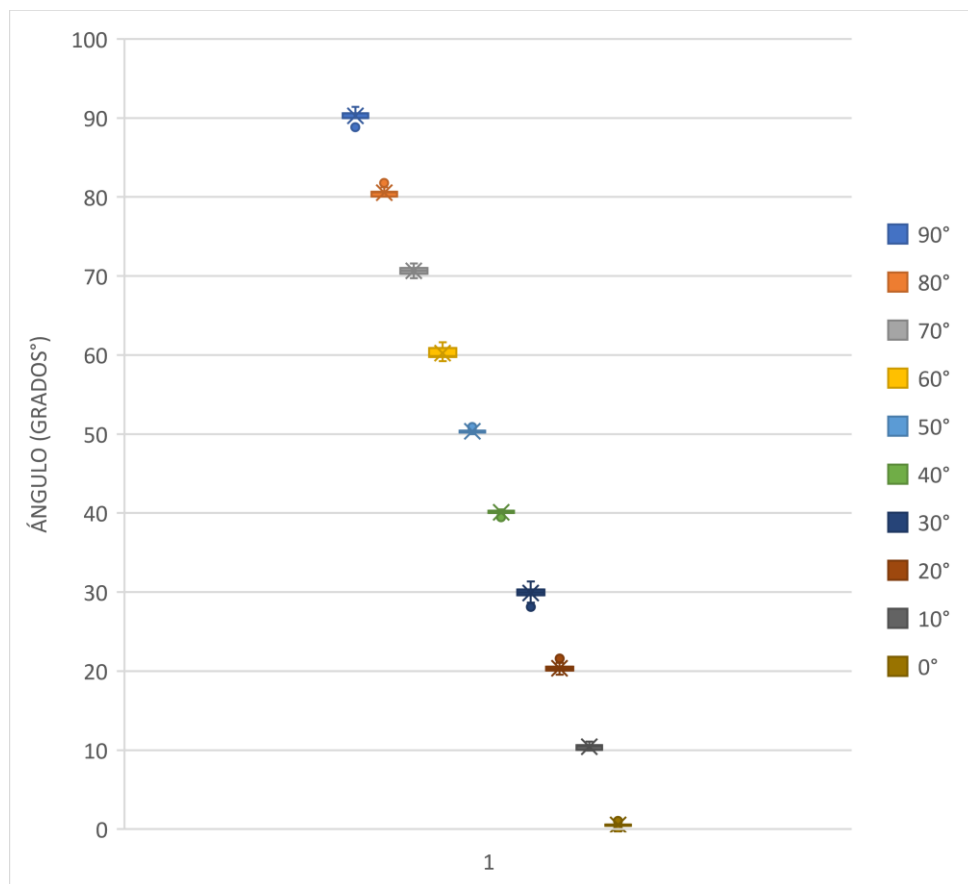


Figura 14. Diagrama de caja y bigotes para la prueba de validación sensor.

Los resultados obtenidos de la prueba de validación del sensor se agrupan de una forma diferente en la figura 15, mostrando la agrupación de sus datos por medio de los límites superior e inferior, este gráfico tiene diferentes particularidades, por ejemplo, en las variables que representan los ángulos de 90°, 80°, 50°, 40°, 30°, 20° y 0°, se expone un valor atípico identificado por salir de la tendencia presentada en el conjunto de variables. Identificando esto, se puede observar que la tabla 5, las variables ya mencionadas poseen un valor máximo o mínimo alejado comparado con la media.

Según lo mencionado en el diseño de las pruebas de validación se expone la prueba basada en recrear un escenario más aferrado a la aplicación, durante la prueba se midió los ángulos 30, 45 y 60 durante una simulación en donde un participante duerme. Para ello se utiliza el goniómetro como herramienta de control para acomodar y verificar la posición del usuario según el ángulo establecido. Para cada ángulo se toman 30 muestras las cuales se grafican en la plataforma de Node-Red. Adicionalmente, se realizó el respectivo estudio estadístico lo cual brinda información acerca de la desviación de la muestra con respecto al valor de referencia de 30°, 45° y 60° (ver tabla 7 y 8). De acuerdo con los resultados obtenidos, se determina que la simulación de valores con un participante no altera la medición del ángulo del tórax del sensor, puesto que según los valores obtenidos la desviación estándar de las variables estudiadas fue menor a una unidad, relacionando los resultados de la prueba uno (ver tabla 5) y la prueba basada en la simulación del escenario de adquisición (ver tabla 7). Además, la mediana para esta prueba indica la mayoría de los datos adquiridos por el sensor se vieron caracterizados por tener una tendencia diferente a la referencia propuesta, proponiendo un error absoluto máximo de 1.16 unidades.

Tabla 7 PRUEBA ESTADÍSTICA PARA UNA MUESTRA, SIMULACIÓN ESCENARIO DE ADQUISICIÓN.

Estadísticas para una muestra							
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Mediana	Mínimo	Máximo
VAR 30°	31	30,9673	0,85441	0,15346	31,1601	29,05	32,19
VAR 45°	30	44,4183	2,36396	0,43160	44,4348	38,49	48,01
VAR 60°	29	58,3706	2,58236	0,47953	59,1458	52,93	63,65

Se muestra en la figura 16 el recorrido de datos tomados en el tiempo para un participante que estaba acostado con la especificación de un ángulo de 30° según el sistema de referencia establecido en este proyecto. Se observa que la variación de los datos es más alta al compararla con la prueba de validación del sensor, se relaciona a los elementos que intervienen en el escenario de adquisición real, por ejemplo, la superficie de la cama y se registra con una desviación máxima de 2.58 unidades con respecto a la media.

Tabla 8 PRUEBA T PARA UNA MUESTRA, SIMULACIÓN ESCENARIO DE ADQUISICIÓN.

Prueba para una muestra							
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		Valor de prueba
					Inferior	Superior	
VAR 30°	6,304	30	0,000	0,96735	0,6539	1,2807	30
VAR 45°	-1,348	29	0,188	-0,58174	-1,4645	0,3010	45

VAR 60°	-3,398	28	0,002	-1,62936	-2,6116	-0,6471	60
---------	--------	----	-------	----------	---------	---------	----

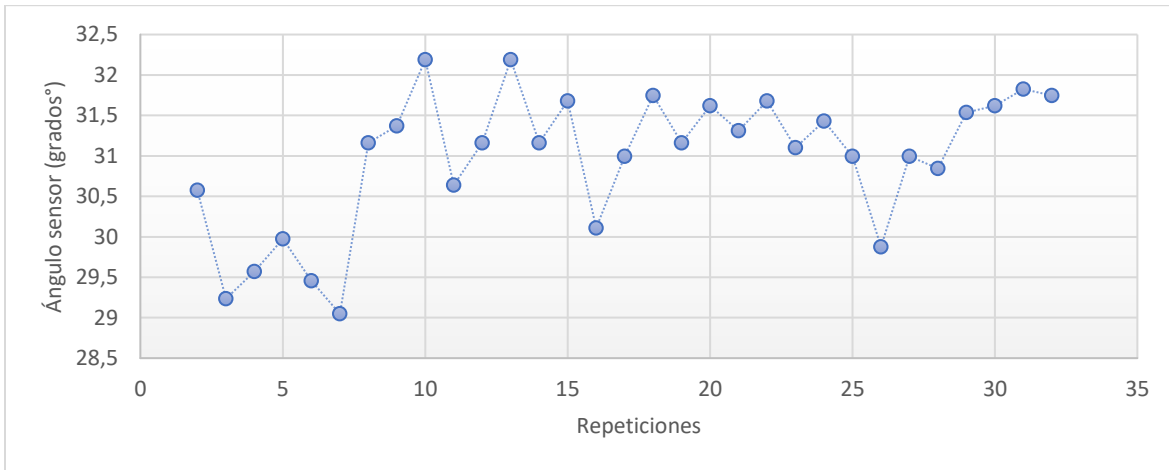


Figura 15. Datos de la prueba de simulación en escenario simulado a 30°.

