



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO
“WEARABLE” PARA EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA, HUMEDAD,
INCIDENCIA DE RAYOS ULTRAVIOLETAS(UV) Y PRESIÓN
ATMOSFÉRICA PARA PERSONAS QUE REALIZAN MONTAÑISMO**

AUTOR: ALQUINGA AREQUIPA, FANNY CATALINA

DIRECTOR: ING. TRIVIÑO, DANIEL

SANGOLQUÍ

2017



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO “WEARABLE” PARA EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA, HUMEDAD, INCIDENCIA DE RAYOS ULTRAVIOLETAS (UV) Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA PARA PERSONAS QUE REALIZAN MONTAÑISMO**”, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita **FANNY CATALINA ALQUINGA AREQUIPA** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 22 de febrero de 2017.

Ing. Daniel Triviño.

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **FANNY CATALINA ALQUINGA AREQUIPA**, con cédula de identidad N° 1718538273, declaro que este trabajo de titulación **“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO “WEARABLE” PARA EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA, HUMEDAD, INCIDENCIA DE RAYOS ULTRAVIOLETAS (UV) Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA PARA PERSONAS QUE REALIZAN MONTAÑISMO”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas. Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 22 de febrero de 2017.

FANNY CATALINA ALQUINGA AREQUIPA

C.I. 1718538273



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, **FANNY CATALINA ALQUINGA AREQUIPA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO “WEARABLE” PARA EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA, HUMEDAD, INCIDENCIA DE RAYOS ULTRAVIOLETAS (UV) Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA PARA PERSONAS QUE REALIZAN MONTAÑISMO” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad..

Sangolquí, 22 de febrero de 2017.

FANNY CATALINA ALQUINGA AREQUIPA

C.I. 1718538273

DEDICATORIA

A Dios por derramar sus bendiciones sobre mí y que con su infinita bondad me ha permitido lograr mis objetivos.

A mi madre, que fue un ejemplo de fortaleza, quien me enseñó a salir adelante y no desmayar ante las dificultades.

A mi hijo, por que eres la razón que me levanta cada día ya que eres mi principal motivación.

A toda mi familia, especialmente a mis abuelitos y tios por estar siempre conmigo, brindándome su apoyo incondicional, comprensión y la confianza en cada momento de mi vida. Este logro es tan mío como suyo.

Fanny

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre Fanny por su amor incondicional, por los valores inculcados, por sembrar en mí la responsabilidad y deseos de superación, por el esfuerzo que han puesto en mi formación y por ser mi apoyo durante toda mi vida. A mi hijo Isaac, por ser mi orgullo y mi motivación. No es fácil, eso lo sé, pero tal vez si no te tuviera, no habría logrado tantas cosas.

A toda mi familia por creer en mí, por su preocupación, por quererme y apoyarme siempre. De manera especial a mis tias Mirian y Silvia por su colaboración, cariño, por tener fé en mí, por su comprensión y por brindarme las palabras que me impulsaron a seguir adelante cuando más lo necesité.

A mis profesores por ejercer con excelencia su labor. Un agradecimiento especial al Ing. Daniel Triviño por estar siempre prestos a ayudar brindándome la guía necesaria para desarrollar este proyecto de grado y terminarlo con éxito, por su tiempo y sobre todo por su paciencia.

A todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este arduo camino, a mis amigos y compañeros por haber compartido momentos de alegría, tristeza, preocupación, estrés y malas noches dándonos siempre un apoyo mutuo e incondicional.

Fanny

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia	8
1.3 Alcance del Proyecto	12
1.4 Objetivos	15
1.4.1 General	15

1.4.2	Específicos	16
1.5	Descripción general del proyecto	16
2	ESTADO DEL ARTE	18
2.1	Wearable	18
2.1.1	Introducción	18
2.1.2	Internet de las cosas (IoT)	19
2.1.3	Evolución de los dispositivos Wearable	19
2.1.4	Actuales dispositivos Wearable	20
2.1.5	Aplicaciones	21
2.1.6	Wearable y los deportes de montaña	22
2.2	Sensores	23
2.2.1	Introducción	23
2.2.2	Sensores comunes en los Wearables	24
2.3	Bluetooth.	28
2.3.1	Introducción	28
2.3.2	Evolución del Bluetooth	29
2.3.3	Topología	31
2.3.4	Tecnología Bluetooth en los Wearables	32
3	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	33
3.1	Requerimiento del Diseño.	33
3.1.1	Hardware	33
3.1.2	Software	34
3.2	Caracterización de los sensores	40
3.2.1	Temperatura	40
3.2.2	Rayos ultravioletas	44
3.2.3	Presión atmosférica	47
3.3	Diseño de hardware	49
3.3.1	Módulo de sensores	49

3.3.2	Arduino	58
3.4	Diseño de software	61
3.4.1	Diseño del programa Arduino	61
3.4.2	Diseño de la aplicación móvil	63
3.4.3	Diseño de la Base de datos	65
3.5	Protocolo de prueba	66
3.5.1	Prueba N°1 Calibración de los sensor de temperatura, humedad y presión atmosférica	67
3.5.2	Prueba N°2 Calibración sensor de Rayos UV	68
3.5.3	Prueba N°3 Envío de datos vía Bluetooth	70
3.5.4	Prueba N°4 Envío de datos a la base de datos	70
3.5.5	Prueba N°5 Envío de datos a la micro SD	71
3.5.6	Prueba N°6 Funcionalidad del proyecto	73
4	PRUEBAS Y RESULTADOS	74
4.1	Evaluación de hardware	74
4.1.1	Análisis de resultados por pruebas	74
4.2	Evaluación de software	84
4.2.1	Análisis de resultados por pruebas	84
4.3	Resultados del sistema	90
4.3.1	Escenario N°1	90
4.3.2	Escenario N°2	93
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
5.1	Conclusiones	97
5.2	Recomendaciones	99
5.3	Investigaciones Futuras	100
5.4	Referencias Bibliográficas y Fuentes de Conocimiento	101

ÍNDICE DE TABLAS

1	Evolución del estándar Bluetooth.	30
2	Nomenclatura de los Tipos de Requisitos del Software.	35
3	Requisitos Funcionales General de la Aplicación Móvil.	35
4	Requisitos Funcionales de Ejecución de la Aplicación Móvil.	36
5	Requisitos Funcionales General de la Aplicación WEB.	36
6	Requisitos Funcionales de Ejecución de la Aplicación WEB.	37
7	Requisitos No Funcionales de la Aplicación.	37
8	Requisitos No Funcionales de la Aplicación WEB.	38
9	Descripción de los pines del sensor LM35.	41
10	Características eléctricas del sensor LM35.	42
11	Descripción de los pines del sensor DHT11.	43
12	Características eléctricas del sensor LM35.	44
13	Descripción de los pines del sensor SI1145.	45
14	Características eléctricas del sensor SI1145.	46
15	Descripción de los pines del sensor BMP180.	48
16	Características eléctricas del sensor BMP180.	48
17	Tres modos del dispositivo Bluetooth.	55
18	Ventajas y desventajas de las baterías.	57
19	Características eléctricas del Arduino.	59
20	Tabla para temperatura.	67
21	Tabla para humedad.	67

22	Tabla para presión.	68
23	Tabla para rayos UV.	69
24	Formato para el archivo en la SD.	72
25	Valores promedios de temperatura ambiental.	75
26	Valores promedios de temperatura ambiental ajustados.	76
27	Valores promedios de humedad.	77
28	Valores de humedad calibrado.	78
29	Valores de temperatura y humedad.	79
30	Valores promedios de presión atmosférica.	80
31	Valores promedios de Altura.	82
32	Valores promedios del index UV.	84
33	Tabla de valores de altura.	90
34	Tabla de valores de altura.	93

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Evolución de la humanidad en función a la época. Fuente: (Man Evolution, 2015)	2
2	Zonas más comunes de los dispositivos. Fuente: (Wearable technology, 2016)	2
3	Solmáforo del parque Las Cuadras.	4
4	Sensores de la calidad del aire. Fuente: (Index, Air Quality, 2013), (Aircasting, 2015), (TZOA Wearables, 2014).	5
5	Variedad de deportes de montaña. Fuente: (Dreamstime, 2013)	6
6	Dispositivos Wearables enfocados a deportes de montaña. Fuente: (Wahoo, 2015), (HEDA,2015)	7
7	Cambios de alturas y temperaturas.	10
8	Esquema de alturas. Fuente: (Alpinisonline, 2015)	12
9	Diagrama de bloques del Dispositivo	13
10	Esquema del sistema de monitoreo del ambiente	15
11	Cronología de la tecnología Wearable.	20
12	Aplicaciones de los Wearables.	21
13	Topologías del estándar Bluetooth.	31
14	Requisitos de diseño.	34
15	Diagrama de bloques del software.	38
16	Sensor DHT11.	41

17	Sensor DHT11.	43
18	Sensor SI1145. Fuente: (Datasheet del SI1145, 2012)	45
19	Sensor SI1145.	46
20	Respuesta del sensor UV calibrado vs Index ideal. Fuente: (Datasheet del SI1145, 2012)	47
21	Sensor BMP180.	49
22	Diagrama de bloques del dispositivo wearable.	50
23	Descripción de los pines de los sensores	50
24	Conexión preliminar del sensor LM35.	51
25	Conexión del sensor DHT11.	52
26	Conexión del sensor SI1145.	53
27	Conexión del sensor BMP180.	54
28	Conexión del módulo Bluetooth.	55
29	Pines de la SD.	56
30	Conexión del módulo Micro SD.	56
31	Alimentación con batería de 9V.	57
32	Esquema del Arduino Nano V3.0.	59
33	Esquema del dispositivo Wearable.	60
34	Diagrama de flujo del proyecto en Arduino.	62
35	Diagrama de flujo del proyecto en Android.	63
36	Diseño de la aplicación movil parte 1.	64
37	Diseño de la aplicación movil parte 2.	65
38	Base de datos diseñada (Modelo Conceptual).	66
39	Diseño de la aplicación movil parte.	66
40	Escenario de la prueba.	68
41	Escenario de la prueba.	69
42	Escenario de la prueba.	70
43	Escenario de la prueba.	71
44	Escenario de la prueba.	72

45	Escenario de la prueba.	73
46	Evolución de la salida de los sensores de temperatura	75
47	Evolución de la salida de los sensores de temperatura ajustados	76
48	Evolución de la salida de los sensores de humedad	77
49	Evolución de la salida de los sensores de humedad ajustado	78
50	Evolución de la salida de los sensores de humedad ajustado	79
51	Evolución de la salida de los sensores de presión atmosférica.	80
52	Evolución de la altura.	81
53	Evolución de la altura vs presión atmosférica absoluta.	82
54	Evolución del index UV.	83
55	Análisis de la comunicación Bluetooth.	85
56	Tiempos de demora entre datos.	86
57	ICMP enviado.	87
58	Características de paquetes.	87
59	Características de paquetes.	88
60	Descripción de los datos del archivo.	88
61	Características de paquetes.	89
62	Archivo generado por el dispositivo.	89
63	Gráfica de la altura.	91
64	Gráfica de la presión atmosférica.	91
65	Gráfica de la temperatura vs humedad.	92
66	Gráfica de los rayos YV.	92
67	Gráfica de altura	94
68	Gráfica de presión	94
69	Gráfica de humedad y temperatura.	95
70	Gráfica de index UV	95

RESUMEN

El presente proyecto de investigación describe el diseño e implementación de un dispositivo wearable para el análisis de temperatura, humedad, incidencia de rayos ultravioletas y presión atmosférica para personas que realizan montañismo que consta de un dispositivo y una aplicación móvil desarrollada en Android Studio con Java y una aplicación web desarrollada sobre PHP. El dispositivo wearable se encarga de extraer la información de los sensores de temperatura, humedad, incidencia de rayos UV y presión atmosférica y enviar los datos a la aplicación móvil, la misma que posteriormente enviara la información a un servidor Web para su almacenamiento siempre y cuando exista conexión a Internet, caso contrario se almacenará en una memoria micro SD. Para el desarrollo del proyecto se ha utilizado un Arduino Nano, en la cual se conectan los sensores: LM35, DHT11, SI1145 y BMP180 y la aplicación móvil que permite al dispositivo Wearable mostrara el monitoreo del ambiente. En el análisis y diseño se contemplan los requisitos funcionales y no funcionales que debe cumplir la aplicación móvil, la caracterización de los sensores, el diseño de Software y Hardware, además se realizó el diseño de la base de datos que almacenará la información. Tomando en cuenta todas las consideraciones se implementó el Hardware y Software del prototipo y los resultados de las pruebas planteadas demostraron que el funcionamiento alcanzado se enmarcan dentro del objetivos propuestos.

PALABRAS CLAVE:

- WEARABLE
- SENSORES
- ARDUINO
- BLUETOOTH
- APLICACIÓN MÓVIL

ABSTRACT

The research project describes the design and implementation of a wearable device to analyse temperature, humidity, incidence of ultraviolet rays and atmospheric pressure for people doing mountaineering, the systems consists of a device and a mobile application developed in Android Studio with of Java and a web application developed in PHP. The wearable device extracts information from sensors, such as: temperature, humidity, UV radiation and atmospheric pressure and send the data to the mobile application, which also will send later the information to a Web server for its storage, if there is Internet connection otherwise the data will be stored in a micro SD memory. For the development of the project an Arduino Nano has been used, in which the sensors are connected: LM35, DHT11, SI1145 and BMP180, the mobile application allows the Wearable device to show the data.

The analysis and design includes functional and non-functional requirements to met by the mobile application, the sensor characterization, the design of Software and Hardware, as well as the design of the database that will store the information. Taking into account all the considerations, the hardware and software of the prototype were implemented and the results of the tests showed that the achieved performance was within the proposed objectives.

KEY WORDS:

- WEARABLE
- SENSORS
- ARDUINO
- BLUETOOTH
- MOBILE APPLICATION

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Desde los inicios de la humanidad se ha tenido la necesidad de construir y desarrollar nuevas herramientas que le faciliten su trabajo y mejoren su calidad de vida en función de la época y del contexto histórico. Sin embargo en los últimos años el mundo ha experimentado un intenso proceso de desarrollo de las tecnologías (ver figura 1). Según Carrithers (1995), el monitoreo del cuerpo humano es uno de los objetivos principales de la industria tecnológica y es por ello que estos dispositivos portables son un complemento tecnológico al momento de monitorear el cuerpo en la vida diaria. Cualquier dispositivo inteligente que se pueda “usar” o “llevar encima” es el objetivo del desarrollo actual de hardware y software de muchas grandes empresas tecnológicas lo que ha llevado al desarrollo de dispositivos “Wearable” o “vestible” .

Según Moreira (2009), “Wearable”¹ es aquel dispositivo que se lleva sobre, debajo o incluido en la ropa para monitorear la actividad de un ser humano, como la cantidad de calorías que queman, la cantidad de pasos que dan, los escalones que suben, la distancia que recorren, conocer su ritmo cardíaco e incluso medir las horas de sueño

¹Wearable tiene una raíz inglesa cuya traducción significa “llevable” o “vestible”, en el argot tecnológico hace referencia a computadoras corporales o llevables con el usuario.

que ha tenido. El conjunto de estos aparatos y dispositivos electrónicos están dentro del sector tecnológico y más concretamente de la electrónica de consumo. En la figura 2 se muestra la ubicación más común de los actuales dispositivos “Wearables” que se desarrollan para las persona.



Figura 1: Evolución de la humanidad en función a la época.

Fuente:(Man Evolution, 2015)

Cunha (2010), establece que los “Wearables” son mucho más cómodos de transportar, ya que sencillamente se llevan puestos y su peso es mínimo. Además, nos permiten mantener las manos libres y poseen una accesibilidad más sencilla al usuario.

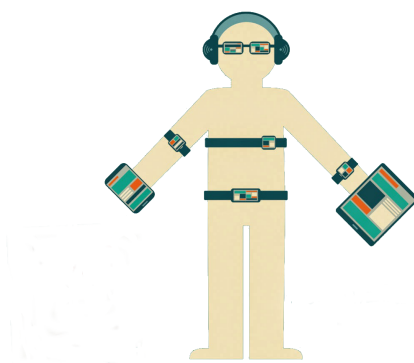


Figura 2: Zonas más comunes de los dispositivos.

Fuente:(Wearable technology, 2016)

Aunque en el 2016 la tecnología “Wearable” está en su máximo esplendor, los

primeros dispositivos se remontan al siglo XVII, cuando la Dinastía Qing crea un ábaco en forma de anillo de diminutas dimensiones (Thorp, 1998).

Dentro de las fechas más importantes de la Historia de los Wearables está 1810 donde la casa Breguet fabricó el primer reloj inteligente el cual posiblemente sea el ancestro del “Wearable” moderno, en 1961 Edward Thorp reveló que él había creado el primer ordenador portátil para hacer trampa en la ruleta, sin embargo en 1975 la empresa Pulsar fue la creadora de la primera calculadora de muñeca del mundo, en el año 2000 se crea el primer auricular Bluetooth y en el 2006 Nike y Apple se unieron para crear un kit deportivo que les permite a los usuarios sincronizar sus movimientos con sus iPods (Clarke, 2000). El 2014 fue bautizado como “El Año del Wearable”, se supone que a partir del 2014 el crecimiento de productos será exponencial.

Estos dispositivos “usables” conforman el futuro de las tecnologías que se incorporan en alguna parte del cuerpo humano interactuando continuamente con el usuario, medio ambiente y con otros dispositivos, además tienen la finalidad de realizar alguna función específica de monitoreo, ya que ofrece todas las facilidades y ventajas de otros dispositivos actuales pero de una forma más confortable debido a su ergonomía y tamaño reducido, (Watier, 2013). Estos dispositivos pueden ser implementados en los siguientes campos: entrenamiento, industrial, militar, salud, deporte y bienestar, (Kieffner, 2015).

Los fabricantes de los dispositivos, accesorios y aplicaciones enfocan su interés debido a la amplia gama de sensores que existe para monitorizar en tiempo real las actividades y la condición física de la persona en áreas de salud y deporte, bienestar y medio ambiente.

El monitoreo ambiental es una acción que se refiere a controlar, supervisar y analizar el impacto de cualquier factor, componente y atributo ambiental en una área de trabajo, los cuales deberán mantenerse dentro de unos parámetros de seguridad y no existan consecuencias negativas para la salud y la productividad. La tendencia a

nivel mundial, es dar una mayor atención a los factores ambientales relacionadas con las actividades del ser humano, también es importante esta acción a la hora de prevenir un impacto negativo y así evitar complicaciones futuras severas tanto en la salud de las personas como del ambiente (Weitzenfeld, 1990).

A partir del 2014, se ha empezado a desarrollar dispositivos con varios sensores para tomar diferentes mediciones relacionadas con el medio ambiente como: temperatura, humedad, incidencia de rayos UV, calidad del aire o agua y hasta el nivel de emisión de CO₂; en particular estos dispositivos son orientados a deportes y bienestar tanto al interior (piscinas, canchas cubiertas, gimnasios, etc.) como al exterior (ciclismo, marcha, deportes de montaña, etc.).

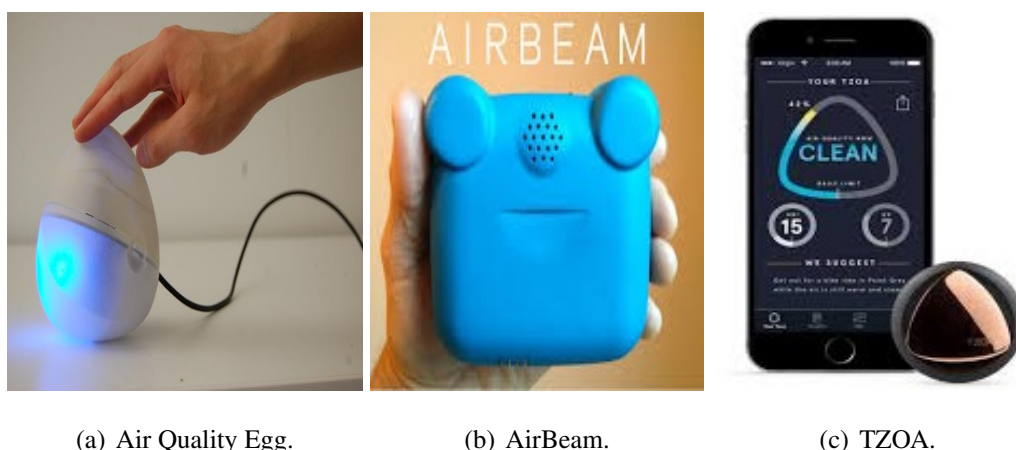


Figura 3: Solmáforo del parque Las Cuadras.

Este tipo de monitoreo se ha vuelto común en muchas grandes ciudades, con el objetivo de proteger a la población de peligrosos factores ambientales por ejemplo Quito adquirió un solmáforo, la promotora de esta idea es la Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Aunque este no es un “Wearable”, pretende ser un dispositivo de alerta sobre la incidencia de rayos UV en la ciudad. Tres de estos aparatos ya funcionan en los parques Bicentenario, Itchimbía y Las Cuadras (Ver figura 3), estos miden los niveles de radiación ultravioleta. Según la Secretaria Metropolitana de Ambiente (2016), están calibrados de acuerdo con los estándares de

la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El problema con los dispositivos de alerta instalados por ciudades, es que se encuentran muy dispersos entre ellos y no siempre se obtiene información oportuna de los factores ambientales que se están midiendo y la población no está familiarizada con estos dispositivos de prevención ya que no le dan la debida importancia.



(a) Air Quality Egg.

(b) AirBeam.

(c) TZOA.

Figura 4: Sensores de la calidad del aire.

Fuente: (Index, Air Quality, 2013), (Aircasting, 2015), (TZOA Wearables, 2014).

En función de medir en tiempo real y obtener información oportuna sobre el medio ambiente se han desarrollado varios equipos “Wearables”, como: TZOA, AirBeam, PEM, Air Quality Egg, ChemiSense, WEPO o Clariy (Ver figura 4). Todos son capaces de medir la temperatura, la humedad, la concentración de CO₂ y, los más avanzados hasta la cantidad de rayos ultravioleta (UV) a la que se encuentran expuestos. Además, ofrecen la posibilidad de conectarse con un Smartphone y a través de este a la red celular, poder enviar esos datos a un sistema para almacenaje y posterior monitorización; Incluso algunos dispositivos pueden medir la contaminación acústica utilizando el micrófono del Smartphone, pero existen bastantes dificultades técnicas derivadas del lugar y el momento en que se realizan las mediciones del nivel de ruido, (Quality and Technology, 2015).

El uso de los sensores de temperatura, humedad, UV entre otros se ha hecho bastante común, llegando a emplearse en dispositivos orientados a personas que practican algún deporte como parte de su estilo de vida.

El interés de las personas en actividades físicas al aire libre, ha aumentado y existe una tendencia para realizar trote y caminatas por senderos en parques, ciclismo de montaña, ascenderismo, escalada, es decir deportes de montaña, en los que varía el terreno de acuerdo a la época del año y las características climáticas de cada día.



Figura 5: Variedad de deportes de montaña.

Fuente:(Dreamstime, 2013)

Según Biggar (1996), el montañismo es un deporte que consiste en realizar excursiones por las montañas, por lo que requiere de técnicas, habilidades y conocimientos ya que es uno de los deportes más practicados en el mundo entero. Las condiciones climáticas y geológicas son las que conforman el escenario deportivo, es así que con el correr de los años y la especialización de los ascensos el montañismo se fue subdividiendo en diversas modalidades, las cuales son; Área de marcha: senderismo, media montaña, alta montaña y expediciones; Área de escalada: escalada en roca, escalada en hielo y escalada deportiva; Área de resistencia: duathlon en montaña, media maratón y maratón de montaña; Área de específicos: barranquismo y esquí de travesía entre otras, como se puede observar en la figura 5.

Para la práctica deportiva en general, se puede encontrar una gran gama de dispositivos que sirven para monitorear y optimizar el rendimiento de las personas. Estos avances tecnológicos junto con el deseo de mejorar la calidad de vida y la búsqueda de experiencias al natural han aumentado el auge en la práctica de deportes al aire libre.

El mercado actual de Wearables es muy amplio y existen artefactos para diferentes actividades; sin embargo no existen muchos dispositivos orientados a deportes en montaña, aunque entre los más recientes se tienen:



(a) Speed and Cadence Sensor. (b) Los Sports Gloves.

Figura 6: Dispositivos Wearables enfocados a deportes de montaña.

Fuente: (Wahoo, 2015), (HEDA,2015)

- **Speed and Cadence Sensor:** es un dispositivo que en combinación con las aplicaciones móviles convierte tu Smartphone en una ciclocomputadora profesional. Registra la velocidad, cadencia, posición (GPS), distancia, altitud, y mucho más. Después de una excursión, el sensor de velocidad y cadencia le permite analizar la sesión de entrenamiento (ver figura 6a).
- **Los Sports Gloves:** son ideales para manejar el Smartphone o Tablet también en invierno ya que no hay que quitarse los guantes cuando hace frío (ver figura 6b), también son a prueba de golpes debido a que posee un gel de 5 mm para proteger la palma y la muñeca (Hipertextual, 2015).

Los dispositivos “Wearable” generalmente para su comunicación crean una red tipo WPAN (Wireless Personal Área Network) con un teléfono inteligente cercano y la transmisión de datos se realiza a través de Bluetooth. El sistema Bluetooth, es un sistema inalámbrico que sirve para conectar varios aparatos electrónicos e intercambiar información entre ellos, emite una señal de 2.4 GHz con un alcance de operación de 25 metro (clase 2), sin embargo se pueden alcanzar distancias de hasta 100 metros con el uso de amplificadores, con la gran ventaja de que consume muy poca energía y con una velocidad de transferencia de hasta 25 Mbps (Acevedo, 2012).

Para la recepción de los datos se requiere de un teléfono inteligente, ya que en los últimos años se han convertido en una herramienta imprescindible para el hombre en su día a día y en una poderosa plataforma para el desarrollo de aplicaciones de diversos tipos con capacidad de acceso a Internet (Ortega, 2010).

Actualmente existen varios sistemas operativos móviles (Android, iOS y Windows Phone), pero este proyecto se realizara en la plataforma de Android (de Google). El sistema operativo Android revoluciono el mundo de los teléfonos inteligentes con gran éxito desde su lanzamiento oficial en el 2007. Se estima que actualmente existen más de 2 mil millones de dispositivos (Android, 2016). El éxito de Android se basa en la gran cantidad de aplicaciones móviles disponibles y la relativa facilidad que implica el desarrollo de software para esta plataforma al ser de código abierto.

1.2 Justificación e Importancia

Dentro de los dispositivos “Wearable” y su división en grupos de aplicación el proyecto de investigación se centra en el desarrollo de hardware y software para suplir necesidades dentro de áreas de salud, deporte, bienestar y medio ambiente.

Estas áreas están vinculadas al momentos de realizar actividades físicas en ambiente externos y extremos por esta razón se mostrara varios peligros al que se expone

las personas, por los que se requiere monitorear variables como temperatura, humedad, presión atmosférica e incidencia de rayos ultravioletas, debido a que el planeta está viviendo un calentamiento global.