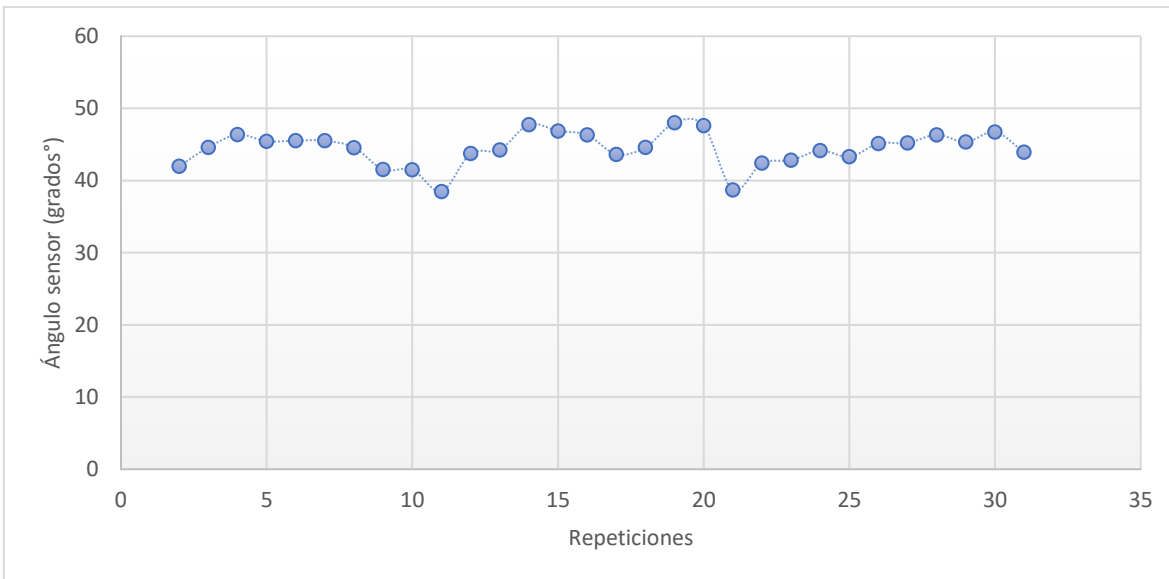


Figura 16. Datos de la prueba de simulación en escenario simulado a 45°.

Durante la toma de datos de la configuración a 45° se puede observar que en la figura 17 existe una variabilidad de los datos alta ya que en esta posición el participante necesitaba de elementos externos, como una almohada inclinada en la espalda.

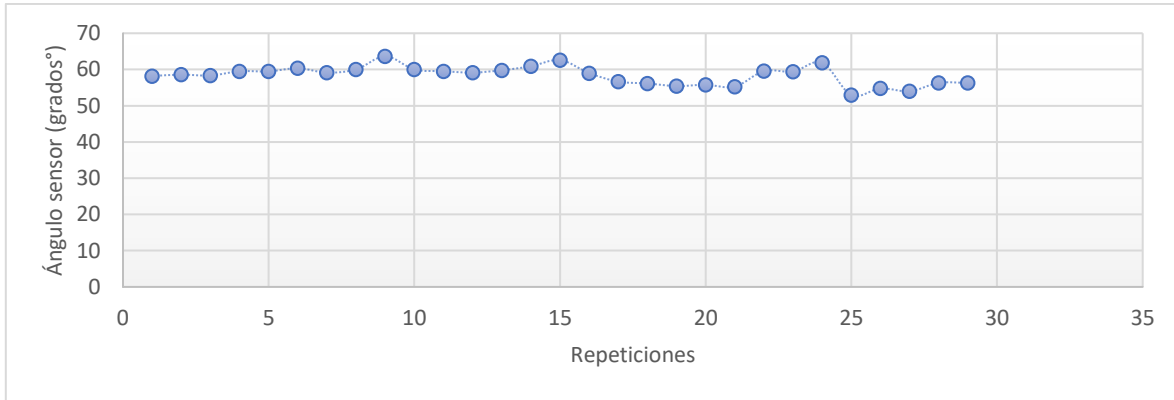


Figura 17. Datos de la prueba de simulación en escenario simulado a 60°.

Durante la adquisición de datos de 60 grados según la referencia establecida en la investigación, se ve el panorama de repeticiones realizadas durante la prueba registrada en la figura 18. Cabe resaltar que cada dato es tomado desde un estado de acomodación con el goniómetro y reinicio del sensor.

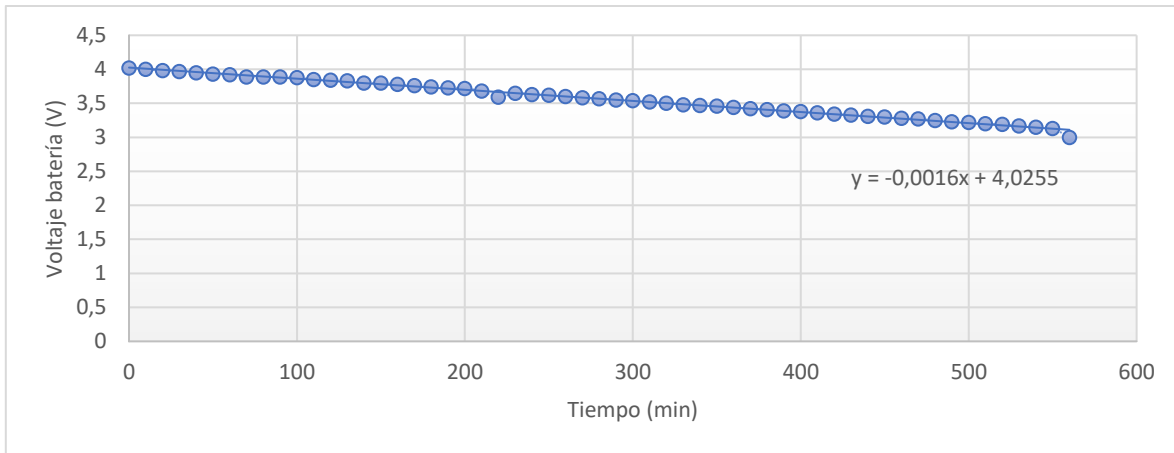


Figura 18. Datos de la prueba de descarga y duración de batería.

Durante la última prueba basada en parámetros de tiempo activo del circuito electrónico. La batería registra un patrón de descarga constante a medida del tiempo registrado en la figura 19, en este gráfico se puede observar una adquisición activa de 9 horas con 20 minutos, con una línea de tendencia que especifica una pendiente negativa de -0,0016.

4.5. Fase 5: evaluación de factibilidad en usuarios adultos.

El resultado obtenido de la interacción del dispositivo de adquisición y el usuario fue de gran ayuda para obtener datos que acerca de los cambios de posición que realiza una persona al dormir. Esta fase de evaluación del sensor deberá responder a la pregunta: ¿Cuál es la frecuencia, en cambios de posición, que puede capturar el sensor, cuando un individuo está durmiendo? Las gráficas que se muestran a continuación son basadas en la información adquirida de un participante de 18 años y de un participante de 55 años. Para cada uno de ellos se determina un periodo de sueño de aproximadamente 4-5 horas, durante estas horas el sensor almacenaba datos espaciales del tórax con el fin de identificar la posición anatómica presente, además de su inclinación con respecto al eje de paralelo a

la superficie donde reposan que se ubica desde el tórax a los pies del participante, este eje es llamado eje horizontal del usuario.