Según el Ministerio del Ambiente, la temperatura media global del planeta ha aumentado $0,7^{\circ}\text{C}$, siendo desde 1975 el incremento de temperatura por década de unos $0,15^{\circ}\text{C}$. Un factor es el debilitamiento de la capa de ozono, que permite una mayor filtración de rayos solares perpendiculares y las consecuencias son el cáncer de piel, calentamiento global y los deshielos de los polos, (Ministerio del Ambiente, 2015)

Se calcula que cada año se producen a escala global dos millones de nuevos casos de cáncer de piel, según cifras de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014). Y en el Ecuador, esas cifras no son aisladas. Según los datos levantados por la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer (Solca, 2014), las ciudades con más incidencia de esta enfermedad están en la Sierra esto se debe a que al estar a una mayor altitud sobre el nivel del mar, la exposición a las radiaciones ultravioletas también aumenta, lo cual puede afectar en mayor cantidad a personas que viven en ciudades de gran altitud como Quito, así como aquellos que realizan actividades de andinismo, escalada, running de montaña y trekking que se han convertido muy populares en estos días.

Las temperaturas bajas además de provocar los catarros y las gripes típicas de la estación, durante el invierno también aumentan los ataques al corazón. De acuerdo a una investigación realizada en China (Yang, 2015), en invierno hay un 40 % más de muertes por afecciones cardíacas que en primavera o verano. La investigación también halló que con temperaturas bajas aumenta la presión sanguínea, uno de los factores que incrementa el riesgo de sufrir un ataque al corazón.

Otros autores como Gavidia (2009) demuestra la relación existente entre estas enfermedades y un ambiente húmedo: de 134 adolescentes afectados por asma, bronquitis crónica, un 78 % viven en ambientes muy húmedos, un 17 % en ambientes secos y un 5 % en ambientes muy secos. Al igual que un bajo nivel de humedad en el am-

biente puede causar efectos negativos en nuestra salud, un nivel de humedad de más de un 65 % también puede ser perjudicial para el organismo. El problema no es tanto la humedad en sí misma sino los microorganismos que se reproducen en superficies húmedas.

Actualmente, cada vez son más los interesados en ejercicios de montaña y andinismos que realizan actividades a miles de metros sobre el nivel del mar. Si la práctica de cualquier deporte requiere una aclimatación corporal, la de los que la realizan a grandes altitudes todavía más, ya que hay un estrés fisiológico adicional debido a una disminución de la presión atmosférica, de la temperatura y de la humedad por lo cual debe ser monitoreado constantemente para prevenir o alertar sobre inconvenientes en el cuerpo y así evitar accidentes o pérdida del conocimiento por que la persona ya no puede aclimatarse

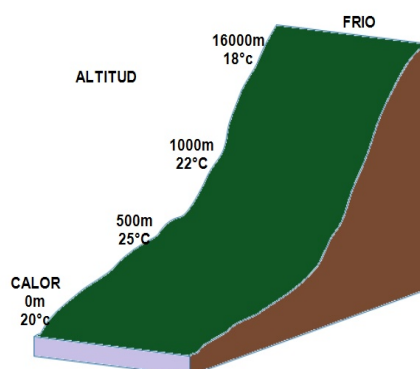


Figura 7: Cambios de alturas y temperaturas.

Cuando un deportista asciende a una altura elevada se somete a una serie de cambios de temperatura y presión atmosférica que influyen directamente sobre sus condiciones físicas (ver figura 7). Estos cambios, además de suponer un cierto riesgo para su salud, son una amenaza para su rendimiento. A medida que aumenta la altitud disminuye la presión atmosférica (Becerra, 2014). De hecho, se reduce a la mitad cuando llegamos a los 5500 metros. Esto ocasiona, fundamentalmente, una menor disponibilidad de oxígeno, lo que, en definitiva, puede afectar negativamente al rendimiento

deportivo. Una mala adaptación a estos cambios puede dar lugar al conocido “mal de montaña” que afecta al 30 % de las personas que ascienden por encima a los 3000 metros y que se manifiesta con fuertes dolores de cabeza, vértigos, palpitaciones y dificultades para respirar (SportVicious, 2015).

El montañismo puede variar mucho por el tipo de recorrido, un aspecto muy importante es el peso del equipamiento. Se buscan objetos útiles y portátiles, que resistan un trato duro pero del menor peso y volumen posible.

Hoy en día se tiene la tecnología necesaria y disponible para desarrollar un prototipo electrónico enfocado al montañismo que permita a personas que recién inician o expertas en deportes de montañas verificar como el ambiente y actividades a miles de metros sobre el nivel de mar afectan su fisiología, de ahí nace la importancia de desarrollar e implementar un dispositivo pequeño y de larga duración en batería, que ayude a monitorear ciertas variables como:

- Temperatura y humedad, que son dos de las principales variables que determina la diferencia de practicar deporte en diferentes condiciones climáticas y a diferentes alturas.
- Incidencia de los rayos ultravioletas (UV), este tipo de rayos son más agresivos para el organismo humano ya que dañan al ácido desoxirribonucleico (ADN) de las células de la piel; los efectos de las radiaciones aumenta un 15 % cada 1000 metros de altura, debido que la intensidad del sol es mayor, cuanto mayor es la altitud a la que se encuentra el deportista y el desempeño del mismo generalmente disminuye.
- Presión Atmosférica, este factor decrece exponencialmente con la altitud. Cuando el cuerpo alcanza cerca de 2100 metros sobre el nivel de mar, la saturación de la oxihemoglobina comienza a disminuir drásticamente Sin embargo, el cuerpo humano posee adaptaciones a corto y largo plazo que le permiten compensar, en forma parcial, la falta de oxígeno. Existe una región ubicada por encima de los

8000 metros de altura a la cual se denomina “zona de la muerte”, (ver figura 8), donde ningún cuerpo humano puede aclimatarse debido al límite de adaptación, resultando un deterioro de las funciones del cuerpo (causando dolor de cabeza), pérdida de conciencia, y por último, la muerte.

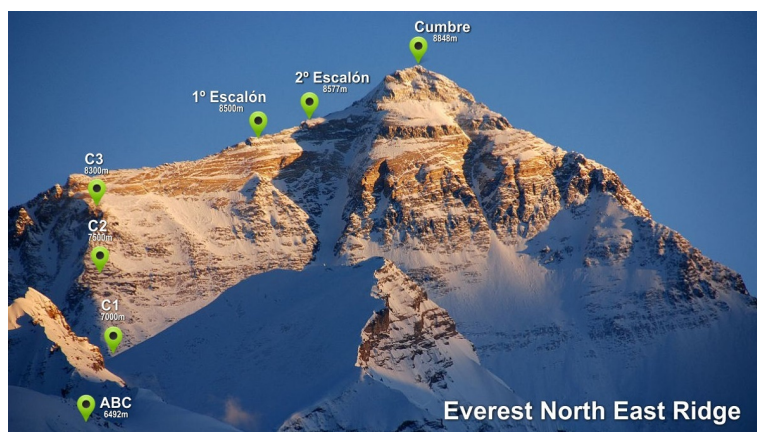


Figura 8: Esquema de alturas.

Fuente:(Alpinismonline, 2015)

En base de lo anterior es importante el desarrollo de un dispositivo electrónico que permita alertar de los posibles riesgos que una persona podría sufrir realizando deportes de montaña si no toma protecciones necesarias en torno a los factores ambientales monitoreados los cuales se mostrarán mediante una aplicación en el teléfono inteligente y su posterior envío a un sistema de almacenamiento y consulta de datos.

1.3 Alcance del Proyecto

El presente proyecto de investigación pretende realizar un diseño e implementación de un dispositivo “Wearable” que permita monitorear el medio ambiente del usuario. El mismo contará con tres tipos de sensores, con los cuales se analizarán las siguientes variables:

- Temperatura y humedad, información que será recopilada a través de un sensor de temperatura y humedad que permita detectar cambios leves o bruscos. El

tiempo de respuesta debe ser corto con un bajo consumo de energía pero debe analizar en tiempo real el medio para obtener datos e información lo más exacto posible. Además debido a la baja corriente de alimentación del sensor, puede producirse un efecto de auto calentamiento muy reducido que podría modificar los datos obtenidos, por lo cual es necesario minimizar este efecto. Este sensor además debe funcionar para un rango amplio de temperatura / humedad.

- Incidencia de rayos ultravioletas, mediante un sensor de rayos UV, que permita detectar la incidencia de radiación solar, en particular rayos de longitud de ondas 100nm a 400nm, que permite identificar los niveles máximos a los cuales se deba usar protección, a través de una aplicación móvil.
- Presión atmosférica, esta información puede ser recopilada gracias a un sensor de presión con el objetivo de obtener datos de variaciones mínimas o bruscas según altura, en especial para deportes de montaña de gran variabilidad de altura como ciclismo, trekking o baranquismo.

Los tres sensores se conectarán a una placa de hardware abierto, la cual será la unidad de procesamiento del dispositivo, también para las comunicaciones se incorporará un módulo Bluetooth para transmisión y recepción de datos, con el objetivo de poder comunicarse con un Smartphone utilizando el estándar IEEE 802.15.1.

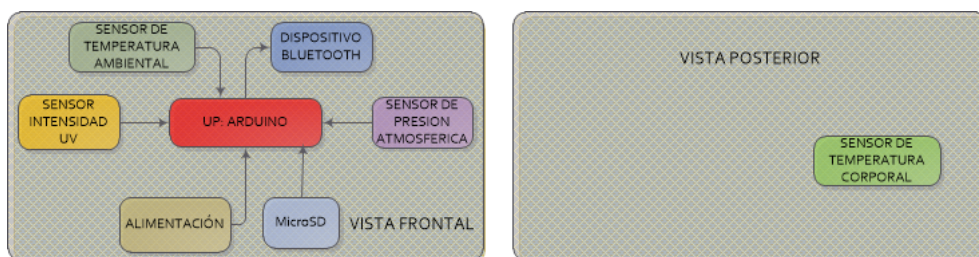


Figura 9: Diagrama de bloques del Dispositivo

En la figura 9 se puede apreciar el diagrama de bloques del dispositivo y presentar la distribución de los sensores para reducir el tamaño del mismo

Para la alimentación del dispositivo es necesaria una batería, pero con ciertas características que permitan mantener un peso mínimo y larga duración, para lo cual hay se necesita validar las posibles opciones en el mercado.

En caso de un fallo en la comunicación de datos vía Bluetooth hacia el celular o del celular al servidor, se podrá almacenar los datos recopilados en una tarjeta micro SD incluida en el interior del dispositivo “Wearable”. En la parte posterior del dispositivo se pretende colocar otro sensor de temperatura, con el cual se espera pueda medir la temperatura corporal del usuario, con el fin de comparar con la temperatura externa y entregar mayor información al respecto.

Una aplicación móvil se encargará de mostrar la información obtenida de los datos recopilados por el dispositivo. Esta aplicación será desarrollada sobre la plataforma Android con el fin de hacerla compatible con la mayoría de dispositivos móviles actuales, y debe permitir:

- Mostrar la información obtenida del monitoreo de las tres variables mencionadas anteriormente.
- Emitir alertas preventivas en caso que fuera necesario según valores máximo o mínimos de las variables y la cual permitirá comunicar al usuario las condiciones ambientales que lo rodea, utilizando la pantalla del teléfono inteligente u otra de las opciones de hardware incorporados a ellos.
- Enviar los datos al servidor Web (Siempre que exista conexión a Internet).

Los datos recopilados y guardados en el micro SD y la aplicación móvil (App) podrán ser transmitidos a un servidor mediante una conexión a Internet a través del teléfono, con el fin de almacenar los datos para una revisión posterior.

El servidor Web, permitirá almacenar la información provista por el teléfono inteligente sobre la temperatura, incidencia de los rayos ultravioletas y presión atmosférica; además dispondrá de una interfaz de usuario, que permitirá visualizar la infor-

mación a través de la Web. En la figura 10 se muestra un diagrama de bloques para el hardware propuesto a implementar.

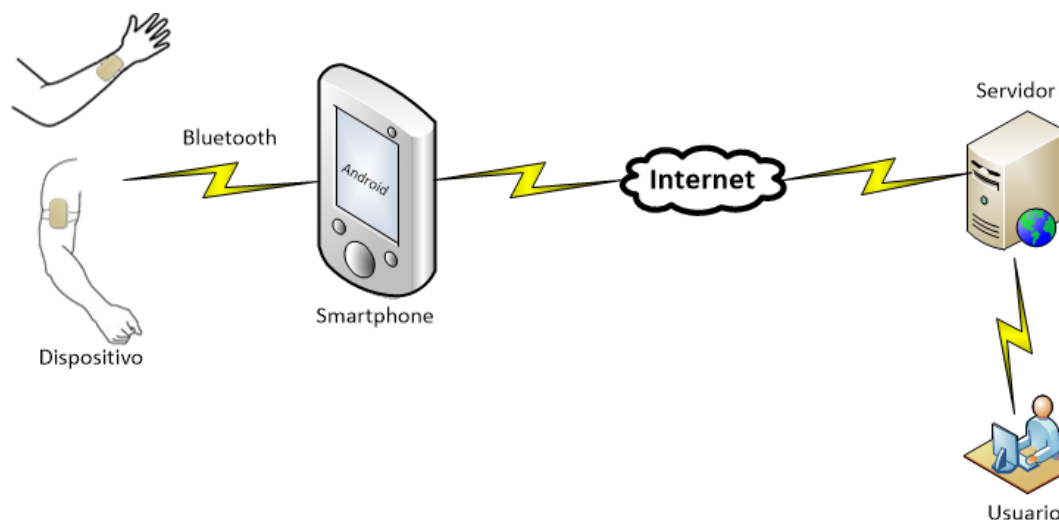


Figura 10: Esquema del sistema de monitoreo del ambiente

La altura máxima a la cual el dispositivo podría trabajar con una conexión a Internet se espera se alrededor de 4050 metros ya que superado está altura la cobertura móvil celular podría desaparecer; respecto a la temperatura máxima a la que el dispositivo podría estar expuesto es de una máxima de 45° C y una mínima de 8° C bajo cero ya que la temperatura del Ecuador mantiene este rango de temperaturas en sus regiones.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- Diseñar e implementar de un dispositivo “Wearable” para el análisis de temperatura, incidencia de rayos ultravioletas (uv) y presión atmosférica para personas que realizan montañismo

1.4.2 Específicos

- Analizar el estado del arte acerca de dispositivos “Wearable” y equipos que cuenten con el Estándar IEEE 802.15.1.
- Realizar la caracterización de los sensores.
- Analizar las propiedades y capacidades del sistema operativo Android.
- Diseñar Hardware y Software del dispositivo.
- Desarrollar una aplicación para dispositivos móviles basada Android para visualizar la información de los sensores.
- Implementar la comunicación entre la aplicación móvil y el servidor Web.
- Desarrollar el protocolo de pruebas.
- Realizar las pruebas para evaluar el desempeño del dispositivo en diferentes escenarios.
- Analizar los resultados obtenidos.