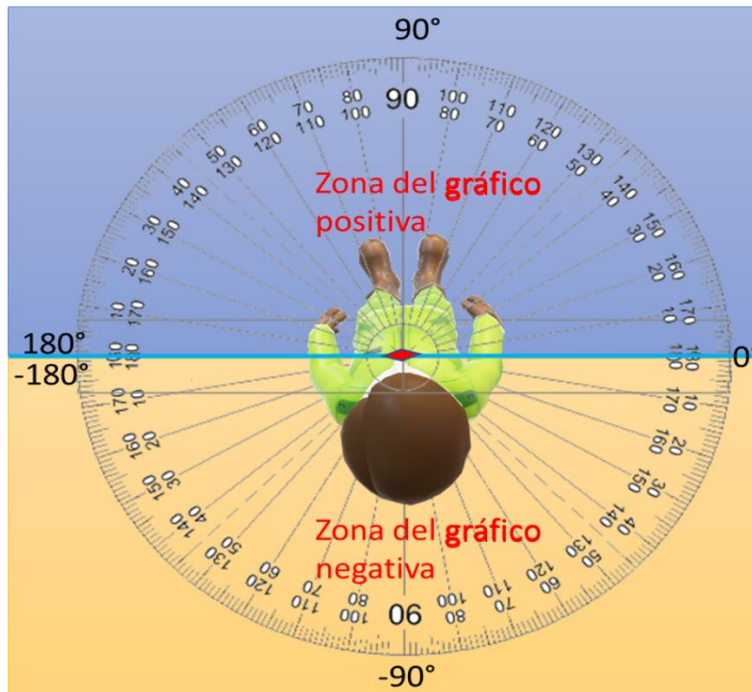


Figura 19. Eje de referencia configurado en el sistema IoT.

Para observar con detalle los valores de movimiento de las gráficas representadas en las figuras 39 y 41, se debe reconocer el sistema de referencia presentado en la investigación, el cual se basa en reconocer los ángulos positivos como movimientos en un rango de 180° desde la posición decúbito lateral derecha (0°) pasando por la posición decúbito supino (90°) y llegando a la posición decúbito lateral izquierda (180°), descrito visualmente en la figura 20.

El caso contrario ocurre cuando se tienen los valores negativos y la posición pasa por decúbito prono (-90) y sus extremos cercanos. Esta configuración se realizó para reconocer si el tórax del paciente rota durante el sueño.

Para el participante de 18 años se pudo observar los cambios de posición durante el periodo de sueño en la figura 21 y para el usuario del dispositivo de 55 años se puede determinar estas reconstrucciones trigonométricas adquiridas de acuerdo con los datos espaciales del eje Z y el eje X, mediante el cálculo del arco tangente entre estas dos variables.

Se observa en la figura 21 que los movimientos efectuados por el usuario de 18 años durante 5 horas de sueño fueron en promedio de 17, dando una frecuencia de movimiento de 3.4 reposicionamientos por hora. Por otro lado, se expone el gráfico que representa el ángulo horizontal de la zona del pecho en la figura 22, lo importante de este gráfico es la homogeneidad de los datos ya que se podría determinar si el participante se levanta de la cama en algún punto de la sesión de adquisición.

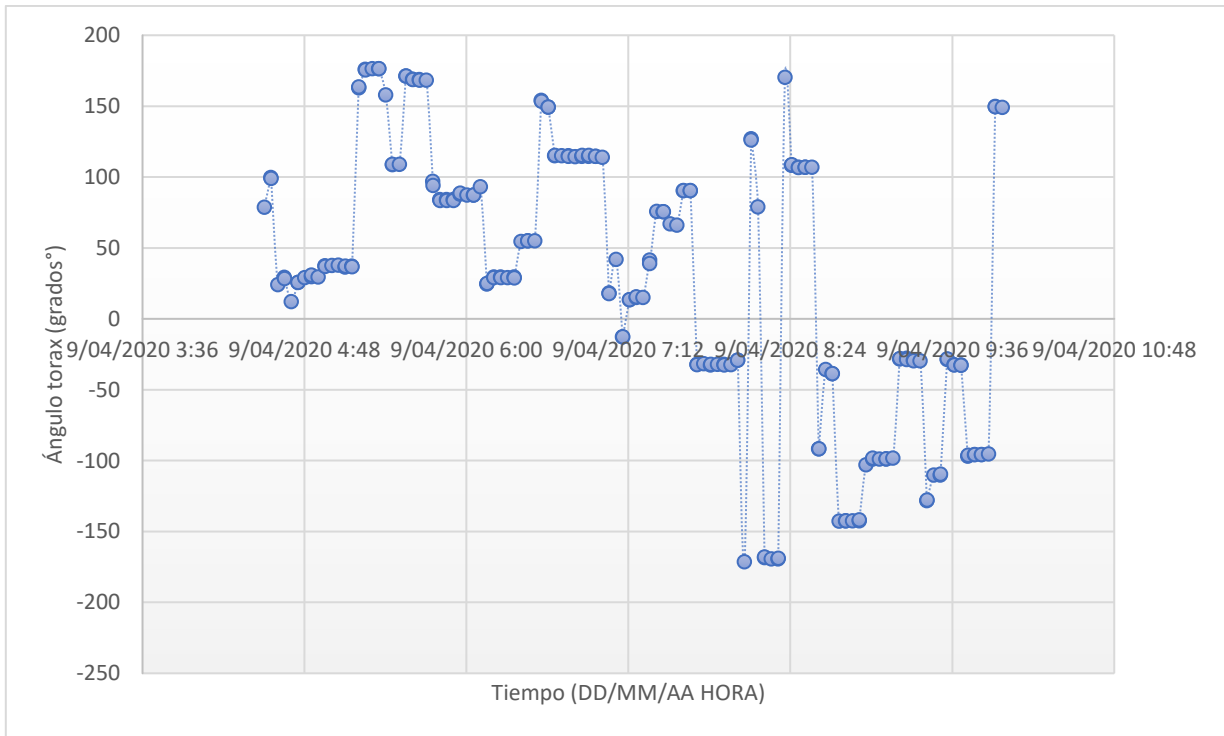


Figura 20. Cambios del ángulo del tórax durante el periodo de sueño para usuario de 18 años.

Para determinar si el participante se encontró del lado izquierdo o derecho se puede observar los ángulos registrados, el rango de posición derecha está determinado por los ángulos entre 0° a 90° y del lado izquierdo de 90° a 180° . El participante de 18 años tuvo una notable preferencia de permanecer dormido sobre los dos lados, se ve que su variabilidad de movimientos es alta entre decúbito lateral izquierdo y derecho.

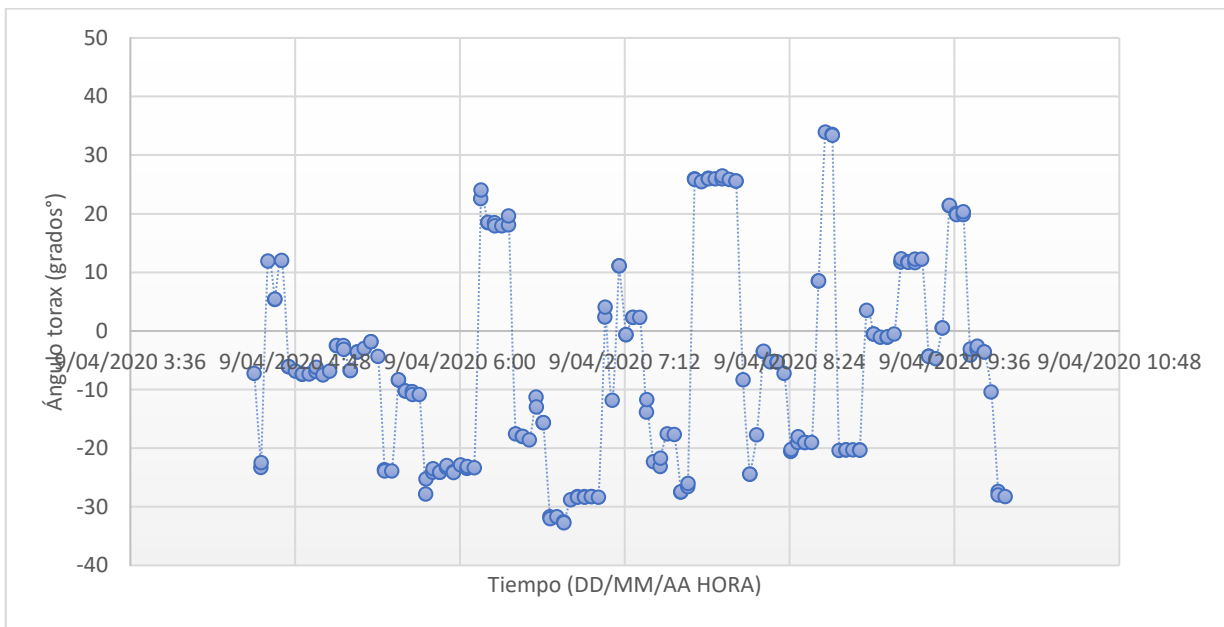


Figura 21. Cambios del ángulo del eje paralelo a la superficie de reposo para usuario de 18 años.