1.5 Descripción general del proyecto

Este proyecto consiste en diseñar e implementar un dispositivo, el cual pueda monitorear varias variables ambientales en tiempo real, para alertar de los posibles riesgos de forma temprana a los deportistas de montaña.

Las cuatro variables de monitoreo son: Temperatura, Humedad, Incidencia de rayos ultravioletas y Presión atmosférica, debido que estos factores son de vital importancia al momento de practicar deportes a gran altura en montaña.

El dispositivo propuesto para deportistas de montaña, debe realizar un monitoreo automático de las variables descritas; los elementos internos estarán conectados a una

placa basada Hardware libre, además debe permitir la comunicación inalámbricamente con un Smartphone a través de Bluetooth. Los sensores deben detectar en tiempo real las variables ambientales mencionadas anteriormente.

Ya que el dispositivo estará sometido a mucho movimiento, especialmente provocado por las acciones del deportista, se pretende colocarlo en la muñeca o brazo de una persona (ya que es más fácil manipular y observar los LED indicativos), por consiguiente el dispositivo tendrá un tamaño muy reducido y con un peso mínimo.

Se pretende desarrollar una aplicación móvil que permita interactuar con el contenido enviado desde el dispositivo. Esta aplicación debe mostrar la información relacionada con las variables monitoreadas en tiempo real, para alertar al deportista sobre factores que puedan afectar su salud, así como proveer recomendaciones sobre el tipo de protección que debe tener en cuenta, con el fin de evitar posteriores problemas de salud.

Los datos provenientes del monitoreo serán enviada a una base de datos desde el teléfono inteligente, siempre y cuando exista una conexión a Internet, caso contrario con el objetivo de preservar los datos recogidos, estos podrán ser almacenados en una memoria tipo micro SD incorporada en el dispositivo.

La interfaz web permitirá desplegar y mostrar graficas de la información recopilada al usuario, en base a los datos registrados en la base de datos. Además la interfaz debe estar disponible en cualquier momento para que un usuario pueda acceder a ella y obtener estadísticas y variaciones de los factores ambientales presentes durante sus actividades deportivas.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2.1 Wearable

2.1.1 Introducción

La “Wearable Technology” viene de la palabra “wear” que significa “llevar puesto”; de ahí que la llaman la “tecnología vestible” y que ofrece algún tipo de servicio, desde la monitorización de diversas constantes de toda índole hasta la presentación de datos o el acceso rápido a otros dispositivos. Podríamos decir que es una tecnología de uso diario que se lleva puesto como si fuera una prenda de vestir (eHealth Wars, 2014).

Según TECSOS (2016) los Wearables no son una moda actual, sino podrían ser fechados hace más de 700 años. Y es que si nos centramos en su definición más estricta, no se refieren únicamente a instrumentos tecnológicos, sino que los propios relojes convencionales tanto de agujas como digitales entrarían dentro de esta definición ya que mejoran nuestra calidad de vida.

Una idea común acerca de los Wearables es que son dispositivos para reemplazar el teléfono móvil, pero en realidad los Wearables lo complementan y lo más frecuente es que en un gran porcentaje de aplicaciones sean dependientes del teléfono móvil (Tecos, 2016).

2.1.2 Internet de las cosas (IoT)

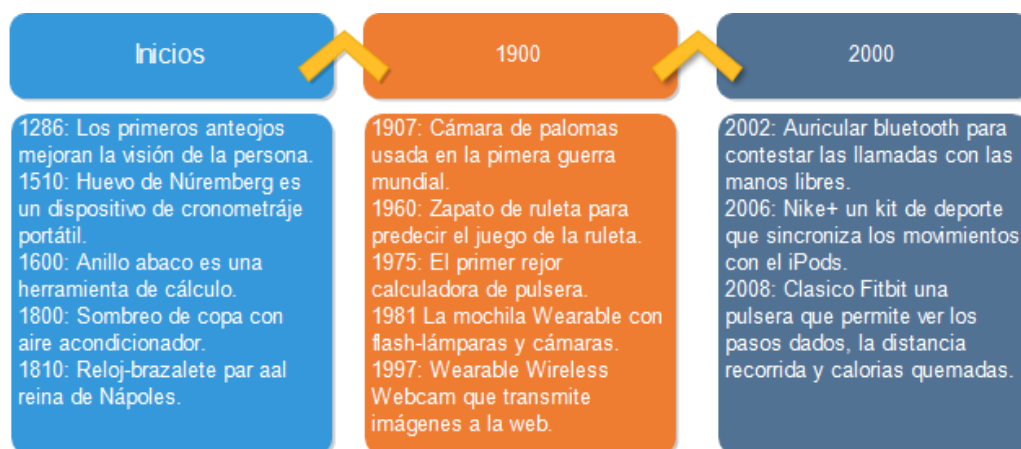
El término de Internet de las Cosas fue inventado en 1999 por Kevin Ashton afirmando que el IoT es el mundo en el que cada objeto tiene una identidad virtual propia y capacidad potencial para integrarse e interactuar de manera independiente en la red con cualquier otro individuo, ya sea una máquina (M2M) o un humano (Everlet, 2013).

IoT tiene tres características principales que son: Conectividad (los dispositivos tienen que estar conectados entre sí o a través de otros dispositivos), Identificación (cada dispositivo debe distinguirse de los demás vía software) y Encriptación (los usuarios pueden esconder información si lo necesitan).

Los Wearables son dispositivos IoT ya que normalmente están conectados a Internet a través del teléfono móvil. Wifi, Bluetooth y NFC son las tecnologías más comunes de comunicación en los Wearables, creando redes “piconet” o “Personal Area Network” (WPAN) que se mueven con la persona (Tecsos, 2016).

2.1.3 Evolución de los dispositivos Wearable

Se mostrara la evolución de los dispositivos Wearables según la fecha de creación y destacando los principales dispositivos de acuerdo a la tecnología de la época. La evolución de los dispositivos Wearable se describe en la figura 11.



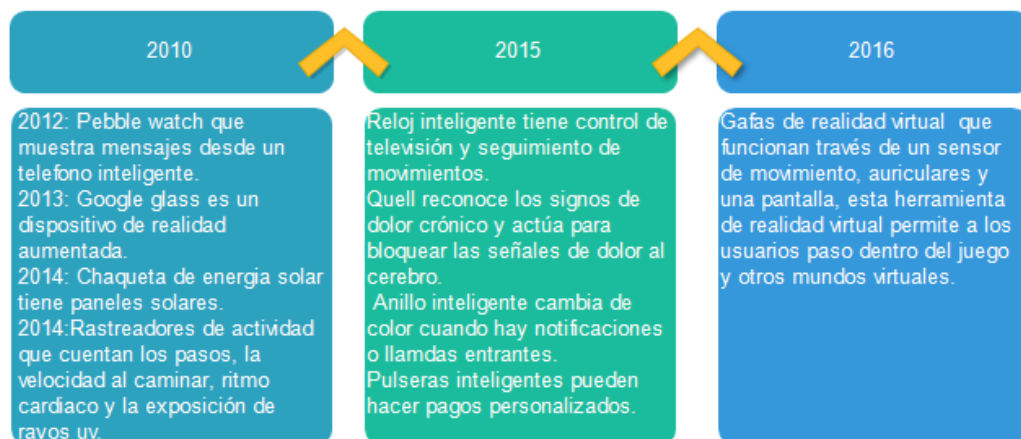


Figura 11: Cronología de la tecnología Wearable.

2.1.4 Actuales dispositivos Wearable

Según Santos-Lozano & Garatachea (2016), en estos días todo lo que es tecnología Wearable es tema de interés para las personas, ya que actualmente existe una amplia gama de potentes Wearables: SmartWatches (Gear S de Samsung, G Watch de LG, el Apple Watch), SmartGlasses (Epson Moverio BT-200, Vuzix o Google Glass), Bandas Fitness o de Salud (Fit Bit, Jawbone o Gear Fit), SmartRings como el NFC Ring, los cuales dependiendo de su ubicación cumplirán con una función específica. Dando información que puede ser de gran utilidad debido a la conexión y envío de datos.

Estos dispositivos conforman el presente y futuro de la tecnología, ya que ofrecen todas las facilidades y ventajas de los dispositivos actuales pero de una forma más confortable. Por ejemplo, en comparación con los Smartphones o Tablets, los Wearables son mucho más cómodos de llevar, ya que sencillamente se llevan puestos y son ligeros. Además, permiten mantener las manos libres y poseen una accesibilidad mucho más rápida.

En lo que se refiere a la parte Wearable, en la 3rd Wearable Technology & Internet of Things Conference (2016) se pretende alcanzar dos objetivos: Acercar dicha tecnología a aquellas personas que están iniciando sus pasos en este mundo: novedades,

tendencias actuales y nuevos diseños y ayudar a profundizar a aquellos que posean ya una amplia experiencia en este apasionante mundo, para que puedan ponerse completamente al día en los últimos avances de esta revolución tecnológica.

Existen varios dispositivos, los cuales actualmente están divididos según su ubicación en el cuerpo humano como: cabeza, brazos, torso y piernas.

2.1.5 Aplicaciones

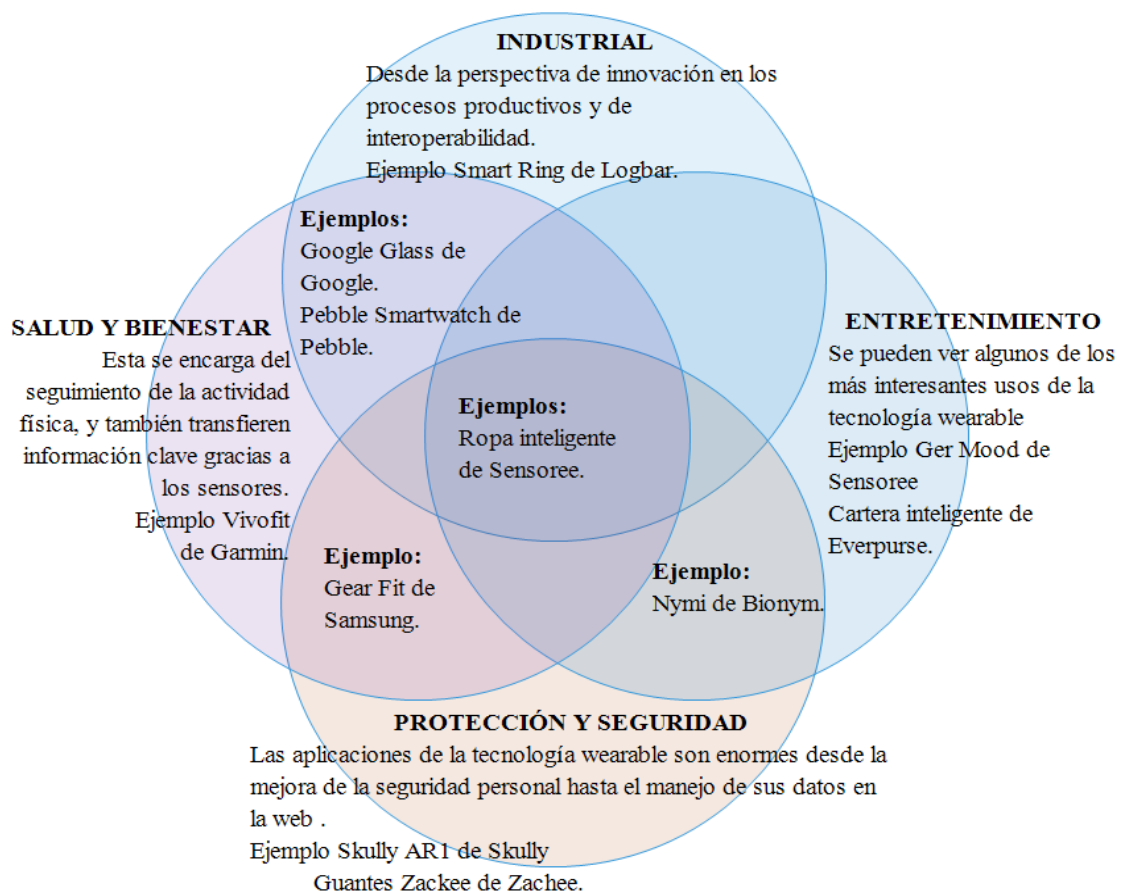


Figura 12: Aplicaciones de los Wearables.

Según Rodríguez (2016), la tecnología Wearable se encuentra presente en un amplio abanico de sectores que satisfacen las necesidades y deseos con la finalidad de aumentar la calidad de vida por ejemplo la salud de los pacientes, la seguridad de las personas

que se exponen a riesgos en su trabajo diario o el entrenamiento de los deportistas que se preparan para una competición. En la figura 12 se expondrá las aplicaciones más usuales de los Wearables con algunos de los dispositivos los cuales están clasificados dependiendo de su aplicación. Existen algunos dispositivos que debido a sus características están dentro de dos o más categorías.

2.1.6 Wearable y los deportes de montaña

Hacer deporte se ha convertido en todo un hábito muy común entre millones de usuarios en todo el mundo. Y es que la forma en la que se practica el deporte ha cambiado, considerablemente, en los últimos años, ya que la tecnología está revolucionando el sector deportivo, por eso cada vez son más las aplicaciones móviles y dispositivos que nos permiten controlar el entrenamiento diario así como también tener información relevante sobre el progreso, rendimiento y estado de salud; así como datos de las variables más comunes a monitorear, como: pulsaciones cardíacas, cadencia, distancia, velocidad, calorías consumidas, podómetro, etc (Carranza Herrezuelo, 2016).

Lo que está claro es que la práctica del deporte o actividad física ha cambiado con la llegada de los Wearable, sin embargo esta tecnología, no ha desarrollado suficientes dispositivos orientados a la práctica de los deportes de montaña, ya que son actividades que se practican en un medio con especiales características climáticas y físicas. Los deportes de montaña son cada vez más populares y millones de personas de cualquier edad en todo el Ecuador practican al menos una de estas actividades (Días, 2016).

Algunos dispositivos orientados a estas actividades, están especialmente diseñados como herramientas de navegación y gestión espacial, ideales para practicar senderismo y actividades de caminata al aire libre.

Entre los dispositivos Wearable recomendados para la práctica de senderismo, se tiene:

- **Robot Wearable:** consiste en un cinturón, de dos piezas para los muslos y otras

dos para las pantorrillas, unidas por cables a dos motores de 6.5 kg. que se llevan en la mochila, el dispositivo ayuda a soportar el peso de la mochila cuando la persona empieza a caminar (Panizzolo, 2016).

- **Whipper:** ofrece un seguimiento inteligente de su entrenamiento y rendimiento, utilizando sensores de movimiento avanzado y altímetro incluido, conectado a su Smartphone a través de una aplicación (Thewhipper, 2016).
- **UpRope:** el sistema funciona con sensores que son instalados en los muros de escalada, los escaladores tienen que llevar unas manillas. Las manillas poseen un sensor para medir el tiempo de escada y la altura de la escalada (Deportes, 2016).
- **El Garmin 810:** es un reloj deportivo para ciclistas, contiene mapas de base incorporados en la memoria. Vinculado con un Smartphone, rastreo en tiempo real, redes sociales, calcula la distancia, velocidad, ascenso y descenso y posición GPS. Tiene pantalla táctil de 2.6" (Garmin, 2016).

2.2 Sensores

2.2.1 Introducción

Carletti (2015) define a un sensor como un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Según Gardey (2010) un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia.

Las nuevas tecnologías están acelerando la revolución de los dispositivos conectados a sensores, capaces de procesar enormes cantidades de datos para ayudar a mejorar la calidad de vida y son más comunes en la vida diaria (Wexler, 2016).

Los investigadores hablan ya de una nueva generación de sensores, capaces de

organizarse a sí mismos y conectarse en red de manera inalámbrica, y que podrían generar una revolución similar a la que tuvo la aparición de Internet en los años 70 (Zhu, 2016).

Las áreas de aplicación de los sensores son: Industria automotriz, robótica, deportiva, salud, domótica, etc. Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a la toma de valores desde el sensor, una base de datos (SISCOE, 2015).

2.2.2 Sensores comunes en los Wearables

2.2.2.1 Sensores de orientación

La mayoría de teléfonos inteligentes tienen sensores para medir su orientación. Los sensores permiten estar al tanto, cuándo el terminal está en posición horizontal o vertical y decidir si la pantalla está encendida o apagar, y así cambiar la distribución de los elementos visuales. En los dispositivos Wearable la orientación no afecta la interfaz, y los cambios son analizados principalmente para determinar gestos como mover el brazo para mirar la hora, girar la muñeca para navegar entre notificaciones o activar el modo interactivo (Tecsos, 2016).

Hay tres tipos de sensores que se usan conjuntamente para medir la orientación:

- **El acelerómetro** este sensor mide las fuerzas de aceleración a las que es sometido el sensor. Las fuerzas de aceleración pueden ser estáticas como la gravedad o dinámicas como el movimiento lineal (Asri, 2014).

Un acelerómetro es un elemento sensor que mide la aceleración, así como el ángulo de inclinación, la rotación, la vibración, el choque y la gravedad. Para ofrecer funcionalidad en un dispositivo, el software del acelerómetro debe traducir los datos proporcionados por el sensor. Los dispositivos Wearables utilizan varios tipos de acelerómetros, siendo el elemento sensor y el software las principales diferencias entre ellos (Mcgeew, 2016).

- **El giroscopio** mide la velocidad angular relativa al sensor y no es sensible a la aceleración lineal (Tecsos, 2016).

Un giroscopio permite que un dispositivo mida y mantenga la orientación. Los sensores giroscópicos pueden monitorear y controlar posiciones del dispositivo como la orientación, la dirección, el movimiento angular y la rotación. Cuando se aplica a un dispositivo Wearable, un sensor giroscópico comúnmente lleva a cabo funciones de reconocimiento de gestos. Además, los giroscopios ayudan a determinar la posición y orientación del dispositivo (Mcgeew, 2016).

- **Los magnetómetros** es un sensor capaz de medir los campos magnéticos y pueden deducir el Azimut del dispositivo basado en el campo magnético de la tierra (polo Norte y polo Sur) haciendo las veces de una brújula o puede ser los campos magnéticos inducidos por corrientes eléctricas o por materiales ferromagnéticos de la tierra.

Esto, combinado con un receptor de GPS, ayuda a determinar dónde estás en un mapa y en qué dirección estás mirando (Mundo, 2015). Cada uno de los sensores indicados, por separado, puede sufrir de fluctuaciones, acumulación de errores y susceptibilidades, pero los tres en conjunto pueden dar un buen resultado con poca latencia y error.

2.2.2.2 Sensores Corporales

- **Pulsómetro** es un dispositivo de tipo electrónico que se emplea para medir y contar la frecuencia cardíaca, en tiempo real, que presenta una persona. También se lo puede denominar como monitor de ritmo cardíaco (PreMarathon, 2015).

Los deportistas usan el pulsómetro para mantener el régimen de pulsaciones dentro de los límites aconsejados. No todos los dispositivos son capaces de medir la frecuencia cardíaca y los que sí lo hacen mediante una banda pectoral o desde la muñeca con pulseras. Estas últimas tienen un funcionamiento similar al del pulsioxímetro, en el cual una luz infrarroja es capaz de detectar cada pulsación.

Cada sistema tiene sus pros y contras. Por ejemplo la banda pectoral tiene mayor precisión, pero por su tamaño utilizar únicamente una pulsera es mucho más cómodo (Cunado, 2015).

- **Podómetro** se define como “contador de pasos”. Su consumo es muy bajo ya que su implementación se hace a nivel de hardware. Los datos de este sensor son enviados periódicamente si alguna aplicación está habilitada para recibirlos. Se debe tener en cuenta que: Únicamente se cuentan los pasos cuando hay una aplicación registrada para recibir estas actualizaciones, no tiene un sistema de calibración, los datos de este sensor no son muy fiables debido a la alta frecuencia de cálculo que puede crear muchos falsos positivos, y el número de pasos contados se realiza desde el último reinicio (Tecos, 2016).
- **Sensor de temperatura corporal** este sensor nos indica la temperatura superficial de la piel. Ya que, no es la misma que mide un termómetro, sino inferior además localizada en la zona en la que se lleva el dispositivo colocado (cada parte del cuerpo puede tener temperaturas diferentes), por lo que sirve de referencia. Además, envía los registros de la temperatura obtenida por el sensor, vía Bluetooth hacia un teléfono celular inteligente (Aguín, 2015).

2.2.2.3 Sensores de Localización

- **GPS o Geo-localizador** el sistema de posicionamiento global permite, determinar la posición de un objeto, sea una cosa, una persona, en todo el mundo, con una precisión de centímetros en algunos casos. El sistema GPS funciona gracias a 24 satélites que saben la posición de un objeto por triangulación, es decir, usa más de un satélite para ubicar la posición de un objeto, de hecho, mínimo tres de ellos, los cuales reciben del teléfono celular o del dispositivo GPS, la señal que lo identifica, así como la hora. Con estas señales, el sistema calcula entonces el tiempo que tardan las señales en llegar y de este modo sabe la posición del objeto (Toloza, 2013).

2.2.2.4 Sensores Ambientales

- **Sensor de Luz ambiental** es un sensor que permite ver las variaciones lumínicas ambientales para ajustar el brillo y la temperatura de color de la imagen. Las aplicaciones están relacionadas con órdenes a la pantalla para que modifique su iluminación dependiendo de la luz externa que reciba. Así, el usuario podrá beneficiarse de un ajuste automático en la iluminación de la pantalla para poder verla adecuadamente en cada momento (Jimenez, 2016).
- **Altímetro** según CASIO (2015) los altímetros integrados en los relojes utilizan un sensor para medir la presión atmosférica y con este dato se estima la altura real. El sistema electrónico de estas funciones está reprogramado con valores ISA (Atmósfera Estándar Internacional). El modelo de la ISA divide la atmósfera en capas con distribuciones lineales de temperatura y se basa en condiciones promedio en latitudes medias. Estos valores definen la relación entre la altura, la presión atmosférica y la temperatura. Un altímetro puede medir de dos formas:
 - Una la altura relativa que indica la diferencia de altura entre dos lugares, por ejemplo existen pulseras de actividad cuenta las plantas (de edificios) que se suban usando un altímetro (de 3 metros en 3 metros). De esta forma, cada vez que se suba más de 3 metros de altura lo detectará y añadirá una planta más al contador (Fitbit, 2016).
 - También se puede medir la altura absoluta, que mide la altura real de un lugar respecto al nivel del mar por ejemplo la altura en la cumbre de una montaña medida desde el nivel del mar.
- **Barómetro** sirve para medir la presión atmosférica e indicar las tendencias climáticas. Si la presión atmosférica aumenta, lo más probable es que mejore el clima o el tiempo. Por el contrario, si la presión atmosférica desciende, lo más seguro es que el tiempo empeore (Garmin, Altímetro y Barómetro , 2015). La presión atmosférica se representa con exactitud de 1 hPA (hectopascal). Hay modelos

de señores que pueden medir y representar un intervalo entre 260 hPA y 1000 hPA. Si está correctamente calibrada, también puede utilizarse para determinar la altitud, lo que ayuda a los dispositivos GPS ubicarse más rápidamente y con mejor precisión (CASIO, 2015).

- **Sensor de incidencia de rayos UV y UC** este sensor mide la incidencia de rayos UV del sol por ejemplo, ofreciendo información instantánea del nivel de rayos ultravioleta e incluso indica el tiempo estimado que se puede exponer al sol antes de adquirir una quemadura debido a la falta de protección. Cabe recalcar que son muy escasos los dispositivos Wearables que poseen este tipo de sensor (Cascón, 2015).

2.3 Bluetooth.

2.3.1 Introducción

Bluetooth es un estándar global de comunicación inalámbrica conocido también como estándar IEEE 802.15.1, que define WPAN (Wireless Personal Area Network) o redes inalámbricas de área personal, permitiendo la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace de radiofrecuencia. Los principales objetivos que se pretendieron conseguir con esta norma fueron: facilitar la comunicación entre equipos móviles y fijos eliminando cables entre éstos, ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales, (Moreno, 2009).

Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son: Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos, eliminar cables y conectores entre éstos y ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Según Basto (2004), la tecnología Bluetooth comprende hardware, software y re-

querimientos de interoperabilidad, por lo que su desarrollo ha necesitado la participación de los principales fabricantes de los sectores de las telecomunicaciones y la informática, además, entre sus principales características, pueden nombrarse su robustez, baja complejidad, consumo de energía y costo.

2.3.2 Evolución del Bluetooth

El origen de la tecnología Bluetooth se remonta al año 1994 cuando la empresa Ericsson inició una investigación para crear una interfaz a través de ondas de radio, mínimo consumo de energía y bajo costo, para la interconexión entre sus teléfonos móviles y otros accesorios (dispositivo de manos libres), con la intención de eliminar los cables entre los dispositivos (Bala, 2004).

En Julio de 1999, el SIG (Grupo de Interés Especial) publicó la versión 1.0 del estándar 802.15.1, y las compañías 3Com, Agere, Microsoft y Motorola se sumaron al SIG, en el 2008 Bluetooth contaba con el miembro número 10000, (Haartsen, 2005).

En la tabla 1 se puede apreciar la evolución del estándar Bluetooth con sus principales características.