Al exponer los resultados obtenidos en el caso de la persona de 55 años en la figura 23 y 24, se puede determinar que en 4 horas de sueño el participante cambio de posición al dormir 6 veces, presentando una frecuencia de reposicionamiento corporal de 1.5 por hora. Por otro lado, el participante de 55 años permaneció en una tendencia de dormir en decúbito lateral derecho, se determina ya que durante 3 horas los datos varían entre 0° y 90° . Al observar la homogeneidad de los ángulos para la figura 23, se indica que el participante tuvo una sesión interrumpida de sueño durante la adquisición de la información.

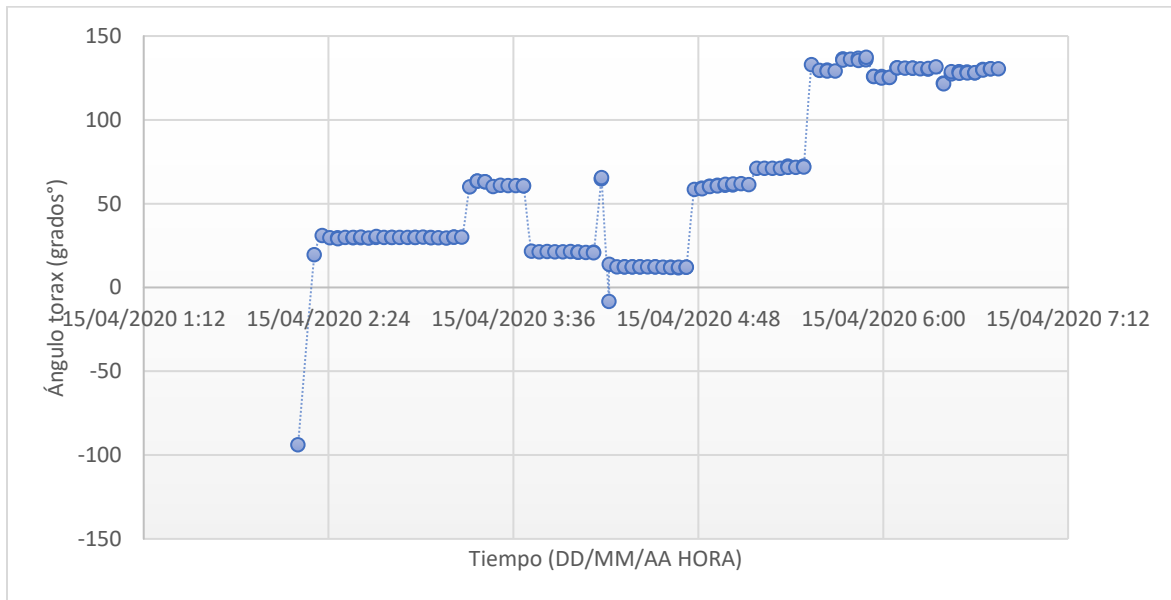


Figura 22. Cambios del ángulo del tórax durante el periodo de sueño para usuario de 55 años.

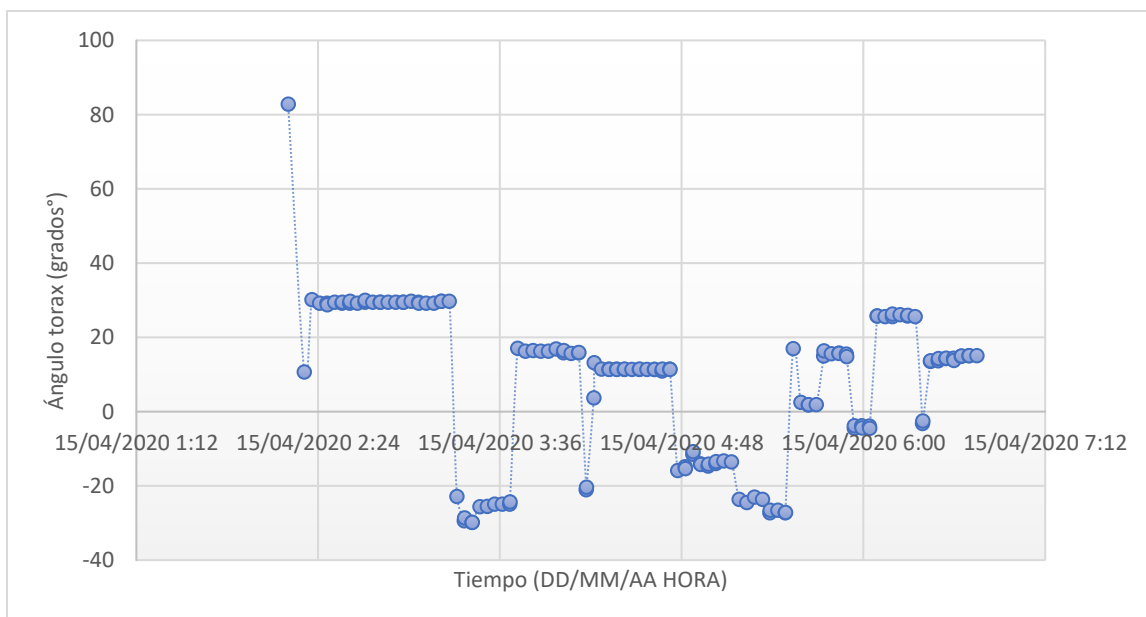


Figura 23. Cambios del ángulo del eje paralelo a la superficie de reposo para usuario de 55 años.

5. DISCUSIÓN

La evidencia obtenida en la investigación indica que mediante el sistema diseñado es factible la adquisición de información relacionada a los movimientos del tórax los cuales son presentados en adultos, exponiendo una frecuencia de reposicionamiento entre 1.5 y 3.4 cambios de posición por hora al dormir.

El significado de estos datos obtenidos por el sistema de adquisición, son de gran importancia para entender cómo se relacionan los cambios de posición durante la hospitalización y durante el sueño. Mediante esta investigación se quiere interrelacionar estos dos enfoques mediante una variable que comparten, la frecuencia en la que el cuerpo se reposiciona ya sea durante el sueño o en una institución médica, aplicado a pacientes con movilidad limitada durante la hospitalización. Durante el desarrollo del documento se quiere evidenciar el descubrimiento, manejo y aplicación de las variables que se necesitan manipular para extraer información de el reposicionamiento del cuerpo de una persona al dormir, aplicando tecnología de internet de las cosas.

Existen protocolos que tienen como objetivo prevenir úlceras por presión durante la hospitalización prologada en las instituciones médicas. Basado en esto, se abre la posibilidad de plantear niveles de efectividad de estos protocolos en función a la diferencia de tiempo entre reposición del paciente y confrontar información que tienen las instituciones, frente al tiempo de movilización del paciente hospitalizado.

Según “*The National Pressure Injury Advisory Panel*” el cual es un referente de gran importancia para definir parámetros en cuanto a tratamiento y administración de técnicas de prevención en contra de las úlceras de presión. Determina que por falta de información no es posible determinar cuál es la frecuencia de reposicionamiento más eficiente para evitar las úlceras presentadas por la hospitalización [7].

Claramente, un parámetro que se debe definir con rigurosidad es la frecuencia de posicionamiento de pacientes hospitalizados. El dispositivo diseñado tiene un papel importante en la búsqueda de este parámetro, su diseño presenta características que son esenciales para la búsqueda de datos relacionados a esta incógnita que existe en la literatura.