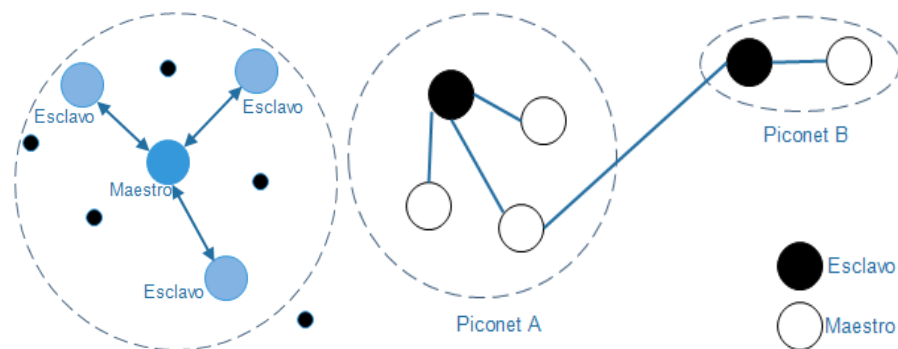
Según Powell (2016), Bluetooth 5.0 cuadruplica la velocidad de transmisiones, permitiendo transferir archivos a 100 Mbps. El alcance es de más de 200 metros, sin embargo los límites de distancia dependerán del hardware que se utilice. La nueva versión permitirá que la batería de los dispositivos conectados no se vea tan afectada.

Tabla 1:
Evolución del estándar Bluetooth.

Especificación	B 1.1	B 1.2	B 2.0	B 2.1	B 3.0	B 4.0
Taza de transmisión	721Kbit/s	721Kbit/s	2.1Kbit/s	3Mbit/s	24Mbit/s	25Mbit/s
Marcación por voz	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Compatible con versiones anteriores	-	Si	Si	Si	Si	Si
Emparejamiento seguro	-	Si	Si	Si	Si	Si
Protocolo 801.11	-	-	-	-	Si	Si
Rango PAN	-	-	10 m	10 m	10 m	100 m
Silenciar llamada	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Rellamada del ultimo numero	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Mejora	-	Si	Si	Si	Si	Si
Menor energía	-	-	Si	Si	Si	Si
Mayor seguridad	-	Si	Si	Si	Si	Si
Soporte NFC	-	-	Si	Si	Si	Si

2.3.3 Topología

Una de las más grandes ventajas en la que se demuestra la versatilidad del diseño del estándar IEEE 802.15.1, está en la fácil estructuración y arreglo de redes entre distintos dispositivos. La estructura que maneja esta tecnología está compuesta, en su forma más básica, por lo que se denomina una Piconet y en una estructura un poco más compleja a la que se denomina una Scatternet. Dos o más dispositivos Bluetooth que comparten el mismo canal de conexión conforman una Piconet. Esta se establece a través de enlaces punto - multipunto, en donde uno de los dispositivos cumple el rol de maestro mientras los demás son esclavos (ver figura 13a). Una piconet puede tener un máximo de siete esclavos activos. Si un equipo se encuentra dentro del radio de cobertura de otro, éstos pueden establecer conexión entre ellos, (Avila, 2007) .



(a) Piconet formada por un maestro y tres esclavo .

(b) Formación de una scatternet .

Figura 13: Topologías del estándar Bluetooth.

Sin embargo, sólo aquellas unidades que realmente quieran intercambiar información comparten un mismo canal creando la piconet. Este hecho permite que se creen varias Piconet en áreas de cobertura superpuestas. A un grupo de Piconets se le llama Scatternet. En la figura 13b, se puede apreciar la formación de una scatternet en la que participan la piconet A y B.

Cuanto más piconets se añaden a la scatternet, el rendimiento del sistema de salto

en frecuencia disminuye poco a poco, existiendo una reducción por término medio del 10%, por otra parte un dispositivo Bluetooth solo puede actuar como maestro en una sola piconet, debido a que una piconet está determinada por la sincronización con el reloj Bluetooth del dispositivo maestro. En cambio, este dispositivo sí podrá hacer el papel de esclavo en diversas piconets, (Lopez, 2008).

2.3.4 Tecnología Bluetooth en los Wearables

Los Wearables actualmente implementan Bluetooth versión 4.0, cuyo alcance teórico es de hasta 10 metros de distancia. Aunque no se necesita una línea de visión, los obstáculos pueden interferir en la experiencia y la conexión.

Android Wear detecta los cambios del estado de la conexión y gestiona así la cola de mensajes asegurándose la menor pérdida de información. En caso de desconexión con el smartphone el Wearable notifica en pantalla con un icono en forma de nube, lo que limita en gran medida las funcionalidades ya que también dejan de funcionar las órdenes por voz, incluidas las locales.

Los últimos lanzamientos ya incorporan Bluetooth versión 4.1, cuyas principales novedades son: Mejorada la convivencia con conexiones móviles 4G LTE, reconexión automática, mejorada la transferencia de datos y conexión simultánea. (Tecosos, 2016).

Tras mucho tiempo estancado, el estándar de corto alcance, el 16 de junio del 2016 el grupo Bluetooth SIG (2016) anuncia la llegada de la versión 5.0, ya que sin duda, es la mejor novedad en conectividad inalámbrica en años, ya que se beneficia de cuatro veces el alcance de cobertura, el doble de velocidad y con una mejora en la capacidad de la transferencia de datos del 800% respecto al actual estándar, Bluetooth 4.2. Es, por encima de todo, un lanzamiento que tendrá gran consecuencia en los dispositivos conectados del Internet de las Cosas (Sabán, 2016).

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1 Requerimiento del Diseño.

El proyecto de investigación consta de dos partes principales que son hardware y software, por lo cual es necesario definir los requerimientos mínimos necesarios para el hardware, así como los requerimientos funcionales y no funcionales del software.

El hardware es un dispositivo Wearable, el mismo que posee varios sensores para medir variables ambientales que sirven de ayuda al deportista. También se requiere un teléfono inteligente de gama media en donde se instala la aplicación móvil del dispositivo, la misma que muestra los datos monitoreados.

3.1.1 Hardware

Para el diseño e implementación del dispositivo Wearable debe contar con ciertos elementos que intervienen en su estructura para lograr obtener el funcionamiento que se propone. Por lo que se debe considerar los requisitos de la figura 14.

Sensor de Temperatura	Sensor de Humedad	Sensor de Presión Atmosférica	Sensor de índice UV
Dimensiones $\leq 20 \times 6 \times 4$ mm.	Dimensiones $\leq 25 \times 15 \times 7$ mm.	Dimensiones $\leq 40 \times 40 \times 2$ mm	Dimensiones $\leq 25 \times 20 \times 4$ mm
Sensibilidad de ± 0.5 mV. $^{\circ}$ C	Sensibilidad de $\pm 0.5^{\circ}$ C y $\pm 1\%$ RH	Sensibilidad 0.03hPa / 0.25m	Rango de medida ≥ 1
Salida analógica.	Salida Digital.	Rango medida de 0 - 5000m	Espectro IR 550nm-1000nm
Alimentación ≤ 5 V	Alimentación ≤ 5 V	Alimentación ≤ 5 V	Alimentación ≤ 5 V

Módulo de Memoria SD	Módulo de Comunicación	Alimentación
Dimensiones Length: $\leq 33 \times 50 \times 5 \text{mm}$ Compatible con Arduino. Alimentación de 5V. Micro SD (2GB, 4GB, 8GB)	Compatible con Arduino. Alimentación de 5V. Bluetooth V2.0. Protocolo de USART5V.	Batería tipo alcalina. Voltaje de 9V Corriente 50mA Tamaño 55x30x20mm

Figura 14: Requisitos de diseño.

3.1.2 Software

El software debe mostrar las variables monitoreadas a través de los sensores mencionados anteriormente, procesar la información de tal manera que se pueda determinar valores ambientales perjudiciales para la persona. Además, el programa permite enviar datos recolectados por los sensores y enviar el usuario registrado para que todos sean almacenados en una base de datos y así poder visualizar gráficamente.

Con el fin de lograr un correcto funcionamiento de la aplicación varios requerimientos deben ser analizados, desde el punto de vista de requerimientos **Funcionales** y **No funcionales**. Dentro del primer grupo se encuentran los requisitos que describen expresar la naturaleza del funcionamiento de la aplicación móvil y página WEB, mientras que en el segundo grupo están los requisitos de como debe ser el sistema en lugar de su comportamiento específico y pueden ser de algunos tipos como: rendimiento, interfaz, operación, recursos, comprobación, documentación, seguridad, calidad y mantenimiento.

Además, para realizar una mejor especificación de requisitos de software (ERS) se debe considerar algunas características definidas en el estándar IEEE 830-1998, en el que destaca que una buena ERS debe ser completa, consistente, inequívoca, correcta y priorizable.

En las tablas (Tablas 3 a Tabla 8) que se presentan a continuación se detallan los requisitos del sistema tanto funcionales como no funcionales. Para poder identificar a

cada requisito se ha utilizado la nomenclatura que se tiene en la Tabla 2.

Tabla 2:

Nomenclatura de los Tipos de Requisitos del Software.

Identificador	Tipo de Requisito
RF	Requisito Funcional.
RNFR	Requisito No Funcional de Rendimiento.
RNFI	Requisito No Funcional de Interfaz.
RNFO	Requisito No Funcional de Operación.
RNFC	Requisito No Funcional de Comprobación.
RNFU	Requisito No Funcional de Usabilidad.
RNFS	Requisito No Funcional de Soporte.

Además, cada tabla cuenta con un Identificador considerando la nomenclatura antes mencionada, el Título que es el nombre del requisito, y una breve descripción. También se ha considerado que cada requisito dependiendo del tipo tiene una *Prioridad*, *Estabilidad* y *Necesidad* alta o esencial, lo que significa que estos requisitos son importantes y que no puede ser modificado en el desarrollo del proyecto y estarán numeradas.

REQUISITOS FUNCIONALES

Tabla 3:

Requisitos Funcionales General de la Aplicación Móvil.

Identificador	Título	Descripción
RF01	Iniciar Aplicación	El usuario deberá iniciar la aplicación móvil
RF02	Registrar Usuario	El usuario debe registrarse en la plataforma.
RF03	Ingresar y Validar	Ingresar usuario y contraseña y valida el acceso.
RF04	Cerrar Aplicación	El sistema cierra la aplicación.

Tabla 4:

Requisitos Funcionales de Ejecución de la Aplicación Móvil.

Identificador	Título	Descripción
RF05	Emparejamiento del módulo Bluetooth	Permitir seleccionar el módulo bluetooth del dispositivo Wearable para emparejamiento con el teléfono inteligente.
RF06	Mostrar variables	La pantalla del teléfono inteligente muestra las variables sensadas en tiempo real.
RF07	Almacenar en base de datos	Permite enviar datos al servidor WEB si existe conexión a internet.
RF08	Almacenar en SD	Permite enviar datos a la SD cuando no exista conexión a internet.
RF09	Consultar información en el Menú	En la lista se muestra información, Geolocalización, y link de acceso a la página WEB.
RF010	Regresar del Menú	Regresara a la pantalla donde se muestra los valores monitoreados.
RF011	Lectura de SD	Permite leer la SD para enviar datos al servidor WEB.

Tabla 5:

Requisitos Funcionales General de la Aplicación WEB.

Identificador	Título	Descripción
RF01	Iniciar Página WEB	El usuario deberá iniciar la página WEB
RF02	Ingresar y Validar	Ingresar usuario y contraseña y se valida el acceso.

Tabla 6:

Requisitos Funcionales de Ejecución de la Aplicación WEB.

Identificador	Título	Descripción
RF03	Mostrar Graficas	La pantalla de la página WEB muestra las graficas de los datos recopilados por los sensores.
RF04	Seleccionar Graficas	Permite seleccionar las graficas deseadas.
RF05	Descargar Graficas	Permite descargar las graficas en los formatos PNG, JPEG ,PDF y SGV .

REQUISITOS NO FUNCIONALES

Tabla 7:

Requisitos No Funcionales de la Aplicación.

Identificador	Título	Descripción
RNFR01	Usuarios en Aplicación	Un wearable por usuario y por registro en la aplicación móvil.
RNFI01	Interfaz Gráfica	Desarrollo visual e interpretativo usando colores e imágenes.
RNFI02	Contenido del Menú	Debe mostrar instrucciones claras y precisas para no confundir al usuario.
RNFO01	Descarga e instalación de Aplicación	Podrá ser llevado a cabo a través de un archivo ejecutable. APK desde Dropbox.
RNFU01	Facilidad de Manejo	Se puede utilizar el sistema sin contar con conocimientos avanzados.
RNFS01	Plataforma, SO y Versiones	El sistema funciona en el Sistema Operativo Android en versiones superiores 4.4.4.

Tabla 8:

Requisitos No Funcionales de la Aplicación WEB.

Identificador	Título	Descripción
RNFR01	Usuarios en Aplicación	Un usuario por cada registro.
RNFI01	Interfaz Gráfica	Desarrollo visual e interpretativo usando colores e imágenes.
RNFI02	Contenido de información	Debe mostrar información claras y precisas para no confundir al usuario.
RNFU01	Facilidad de Manejo	Se puede utilizar el sistema sin contar con conocimientos avanzados.
RNFS01	Plataforma proyecto	La página WEB funciona en un navegador WEB.

3.1.2.1 Estructura del software.

Para el desarrollo del presente prototipo se ha utilizado el diagrama de bloques que se muestra en la figura 15.

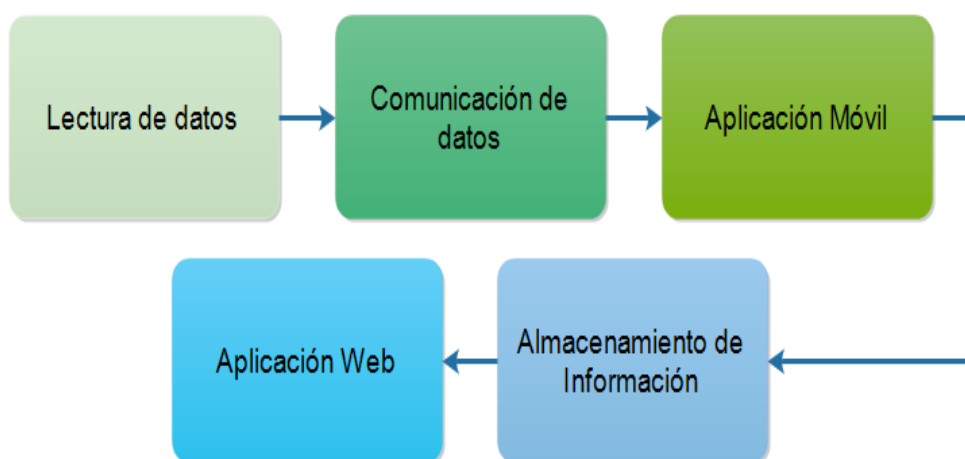


Figura 15: Diagrama de bloques del software.

- **Lectura de Datos.**

- Reconocer las librerías de los sensores y módulos de comunicación y almacenamiento.
- Se realizará la lectura de las señales analógicas y digitales proveniente de los sensores y convertir en unidades conocidas por el usuario.
- La lectura de datos se realizará de manera constante cada 4 segundos.
- Los datos serán preparados y analizados antes del envío.
- Los datos deberán ser puesto en formato serial para su respectivo envío.

- **Comunicación de datos desde Wearable.**

- Verificar conexión Bluetooth establecida entre dispositivo wearable y el teléfono inteligente.
- Abrir puertos de comunicación para envío de información serial.
- Llamar librerías de comunicación para establecer los parámetros del envío.
- Realizar envío de datos desde wearable hasta el teléfono inteligente.

- **Aplicación Móvil.**

- Comprobar conexión Bluetooth, de ser el caso se podrá activar el servicio Bluetooth para realizar la conexión.
- Recibir los datos enviados y mostrar en pantalla.
- Emitir una alerta o alarma preventiva en caso que fuera necesario según valores máximo o mínimos de las variables y la cual tendrá que avisar al usuario de las condiciones ambientales que lo rodea utilizando la pantalla del teléfono inteligente.
- Envío de información a la base de datos (BD) siempre que exista conexión a Internet).

- Cuando no exista conexión la aplicación enviara los datos a la Micro SD del dispositivo para su almacenamiento.

- **Almacenamiento de información en el servidor de base de datos.**

- Generar las tablas en la base de datos definiendo entidades y atributos.
- Definir usuario y contraseña de acceso a la base de datos.
- Archivos PHP para inicializar conexión entre la aplicacion móvil y la base de datos.
- Guardar los datos enviados desde la aplicación móvil, según atributos definidos en la base de datos.

- **Aplicación WEB.**

- Validar credenciales de acceso de usuario.
- Realizar la conexión de la base de datos con la aplicación móvil.
- Llamar las librerías gráficas para realizar reporte estadístico de los datos según la fecha y hora y código HTML para su posterior visualización.
- Seleccionar los datos de la base de datos para graficar la información.
- Mostrar la información.

3.2 Caracterización de los sensores

3.2.1 Temperatura

3.2.1.1 Temperatura Corporal

Un sensor de temperatura corporal al implementarse para un dispositivo Wearable, debe permitir, al menos, medir temperaturas entre 35°C y 42°C, ya que la temperatura normal del cuerpo humano, variará de acuerdo a la persona, el sexo, el consumo de

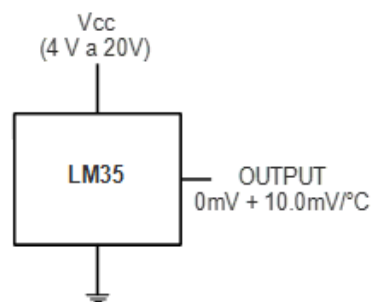
líquidos y alimentos, la edad, la actividad que realiza, el momento del día en que se encuentre.

Luego de una revisión entre opciones el requerimiento anterior lo satisface el sensor de temperatura LM35 en su configuración más básica (figura 16a), posee 3 pines (Tabla 9), dos de ellos son para alimentación y el tercero es la salida analógica que entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida la cual es de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

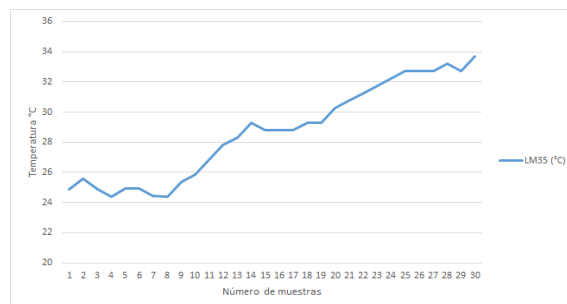
Tabla 9:

Descripción de los pines del sensor LM35.

Pin	Nombre	Tipo	Descripción
1	Vin	Energía	Fuente de alimentación. 5V
2	Output	Salida	La tensión de salida es linealmente proporcional a la temperatura Celsius.
3	Gnd	Energía	Voltaje de referencia.



(a) Pines del sensor LM35.



(b) Pruebas del sensor LM35.

Figura 16: Sensor DHT11.

Las características eléctricas del sensor se muestran en la tabla 10 para su funcionamiento recomendado. Las características mecánicas del sensor son:

- Las dimensiones son: 19.4 x 5.2 x 2.27mm.

- Peso neto de 5g.
- Es compatible con Arduino, o cualquier otro micro controlador.

Tabla 10:

Características eléctricas del sensor LM35.

Características	Valores mínimos	Valores máximos
Voltajes de operación	4V	30V
Rango de Operación	2°C	150°C
Exactitud	-0.8°C	+0.8°C
Consumo de corriente	-0.08°C	60uA
Bajo auto-calentamiento	-0.08°C	+0.08°C
Precisión calibrada	1°C	1.5°C
Salida lineal	10mV/°C	1500mV/°C
Impedancia	0.1 Ω con carga 1mA	

En la figura 16b se aprecia la respuesta del sensor con respecto a la temperatura ambiental exterior en un tiempo de aproximadamente de 10 minutos durante la mañana, los valores dependera del ambiente en que se encuentre el sensor.

3.2.1.2 Temperatura y Humedad Ambiental

Un sensor de temperatura y humedad ambiental para un dispositivo Wearable, debe permitir, al menos, medir temperaturas entre 0°C y 45°C y humedades entre 0% a 100% , si se desea temperaturas menores debe ser configurado por fábrica.

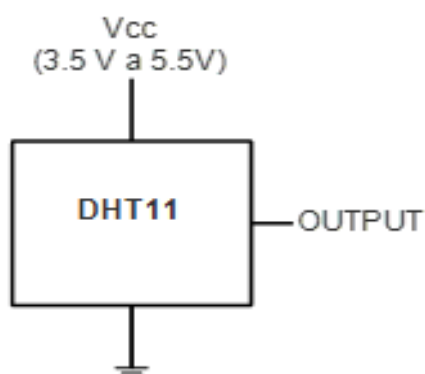
Para el desarrollo de este trabajo, se conto con dos alternativas de sensores DHT22 y DHT11, los dos son útiles para la implementación del dispositivo wearable ya que son compatibles con Arduino y tienen las librerías necesarias para su funcionamiento, sin embargo el sensor DHT22 necesita de un circuito externo para conectarse con Arduino.

Por esta razón se escogió el sensor DHT11, ya que el sensor tiene tres pines disponibles para conectar (figura 17a) y tiene integrado una resistencia pull-up (normalmente de 4,7-10 k Ω), la salida de señal digital entrega valores de humedad relativa y temperatura ambiental, el sensor dispone de alta fiabilidad y excelente estabilidad a largo plazo. En la tabla 11 se puede apreciar detalladamente los pines del sensor.

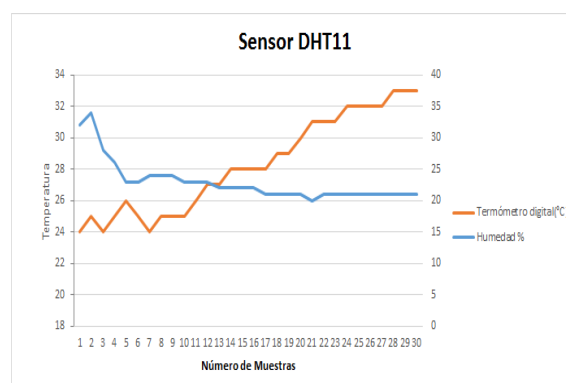
Tabla 11:

Descripción de los pines del sensor DHT11.

Pin	Nombre	Tipo	Descripción
1	Vin	Energía	Fuente de alimentación. 5V
2	Output	Salida	Dato.
3	Gnd	Energía	Voltaje de referencia.



(a) Pines del sensor DHT11 .



(b) Pruebas del sensor DHT11.

Figura 17: Sensor DHT11.

Las características eléctricas del sensor se pueden apreciar en la tabla 12 con valores mínimos y máximos en los que el sensor trabaja correctamente. Las características mecánicas del sensor son:

- El sensor incluye un sentido resistivo de componentes húmedos y dispositivos de medición de temperatura NTC.

- Modo de funcionamiento temperatura y/o humedad.
- Las dimensiones son: 23.5 x 12 x 5.5 mm.
- Peso neto de 8g.
- Compatible con un micro controlador de alto rendimiento 8 bits.

Tabla 12:

Características eléctricas del sensor LM35.

DHT11	Temperatura		Humedad	
Características	Valor Min	Valor Max	Valor Min	Valor Max
Rango de medición	0°C	50°C	0%	100%
Resolución	-0,2°C	0,2°C	-1%	1%
Precisión a 25°C	-2°C	2°C	-5°C	5%
Tiempo de respuesta	1s	10s	1s	6s
Estabilidad a largo plazo	-0.5	+0.5	-0.5	+0.5
Voltaje de operación	3.5V	-	-	5.5V
Consumo de corriente	60uA	-	-	0.3mA
Periodo de muestreo	-	2s	-	2s

En la figura 17b se aprecia la respuesta del sensor con respecto a las medidas de temperatura y humedad relativa ambiental externa en un tiempo de 10 minutos durante la mañana, los valores dependera del ambiente en que se encuentre el sensor.

3.2.2 Rayos ultravioletas

El Índice UV es un número linealmente relacionado con la intensidad de la luz solar que llega a la Tierra y se pondera de acuerdo con el Espectro de Acción Eritemal CIE como se muestra en la Figura 18b. Esta ponderación es una medida estandarizada de la respuesta de la piel humana a diferentes longitudes de onda de UVB a UVA. El

Índice UV ha sido estandarizado por la Organización Mundial de la Salud e incluye un nivel de exposición a los rayos UV del consumidor simplificado, como se muestra en la figura 19a.

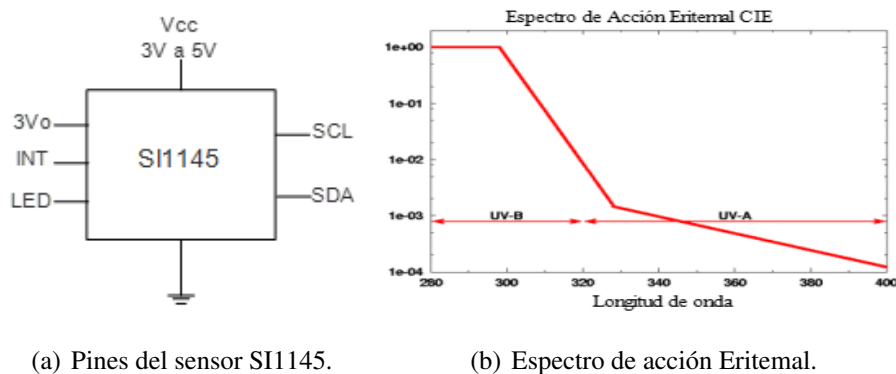


Figura 18: Sensor SI1145.

Fuente:(Datasheet del SI1145, 2012)

De la revisión de opciones en el mercado local el requerimiento anterior lo satisface el sensor SI1145, el mismo que incorpora un convertidor analógico a digital, fotodiodos integrados de alta sensibilidad e infrarrojos y procesador de señales digitales. El sensor tiene 7 pines (figura 18a), de los cuales solo se van a utilizar 4 pines, donde dos de ellos son para alimentarlo y los siguientes dos son: SCL y SDA que son el protocolo I2C. En la tabla 13 esta los pines del sensor.

Tabla 13:

Descripción de los pines del sensor SI1145.

Pin	Nombre	Tipo	Descripción
1	Vin	Energía	Alimentación de 5V
2	Gnd	Energía	Voltaje de referencia.
3	3Vo	Energía	Alimentación de 3.3V
6	SCL	Entrada	Dato I2C
7	SDA	Bidireccional	Ckock I2C

El SI1145 también puede funcionar bajo cubiertas de vidrio oscuro. El sensor puede medir tres variables con esta conexión las cuales son: niveles de los rayos ultravioletas, infrarrojo y la visibilidad. Las principales características eléctricas del sensor se muestran en la tabla 14. Las características mecánicas del sensor son:

- Dimensiones: 20mm x 18mm x 2mm.
- Peso neto: 1.4g.
- Suministrados en un paquete de QFN de 2 y 2 mm de 10 conductores.

Tabla 14:

Características eléctricas del sensor SI1145.

Características	Valor mínimo	Valor máximo	Centrado
Espectro IR	550nm	1000nm	800nm
Espectro luz visible	400nm	800nm	530nm
Voltaje de Operación	3V	5V	-
Temperatura de trabajo	-40°C	85°C	-

En la figura 19b se aprecia la respuesta del sensor con respecto a los rayos UV en un tiempo de 4 horas durante la mañana en un día despejado, los valores dependera del ambiente en que se encuentre el sensor.