Diferentes investigaciones fueron estudiadas durante la revisión sistemática de la literatura, entre ellas se destacan importantes puntos metodológicos e instrumentales del control y adquisición de datos relacionados a la prevención de úlceras por presión y movimiento durante el sueño. Se evidencia que, para realizar una efectiva adquisición de datos durante el sueño u hospitalización, es importante contar con un conjunto de elementos que brinde una serie de servicios de adquisición y comunicación. Durante las investigaciones filtradas de la revisión sistemática se evalúan la factibilidad de las herramientas utilizadas por estos investigadores.

Se puede observar que para la investigación de Pickham el dispositivo presentado tuvo propiedades que lo destacan entre los demás, las cuales se relacionan con la comunicación inalámbrica utilizada ya que se basa en señales de radio frecuencia, la ventaja de utilizar este tipo de comunicación es que el dispositivo no ocupa un área espacial significativa. Otra ventaja de este dispositivo fue utilizar un sensor acelerómetro el cual determina el movimiento y posición del participante mediante un chip de bajo consumo de energía. Este dispositivo fue presentado para ver el efecto que tiene en protocolos de

prevención de úlceras por presión, funciona de manera correcta para este estudio. Pero presenta puntos específicos que pueden ser corregidos para que el dispositivo pueda tener un alcance en la aplicación mucho mayor.

Enfocando una comparación realizada entre el dispositivo utilizado por el estudio de Pickham y el realizado en esta investigación se pueden ver algunas semejanzas de diseño. Por ejemplo: el uso de un sensor acelerómetro giroscopio fue un punto clave para ambas investigaciones, ya que se ha demostrado que las ventajas ofrecidas por este elemento son las adecuadas según el tipo de adquisición realizada, esto es evidente puesto que el mecanismo utilizado es muy eficaz al adquirir movimientos lineales y rotativos [22]. Otra propiedad que tienen en común es la ubicación del sensor en el tórax, sobre el plano frontal del usuario, creando un sistema de referencia específico para entender los datos que se adquieren.

Pero al comparar puntos como alcance de transmisión de datos, desde el sensor acelerómetro-giroscopio a un nodo receptor, se evidencia que el dispositivo diseñado integra un conjunto de capas robustas de comunicación (ver figura 10) que evitan dificultades de conectividad lo cual indica que la adquisición y almacenamiento de datos solo depende de un factor, se trata de la estabilidad de red inalámbrica alrededor del dispositivo electrónico.

Por ello en este documento se presenta un sistema de adquisición con puntos específicos en los cuales destaca frente a los observados en la fase 1 del documento, este se enfoca en ser una herramienta confiable y segura, la cual se analiza a través de cuatro pilares.

El primero se define por el sensor utilizado, durante la construcción del dispositivo presentado en este documento, se determinó que la mejor forma de extraer el movimiento y posición de una superficie como la del tórax de un adulto es mediante un acelerómetro-giroscopio. Basado en la clasificación realizada, se identificó que este tipo de sensor debe ser de un tamaño reducido, y poseer características de comunicación serial útiles para realizar aplicaciones clínicas y acoplables con otros módulos de comunicación inalámbrica.

Por otro lado, se verificó mediante una serie de pruebas de validación que los datos obtenidos por el sensor son confiables. Las pruebas realizadas en la fase 4, tenían el propósito de dar a conocer cómo y de qué forma se agrupan valores de diferentes ángulos con una muestra de 30, los resultados obtenidos muestran que la desviación con respecto a la media de cada ángulo no supera las 0,747 unidades, lo cual indica que los datos no se encuentran dispersos al valor teórico proporcionado. Para asegurar que el dispositivo tiene una exactitud rigurosa se debe tener en cuenta los errores absolutos entre las medias y los valores de los ángulos teóricos, lo cual define a la variable de 70° como el exponente del mayor error absoluto durante la medición, la expresión de su error absoluto esta presenta por: $(70 \pm 0.65)^\circ$. Además, se evidencia que durante la validación de los datos adquiridos del sensor acelerómetro-giroscopio, el error del dispositivo no alcanza a llegar a 1° .

El segundo pilar del sistema se determinó por el bajo consumo de energía que posee el sistema presentado. Este tiene una pendiente de descarga definida por una prueba donde haciendo uso del sistema electrónico, a fin de evidenciar el comportamiento del dispositivo, el tiempo que le toma descargarse al sistema es de 9 horas con 20 minutos (ver figura 19), y la pendiente se define con un valor de -0.1 (V/hora), produciendo que el dispositivo pueda ser funcional por 9 horas de forma ininterrumpida y con una conexión de

red estable. Esto produce que durante la aplicación el sistema tenga un rango de tiempo lo suficientemente prolongado para adquirir datos durante el sueño de un participante.

El funcionamiento de la batería está condicionado al uso de los elementos que compone el sistema electrónico, para ello durante la configuración del módulo ESP8266 se le aplica un modo llamado “*deep sleep*” el cual tiene como función activar el circuito completo para enviar los datos cada 3 minutos. El gasto de energía es significativo al momento de activar la antena del chip Wi-Fi, el cual comunica las capas de adquisición y de comunicación, este proceso dura en promedio 5 segundos. Un aspecto negativo que relaciona el rendimiento de la batería y el sistema de comunicación puede darse durante la adquisición de datos de un participante, si la disponibilidad de red inalámbrica se encuentra intermitente y no se le brinda la conectividad adecuada al dispositivo, este permanecerá más tiempo intentando realizar la conexión lo cual implica gastar recursos energéticos por un tiempo más prolongado y en consecuencia la acumulación de este estado producirá una reducción del tiempo activo de adquisición.

El tercer pilar que hace parte del funcionamiento del dispositivo son las capas de comunicación basadas en internet de las cosas (IoT) (ver figura 10), la ventaja que presenta esta configuración de comunicación es que está diseñada para separar procesos de transferencia y recepción de datos mediante capas basadas en internet de las cosas (IoT), lo cual produce que el sistema sea adaptativo a su lugar de aplicación, este sistema de comunicación tiene la posibilidad de ser aprovechado en diferentes campos, un ejemplo es un hogar familiar o un centro médico. El procedimiento de comunicación efectuado se realiza mediante cuatro capas, solamente la primera de ellas es física y es constituida por el módulo Wi-Fi (ESP8266), el manejo de elementos externos al dispositivo complementa este sistema, brindando ventajas de tipo logístico a la hora de iniciar una sesión de adquisición de datos. La característica que hace posible esto es la posibilidad de conectividad a diferentes redes que estén presentes en los lugares en donde actuará el dispositivo electrónico.

Por último, se consideró que el soporte y botón de encendido, que presentado en el dispositivo posee características que son específicas para el estudio del movimiento del tórax de la persona durante el sueño. Principalmente, el diseño es compacto ya que cubre un área total de (26.9 cm^2) del tórax del participante, esto brinda comodidad cuando es utilizado. Además, su diseño 3D está caracterizado por la presencia de curvaturas en esquinas pronunciadas, con el propósito de simular una superficie cómoda para el usuario.

Por otro lado, el dispositivo de soporte presenta características de protección contra diferentes elementos que pueden afectar al circuito eléctrico durante una sesión de adquisición, por ejemplo, polvo y humedad del usuario. Esto se da ya que el diseño del soporte compuesto de materiales plásticos termomoldeables asemeja una capsula cerrada, impidiendo que elementos del exterior puedan estar en contacto con el circuito eléctrico.

El sistema de sujeción del dispositivo de adquisición está establecido por una banda compuesta de tela elástica de color negro, la importancia del uso de este elemento se da por la necesidad de establecer el dispositivo fijado en el paciente, con el fin de controlar el movimiento no deseado, en el cual el dispositivo cambia de posición sin estar relacionado a la actividad del tórax. Basado en esto y en las pruebas realizadas durante la investigación, se determina que este factor se cumple con buenas opiniones por parte de los participantes a los cuales se les realiza una sesión de adquisición de datos durante el sueño, ellos expresan que en ningún momento sintieron algún tipo de incomodidad durante la sesión.

Ya realizada la interconexión de los parámetros que definen al dispositivo en los cuatro pilares definidos anteriormente. A continuación, se analizan las características presentadas durante la adquisición de los datos de los participantes adultos.

Durante las sesiones de adquisición, se evidencia un rasgo evidente de las diferencias que existen de los movimientos efectuados durante el periodo de sueño de el participante de 55 años y el de 18, ya que su comportamiento de actividad durante la adquisición muestra que el participante de 18 años tiene una diferencia notable en cuanto a los cambios de posición la cual es alta definiendo 17 movimientos a lo largo de 5 horas, en cambio el usuario de 55 presenta 6 movimientos a lo largo de 4 horas. Esto se puede relacionar con lo que describe J. Anders acerca de la diferencia de la actividad que personas jóvenes y adultas poseen al dormir, expresando que al envejecer el sistema autónomo que controla los movimientos involuntarios para que se mantenga un flujo de sangre constante a lo largo de piel y músculos pierde su efectividad [10], lo cual es evidenciable en los resultados obtenidos, aunque no es un factor concluyente en la investigación, puede ser tomado en cuenta para explicar la dificultad que existe al parametrizar protocolos clínicos relacionados a la prevención de úlceras por presión. Los rangos que existen para evitar las úlceras por presión y los movimientos durante el sueño son amplios, dificultando predecir parámetros específicos para realizar procedimientos que abarquen toda la población.

Durante esta investigación se determinó que las limitaciones presentes están relacionadas a involucrar el dispositivo con un entorno clínico, es decir que no se ha evaluado la interacción de este en el campo, por ejemplo, surgen interrogantes relacionadas a el diseño adecuado para un efectivo acople a la rutina del paciente hospitalizado. Por otro lado, se reconoció que el dispositivo es una herramienta preliminar la cual cumple su objetivo de diseño, pero no se involucra de forma directa con procedimientos de prevención contra las úlceras de presión.

Frente a esto existen diferentes medios para hacer uso del dispositivo, debido a que presenta un servicio de aplicación fácil de usar con la posibilidad de tener datos confiables que pueden ser utilizados con un trasfondo clínico de gran importancia, durante el desarrollo del documento se evidencia que el uso del dispositivo podría ser utilizado para crear barreras de cumplimiento de los protocolos realizados en instituciones médicas, aportando información mediante la verificación del cumplimiento de lo descrito en los protocolos de prevención de úlceras por presión, es decir que es posible evidenciar si el factor humano está afectando de manera significativa los resultados adversos que tienen los pacientes durante la hospitalización.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se determina que el diseño estructural que protege los elementos electrónicos puede ser reconfigurado para ser implementado por diferentes vías de sujeción al tórax del paciente. Un ejemplo claro es el uso de apósitos desechables aplicados para cada sesión de adquisición en centro médico, cumpliendo con lineamientos de higiene.

El dispositivo presentado podría cubrir parámetros de monitoreo, con el fin de tener control sobre parámetros biológicos del paciente, se pueden aplicar componentes para adquirir frecuencia respiratoria, cardíaca y luminosidad ambiental. Es importante considerar que para estudios posteriores sea necesario el control de protocolos rigurosos.

Por último, durante el desarrollo del documento se pudo evidenciar que la necesidad de involucrar el sistema presentado, en investigaciones clínicas en las que podría intervenir como dispositivo de adquisición es de gran importancia para agregar valor al diseño propuesto, además de ser la estructura de una metodología que podría brindar respuestas a la necesidad de prevenir las úlceras por presión durante la hospitalización. Es importante considerar que el sistema IoT puede ser parte fundamental de protocolos clínicos como garante de calidad durante la hospitalización.

7. CONCLUSIONES

- La revisión sistemática realizada muestra una investigación profunda de los dispositivos electrónicos que intervienen en investigaciones de adquisición de movimiento corporal, las metodologías encontradas en la revisión realizada indica que prevalece una tendencia al utilizar dispositivos portátiles basados en acelerómetros, al igual que herramientas de mapeo corporal por sensores de presión.
- El dispositivo electrónico diseñado es capaz de adquirir información relacionada a los cambios de posición en personas adultas, integrando elementos los cuales fueron validados mediante 3 pruebas diferentes. Se corroboró que la precisión de los datos del sensor utilizado es adecuada para identificar variables durante el periodo de sueño.
- El sistema de recepción y transferencia de datos se identifica por poseer 4 capas de comunicación, estas están ligadas a una plataforma administrada por servidores remotos los cuales brindan seguridad a los datos adquiridos por el dispositivo creando barreras de almacenamiento y comodidad de visualización de datos.
- El sistema de comunicación inalámbrica presentado tiene ventajas significativas en comparación a los observados en la revisión sistemática de la literatura, donde se presentan diseños con bajo alcance de transmisión de datos, el equipo tiene variables de comunicación de alta calidad, además el uso de una base de datos que resguarda la información brinda seguridad informática al proyecto presentado.
- Por medio del diseño de adquisición basado en internet de las cosas se puede adquirir datos relacionados al movimiento del tórax de un paciente, a lo largo de nueve horas consecutivas con un porcentaje del 100% de adquisición, registro y almacenamiento de datos por medio una plataforma digital.
- La seguridad de funcionamiento que brinda el dispositivo es de alto rigor, las pruebas realizadas durante la investigación indican que la adquisición de parámetros espaciales del usuario no es afectada por condiciones de humedad ni de elementos solidos como polvo. Los elementos físicos del sistema de adquisición tienen la importante característica de trabajar como un conjunto de elementos encapsulados en el interior de una estructura plástica termomoldeable.
- El uso del sensor acelerómetro-giroscopio presenta muy buenos resultados al adquirir los movimientos presentados en el tronco de una persona al dormir. Pero tiene limitaciones al predecir la posición de las articulaciones superiores e inferiores, ya que no es posible realizar un mapeo controlado a lo largo de la superficie donde reposa el participante.
- Se determina por medio de las pruebas realizadas a los dos participantes sanos adultos, que existe un rango de frecuencia de reposicionamiento corporal entre 1.5 y 3.4 cambios por hora. Esta información preliminar del dispositivo brindo el escenario para poder definir que existe una similitud entre variables que intervienen en protocolos de prevención de úlceras por presión y los movimientos autónomos realizados en el sueño.

8. REFERENCIAS

- [1]. X. Rojano i Luque, P. Sánchez Ferrin, A. Salvà, "Complicaciones de la hospitalización en personas mayores". *Medicina Clínica*. Vol. 146, pp. 550–554, June 2016.
- [2]. TORRA-BOU, Joan-Enric et al, "Economic impact of pressure ulcers. An integrative review", *Gerokomos*, Barcelona, Vol. 28, n. 2, pp. 83-97, 2017.
- [3]. R. V. González-Consuegra et al., "Prevalencia de úlceras por presión en Colombia: informe preliminar A preliminary report regarding pressure ulcer prevalence in Colombia". *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*. Vol 62, pp. 12–15, 2014.
- [4]. E. Mcinnes et al., "Support surfaces for pressure ulcer prevention", *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2015 (2015), , doi:10.1002/14651858.CD001735.pub5.
- [5]. N. Nijs et al., "Incidence and risk factors for pressure ulcers in the intensive care unit", *Journal of Clinical Nursing*. Vol. 18, pp. 1258–1266, 2009.
- [6]. J. S. Mervis, T. J. Phillips, "Pressure ulcers: Prevention and management". *Journal of the American Academy of Dermatology*. Vol. 81, pp. 893–902, 2019.
- [7]. L. E. Edsberg et al., "Revised National Pressure Ulcer Advisory Panel Pressure Injury Staging System". *Journal of Wound, Ostomy and Continence Nursing*. Vol. 43, pp. 585–597, 2016.
- [8]. "Úlceras de decúbito (úlceras por presión) - Síntomas y causas - Mayo Clinic", *Mayoclinic.org*, 2018. [Online]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/bed-sores/symptoms-causes/syc-20355893>. [Accessed 26 Jan. 2020].
- [9]. S. Sprigle, S. Sonenblum, "Assessing evidence supporting redistribution of pressure for pressure ulcer prevention: A review", *Journal of Rehabilitation Research and Development*. Vol. 48, pp. 203–213, 2011.
- [10]. J. Anders et al., "Decubitus ulcers: pathophysiology and primary prevention", *Deutsches Arzteblatt international*. Vol. 107, pp. 371–81; quiz 382, 2010.
- [11]. E. Hoque, R. F. Dickerson, J. A. Stankovic, "Monitoring body positions and movements during sleep using WISPs", in *Proceedings - Wireless Health 2010, WH'10*, pp. 44–53, 2010.
- [12]. A. I. Cuesta-Vargas, A. Galán-Mercant, J. M. Williams, "The use of inertial sensors system for human motion analysis". *Physical Therapy Reviews*. Vol. 15, pp. 462–473, 2010.
- [13]. C. Sinha, K. Mukhopadhyay, H. N. Saha and S. Auddy, "Health Care using Internet of Things," *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, Vancouver, BC, 2018, pp. 1337-1345.
- [14]. F. Gregorio, G. González, C. Schmidt, J. Cousseau, "Internet of Things", *Signals and Communication Technology* (Springer, 2020), pp. 217–245.
- [15]. P. Bonato, "Advances in wearable technology and applications in physical medicine and rehabilitation", *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. Vol. 2, 2005.
- [16]. C. Goodvin, E. J. Park, K. Huang, K. Sakaki, "Development of a real-time three-dimensional spinal motion measurement system for clinical practice", *Medical and Biological Engineering and Computing*, Vol. 44, pp. 1061–1075, 2006.
- [17]. A. Henriksen et al., "Using fitness trackers and smartwatches to measure physical activity in research: Analysis of consumer wrist-worn wearables", *Journal of Medical Internet Research*, Vol. 20, 2018.
- [18]. H. Zeng, Y. Zhao, "Sensing movement: Microsensors for body motion measurement", *Sensors*. Vol. 1, pp. 638–660, 2011.
- [19]. W. Y. Wong, M. S. Wong, K. H. Lo, "Clinical applications of sensors for human posture and movement analysis: A review", *Prosthetics and Orthotics International*, Vol. 31, pp. 62–75, 2007.

- [20]. V. Agostini, M. Knaflitz, L. Antenucci, G. Lisco, L. Gastaldi and S. Tadano, "Wearable sensors for gait analysis," *2015 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) Proceedings*, Turin, 2015, pp. 146-150.
- [21]. A. Albarbar, A. Badri, J. K. Sinha, A. Starr, "Performance evaluation of MEMS accelerometers", *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Vol. 42, pp. 790–795, 2009.
- [22]. W. Y. Wong, M. S. Wong, K. H. Lo, Clinical applications of sensors for human posture and movement analysis: A review. *Prosthetics and Orthotics International*. 31, 62–75 (2007).
- [23]. F. Leens, "An introduction to I2C and SPI protocols", *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, Vol. 12, pp. 8–13, (2009).
- [24]. J. Epstein, "Introduction to Wi-Fi", *Scalable VoIP Mobility Elsevier*, pp. 101–202, 2009.
- [25]. Q. Zhu, R. Wang, Q. Chen, Y. Liu, W. Qin, "IoT gateway: Bridging wireless sensor networks into Internet of Things", *Proceedings - IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, EUC 2010* (2010), pp. 347–352.
- [26]. S. Mumtaz et al., Massive Internet of Things for Industrial Applications. *Industrial Electronics Magazine*, 28–33 (2017).
- [27]. T. Yokotani and Y. Sasaki, "Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT," *2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, Bandung, 2016, pp. 1-6.
- [28]. J. Friesen, J. Friesen, *Introducing JSON, Java XML and JSON* (Apress, 2019), pp. 187–203.
- [29]. B. S. Renganathan et al., Effectiveness of a continuous patient position monitoring system in improving hospital turn protocol compliance in an ICU: A multiphase multisite study in India. *Journal of the Intensive Care Society*. 20, 309–315 (2019).
- [30]. D. Pickham et al., Effect of a wearable patient sensor on care delivery for preventing pressure injuries in acutely ill adults: A pragmatic randomized clinical trial (LS-HAPI study). *International Journal of Nursing Studies*. 80, 12–19 (2018).
- [31]. M. J. Peterson, W. Schwab, J. H. van Oostrom, N. Gravenstein, L. J. Caruso, Effects of turning on skin-bed interface pressures in healthy adults. *Journal of Advanced Nursing*. 66, 1556–1564 (2010).
- [32]. Y. W. Liu, Y. L. Hsu, W. Y. Chang, Development of a bed-centered telehealth system based on a motion-sensing mattress. *Journal of Clinical Gerontology and Geriatrics*. 6, 1–8 (2015).
- [33]. E. Arsand, M. Muzny, M. Bradway, J. Muzik, G. Hartvigsen, Performance of the first combined smartwatch and smartphone diabetes diary application study. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 9, 556–563 (2015).

9. ANEXOS

9.1. Anexo 2 características metodológicas de investigación

Estudio	Tipo de estudio	Participantes	Muestra evaluada para la elegibilidad (N)	Muestra analizada (N)	Edad promedio	Lugar y Servicio	Intervención que recibió el grupo experimental (GE)	Intervención que recibió el grupo Control (GC)	Resultados obtenidos
1. B. S. Renganathan <i>et al.</i> , Effectiveness of a continuous patient position monitoring system in improving hospital turn protocol compliance in an ICU: A multiphase multisite study in India. <i>Journal of the Intensive Care Society</i> . 20 , 309–315 (2019).	Estudio prospectivo, no aleatorio, multifásico, multicéntrico	Pacientes en UCI con alto factor de riesgo a sufrir úlceras por presión, con un periodo de hospitalización mínimo de 24 horas	Grupo control: N= 47. Grupo intervención: N= 43.	Grupo control: N= 20. Grupo intervención: N= 20.	Grupo control: 60.8 + 16.7. Grupo intervención: 62.5 + 17.8.	Chennai y Trichy en el estado de Tamil Nadu, India	Mediante un dispositivo electrónico ubicado en el pecho el paciente se recolectan datos de movimiento cada 30 segundos	Protocolo de hospitalización en UCI estándar	El cumplimiento del protocolo de reposicionamiento fue significativamente mayor en el grupo de intervención (80.15 8.97%) en comparación al grupo control (24.36 12.67%); p <0,001.
2. D. Pickham <i>et al.</i> , Effect of a wearable patient sensor on care delivery for preventing pressure injuries in acutely ill adults: A pragmatic randomized clinical trial (LS-HAPI study). <i>International Journal of Nursing Studies</i> . 80 , 12–19 (2018).	Ensayo clínico pragmático, iniciado por el investigador, de etiqueta abierta, de sitio único, aleatorizado	Pacientes en UCI con alto factor de riesgo a sufrir úlceras por presión, con un periodo de hospitalización mínimo de 24 horas	Grupo control: N= 653. Grupo intervención: N= 659.	Grupo control: N= 555. Grupo intervención: N= 671.	Grupo control: 60 +- 18. Grupo intervención: 60 +- 17.	Academic Medical Center en California, estados unidos. Dos unidades de cuidados intensivos	Mediante un dispositivo electrónico ubicado en el pecho el paciente se recolectan datos de movimiento cada 10 segundos	El procedimiento instrumental es el mismo para ambos grupos, pero en el grupo control no se recolectan los datos de movimiento	Se obtienen 103.000 horas de datos relacionados a el posicionamiento, basado en la evidencia obtenida se sugiere que el tratamiento afectó la proporción de tiempo en cuanto al cumplimiento de reposicionamiento (tratamiento, 67% versus control, 54%, p <0.001)
3. M. J. Peterson, W. Schwab, J. H. van Oostrom, N. Gravenstein, L. J. Caruso, Effects of turning on skin-bed interface pressures in healthy adults. <i>Journal of Advanced Nursing</i> . 66 , 1556–1564 (2010).	Descriptivo, observacional	Participantes adultos trabajadores del área de salud	Grupo intervención: N=15.	Grupo intervención: N=15.	Grupo intervención: 36.7 +- 7.3.	El estudio se realiza en un hospital universitario	Se registran datos de los participantes mediante placas sensores de presión ubicadas sobre una cama durante posición supina, decúbito lateral con almohada, soporte de cuña, además de evaluar el comportamiento realizando la elevación de la cabecera de la cama 30°	No existe grupo control	Al elevar la superficie de la cabecera de la cama a 30 grados en posición lateral, las presiones máximas y área total aumentaron de forma significativa, las denominadas "áreas de riesgo triple" aumento estadísticamente de forma significativa con cuñas de cama en comparación con las almohadas (153 ± 99 cm2 vs. 48 ± 47 cm2, P <0,005)
4. Y. W. Liu, Y. L. Hsu, W. Y. Chang, Development of a bed-centered telehealth system based on a motion-sensing mattress. <i>Journal of Clinical Gerontology and Geriatrics</i> . 6 , 1–8 (2015).	Descriptivo, observacional	participantes adultos reclutados por los investigadores	Grupo intervención: N=15.	Grupo intervención: N=15.	Grupo intervención: de 20 a 30 años	Centro de Investigación en Gerontecología, Universidad Yuan Ze, Taoyuan, Taiwán	Se adquieren datos relacionados a actividad física en una cama, específicamente a eventos ligados a la postura al dormir, el registro de movimiento y la adquisición de frecuencia respiratoria.	No existe grupo control	El estudio realiza un monitoreo continuo de personas con discapacidad motora y personas que sufren de demencia, dando a conocer la actividad física que se presenta durante el periodo de tiempo de monitoreo. Para el caso de personas con discapacidad motora, se muestra que los individuos permanecen 12 horas sobre la cama pero que realizan diferentes movimientos de posicionamiento aproximadamente cada 2 horas

9.1. Anexo 2 Código de programación y configuración del circuito electrónico

```
#ifdef ESP32
#include <WiFi.h>
```

```

#else
#include <ESP8266WiFi.h>
#endif

#include <Wire.h>

// Tiempo de Deep Sleep del ESP8266 (segundos)
#define SLEEP_TIME 120

// MPU6050 Slave Device Address
const uint8_t MPU6050SlaveAddress = 0x68;

// Select SDA and SCL pins for I2C communication Wire.begin(4, 5); GPIO 4 is SDA
GPIO 5 is SCL
const uint8_t scl = D6;
const uint8_t sda = D7;

// sensitivity scale factor respective to full scale setting provided in datasheet
const uint16_t AccelScaleFactor = 16384;
const uint16_t GyroScaleFactor = 131;

// MPU6050 few configuration register addresses
const uint8_t MPU6050_REGISTER_SMPLRT_DIV = 0x19;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_USER_CTRL = 0x6A;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_PWR_MGMT_1 = 0x6B;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_PWR_MGMT_2 = 0x6C;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_CONFIG = 0x1A;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_GYRO_CONFIG = 0x1B;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_ACCEL_CONFIG = 0x1C;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_FIFO_EN = 0x23;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_INT_ENABLE = 0x38;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_ACCEL_XOUT_H = 0x3B;
const uint8_t MPU6050_REGISTER_SIGNAL_PATH_RESET = 0x68;

int16_t AccelX, AccelY, AccelZ, Temperature, GyroX, GyroY, GyroZ;

const char* ssid = "HUAWEI P9 lite";
const char* password = "508fab273af0";
int port = 1882;
const char* URL = "SENSORDATA";
const char* host = "34.203.1.178";
unsigned long lastSend;

String payload = "";

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin(sda, scl);
  MPU6050_Init();

```

```

    initWifi();
}

void loop()
{
    leerSensor();
    json();
    servicioPost();
    if (millis() >= 10000) {
        ESP.deepSleep(SLEEP_TIME * 1000000, WAKE_RF_DEFAULT);
    }
}

void I2C_Write(uint8_t deviceAddress, uint8_t regAddress, uint8_t data) {
    Wire.beginTransmission(deviceAddress);
    Wire.write(regAddress);
    Wire.write(data);
    Wire.endTransmission();
}

// read all 14 register
void Read_RawValue(uint8_t deviceAddress, uint8_t regAddress) {
    Wire.beginTransmission(deviceAddress);
    Wire.write(regAddress);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(deviceAddress, (uint8_t)14);
    AccelX = (((int16_t)Wire.read() << 8) | Wire.read());
    AccelY = (((int16_t)Wire.read() << 8) | Wire.read());
    AccelZ = (((int16_t)Wire.read() << 8) | Wire.read());
    Temperature = (((int16_t)Wire.read() << 8) | Wire.read());
    //GyroX = (((int16_t)Wire.read() << 8) | Wire.read());
    //GyroY = (((int16_t)Wire.read() << 8) | Wire.read());
    //GyroZ = (((int16_t)Wire.read() << 8) | Wire.read());
}

void leerSensor() {
    double Ax, Ay, Az, T, Gx, Gy, Gz;

    Read_RawValue(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_ACCEL_XOUT_H);

    //divide each with their sensitivity scale factor
    Ax = (double)AccelX / AccelScaleFactor * 100;
    Ay = (double)AccelY / AccelScaleFactor * 100;
    Az = (double)AccelZ / AccelScaleFactor * 100;
    T = (double)Temperature / 340 + 36.53; //temperature formula

    Gx = (double)GyroX / GyroScaleFactor * 100;
    Gy = (double)GyroY / GyroScaleFactor * 100;
    Gz = (double)GyroZ / GyroScaleFactor * 100;
}

```

```

Serial.print("Ax: "); Serial.print(Ax);
Serial.print(" Ay: "); Serial.print(Ay);
Serial.print(" Az: "); Serial.print(Az);
Serial.print(" T: "); Serial.print(T);
Serial.print(" Gx: "); Serial.print(Gx);
Serial.print(" Gy: "); Serial.print(Gy);
Serial.print(" Gz: "); Serial.println(Gz);
}

void servicioPost() {
  WiFiClient client;

  Serial.printf("\n[Connecting to %s ... ", host);
  if (client.connect(host, port))
  {
    Serial.println("connected");

    Serial.println("[Sending a request]");
    client.print(String("POST /") + URL + " HTTP/1.1\r\n" +
      "Host: " + host + "\r\n" +
      "Accept: /*\r\n" +
      "Content-Length: " + payload.length() + "\r\n" +
      "Content-Type: application/json" + "\r\n" +
      "\r\n" + payload
    );

    Serial.println("[Response:]");
    while (client.connected() || client.available())
    {
      if (client.available())
      {
        String line = client.readStringUntil('\n');
        Serial.println(line);
      }
    }
    client.stop();
    Serial.println("\n[Disconnected]");
  }
  else
  {
    Serial.println("connection failed!");
    client.stop();
  }
}

void json() {
  payload = String("{\"Valor_X\":\\"" + (double)AccelX / AccelScaleFactor +
    "\",\"Valor_Y\":\\"" + (double)AccelY / AccelScaleFactor
    + "\",\"Valor_Z\":\\"" + (double)AccelZ / AccelScaleFactor + "\"}");
}

```

```

}

void initWifi() {
  Serial.print("Connecting to: ");
  Serial.print(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);

  int timeout = 10 * 4; // 10 seconds
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && (timeout-- > 0)) {
    delay(250);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");

  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println("Failed to connect, going back to sleep");
  }

  Serial.print("WiFi connected in: ");
  Serial.print(millis());
  Serial.print(", IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

//configure MPU6050
void MPU6050_Init() {
  delay(150);
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_SMPLRT_DIV, 0x07);
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_PWR_MGMT_1, 0x01);
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_PWR_MGMT_2, 0x00);
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_CONFIG, 0x00);
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_GYRO_CONFIG, 0x00); //set
  +/-250 degree/second full scale
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_ACCEL_CONFIG, 0x00); //
  set +/- 2g full scale
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_FIFO_EN, 0x00);
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_INT_ENABLE, 0x01);
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_SIGNAL_PATH_RESET,
  0x00);
  I2C_Write(MPU6050SlaveAddress, MPU6050_REGISTER_USER_CTRL, 0x00);
}

```