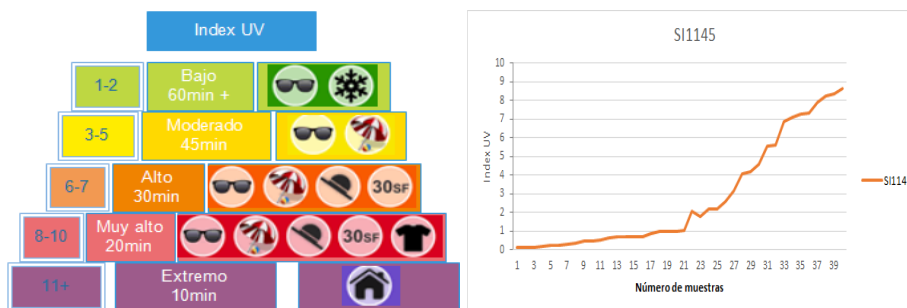


Figura 19: Sensor SI1145.

Los parámetros de calibración se documenta en la hoja de datos del sensor, SI1145. La típica respuesta calibrada del sensor UV frente al índice UV ideal calculado se muestra en la Figura 20 para una gran base de datos de espectros de luz solar de días nublados a soleados y en varios ángulos del sol / hora del día.

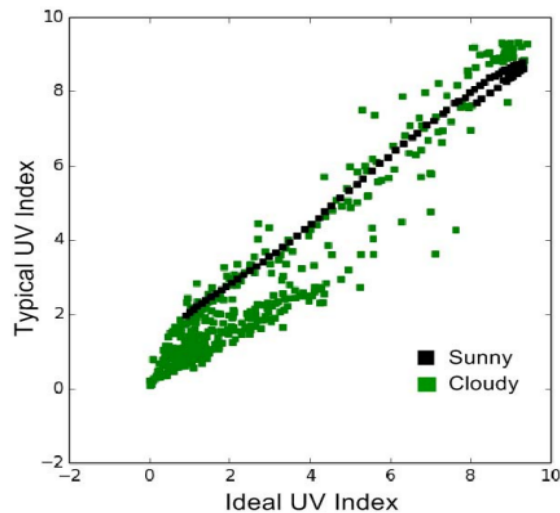


Figura 20: Respuesta del sensor UV calibrado vs Index ideal.

Fuente:(Datasheet del SI1145, 2012)

3.2.3 Presión atmosférica

El dispositivo Wearable, debe recopilar valores de presión atmosférica en alturas superiores a 3000m ya que es un dispositivo para deportistas que practican montañismo.

De la revisión de opciones en el mercado el requerimiento anterior lo satisface el sensor de presión barométrica BMP180 de alta precisión y linealidad. Cuenta con 5 pines (figura 21c), los cuales están detallados en la tabla 15, los últimos dos pines son usados para Interfaz Digital de 2 hilos I2C.

Tabla 15:

Descripción de los pines del sensor BMP180.

Pin	Nombre	Tipo	Descripción
1	Vin	Energía	Alimentación de 5V
2	Gnd	Energía	Voltaje de referencia.
3	3Vo	Energía	Alimentación de 3.3V
4	SCL	Entrada	Dato I2C
5	SDA	Bidireccional	Ckock I2C

En la tabla 16 se muestra las características eléctricas del sensor con valores máximos y mínimos y el voltaje de operación. Las características mecánicas del sensor son:

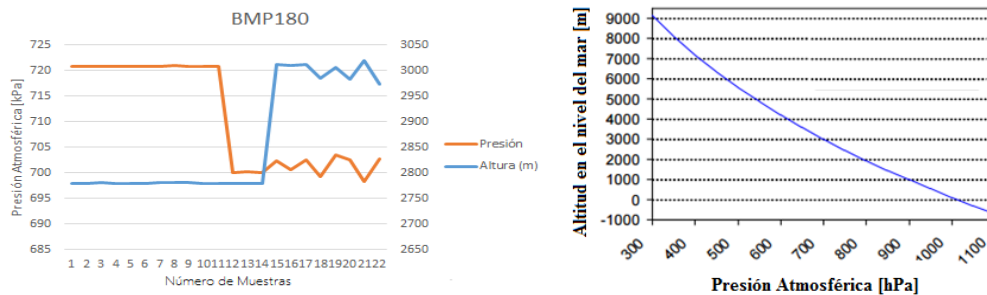
- Se ha diseñado para ser conectado directamente a un micro controlador a través de I2C y con una dirección de 0x77.
- Las dimensiones: 3.6mm x 3.8mm x 0.93mm

En la figura 21a se aprecia la respuesta del sensor con respecto a la presión atmosférica durante 20 minutos a diferente alturas para ver la variación de la presión, los valores dependera de la altura en que se encuentre el sensor.

Tabla 16:

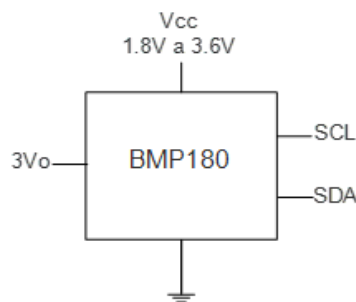
Características eléctricas del sensor BMP180.

Características	Valor Mínimo	Valor Máximo
Rango de medida	99,49kPa (150m)	48.62kPa(6000m)
Potencia	5 μ A a 1 muestra / seg	-
Ruido	0.02hPa (0.17m)	0.06hPa (0.5m)
Voltaje de operación	1.8V	3.6V
Rango de temperatura	-40°C	85°C



(a) Pruebas del Sensor BMP180.

(b) Altitud-Presión atmosférica.



(c) Pine del sensor BMP180.

Figura 21: Sensor BMP180.

La presión atmosférica disminuye con la altura, tal como muestra en la figura 21b. Cuanto más ascendemos menos aire queda encima y el peso del aire es menor. Un punto alto soporta menos presión que uno bajo, por consiguiente la presión atmosférica es inversamente proporcional a la altura.

3.3 Diseño de hardware

3.3.1 Módulo de sensores

El diseño del sistema de monitorización ambiental consta de hardware y software. En la figura 22, se muestra el diagrama general del dispositivo. De acuerdo a lo expuesto en el diagrama, el deportista recibirá informado de las condiciones ambientales a través de los sensores que tiene el dispositivo wearable. Estos sensores son conectados a un módulo Arduino, el mismo que recolectara los datos y enviara hacia Android.

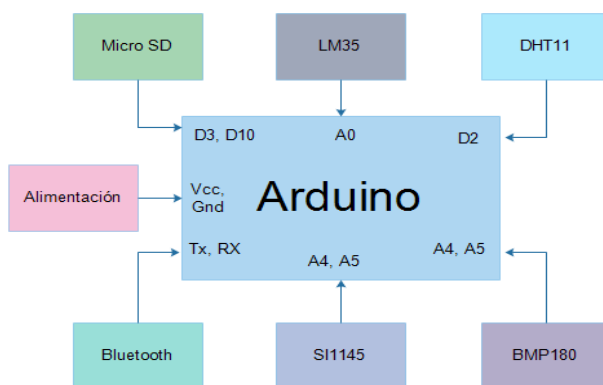


Figura 22: Diagrama de bloques del dispositivo wearable.

Módulo	Alimentacion	Referencia	Datos
LM35	Vcc1 (D3)	Gnd (Gnd)	Outout(A0)
DHT11			Outout(d2)
SI1145			SDA(A4) SCL(A5)
BMP180			SDA(A4) SCL(A5)
Bluetooth	Vcc2(5V)		Tx(Rx) Rx(Tx)
Micro SD			MISO(D12) MOSI(D11) SCK(D13) SC(D10)

Figura 23: Descripción de los pines de los sensores

El dispositivo Wearable cuenta con cuatro sensores: LM35 (temperatura corporal), DHT11 (humedad y temperatura), Bmp180 (presión atmosférica, altura y temperatura) y SI1145 (niveles de rayos ultravioletas, infrarrojo y visibilidad). Además también cuenta con: un módulo HC-05 (módulo Bluetooth), un adaptador de la Micro SD y posee alimentación por medio de una batería.

La conexión de los sensores y módulos se muestra en la figura 23. Como se puede observar los pines de Vcc1 de los sensores están conectados al D3 (3.3V) para que los sensores se enciendan al mismo tiempo para una sincronización. El Vcc2 de los módulos es conectado a 5V que nos ofrece la unidad de procesamiento.

3.3.1.1 Módulo de temperatura Corporal

El sensor que permite la adquisición de la temperatura corporal es el sensor LM35 dadas sus características eléctricas y mecánicas con una velocidad de reacción a las variables de temperatura. En la hoja de datos del sensor existen dos tipos de configuración para medir la temperatura, pero se utilizó la configuración básica para el desarrollo del prototipo ya que cumple los requerimientos del proyecto.

La ecuación que se utilizó para la transformación de mV a °C es la siguiente:

$$sensor = analogRead(A0)$$

$$celsius = (((sensor) * 5) / 1.024) / 10$$

$$celsius = celsius - 1.8$$

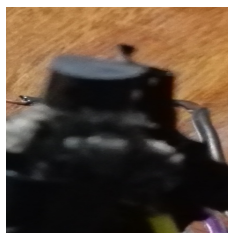


Figura 24: Conexión preliminar del sensor LM35.

En la figura 24 se muestra la conexión del sensor LM35, pero en un protoboard para realizar pruebas de funcionalidad y después pasar a un placa. Una vez guardado el dato en la variable (celsius) este dato se almacena en un vector para su posterior envío junto con los valores de las demás variables.

3.3.1.2 Módulo de temperatura Ambiental

Este sensor permite medir la temperatura ambiental y la humedad relativa al mismo tiempo, con dos variables estrechamente relacionadas. El sensor DHT11 tiene un salida digital conectado a Arduino (D2) y usando una librería llamada “Adafruit DHT Unified” para la toma de datos que se puede incluir directamente desde el software de Arduino. Inicializada la librería esta empieza a tomar los datos de forma directa para la cual se ha utilizado las siguientes líneas de código.

```
dht.begin()  
h = dht.readHumidity()  
t = dht.readTemperature()  
h = h + 18.1
```

Una vez guardado los datos en las variables correspondientes (h y t) estos se almacenan en un vector para su posterior envío, junto con los valores de las demás variables. La figura 25 muestra la conexión del sensor DHT11, donde se realizar las pruebas de funcionalidad y después pasar a la placa final.



Figura 25: Conexión del sensor DHT11.

3.3.1.3 Módulo de intensidad UV

Este sensor permite medir los niveles de rayos UV y los rayos infrarrojos, ya que estas variables no son visibles al ojo humano pero sin embargo son muy perjudiciales para el órgano más grande del ser humano que es la piel. Según el tipo de piel la persona puede exponerse más o menos tiempo a los rayos del sol.

El sensor SI1145 trabaja con el bus I2C y este bus asigna una dirección a cada módulo que se conecte a los pines A4 y A5 y la dirección de este sensor es de 0x60. Este sensor trabaja con una librería llamada “Adafruit SI1145 Library” que se puede incluir directamente desde el software de Arduino. Al inicializar la librería esta empieza a tomar los datos de forma directa para lo cual se utiliza el código a continuación:

```
uv.begin()  
visible = uv.readVisible()  
Ir = uv.readIR()  
UVindex = uv.readUV()
```

Una vez guardado los datos en las variables correspondientes (visible, Ir y UVindex) los datos se envían a un vector para su posterior envío junto con los valores de las demás variables. En la figura 26 se muestra la conexión del sensor SI1145, pero en un protoboard para realizar pruebas de funcionalidad y después pasar a un placa.



Figura 26: Conexión del sensor SI1145.

3.3.1.4 Módulo de presión atmosférica

Este sensor permite medir la presión atmosférica de gran importancia para los deportistas de montaña, ya que practican a grandes alturas, entonces si la altura aumenta la presión atmosférica disminuye, y esto puede causar malestar en el deportista como falta de oxígeno, desmayos hasta a muerte en el peor de los casos.

El sensor BMP180 es similar al sensor SI1145 ya que también trabaja con los pines A4 y A5, ósea el protocolo I2C y su dirección particular es 0x77, por lo tanto necesita para su funcionalidad la librería “Adafruit BMP180 Library”, la misma que debe incluir directamente desde el software de Arduino. Inicializada la librería esta empieza a tomar los datos con las siguientes instrucciones:

```
bmp085Calibration()  
temperature = bmp085GetTemperature(bmp085ReadUT())  
pressure = bmp085GetPressure(bmp085ReadUP())  
pressure = calcAltitude(pressure)
```

Una vez guardado los datos en las variables correspondientes (temperature, pressure y pressure) los datos se almacenan en un vector para su posterior envío como al igual que las otras variables descritas. La figura 27 se muestra la conexión del sensor BMP180.

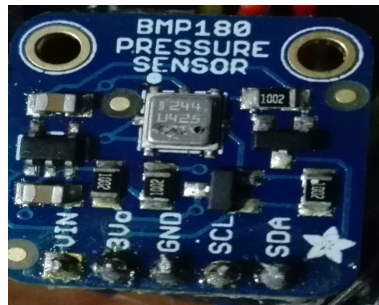


Figura 27: Conexión del sensor BMP180.

Cabe mencionar que el sensor DHT11 y el sensor BMP180 miden también la temperatura ambiental por esta razón se decidió aprovechar esta capacidad y se tomó los dos valores para calcular el promedio de temperatura entre los dos y obtener un valor de la temperatura ambiental promedio.

3.3.1.5 Módulo del dispositivo Bluetooth

Tabla 17:

Tres modos del dispositivo Bluetooth.

Modos	Led Indicativo
Esperando conexión	Parpadea constantemente.
Comandos AT	2 segundos encendido y 2 segundos apagado sucesivamente.
Conectado con otro dispositivo	Parpadea 2 veces y se mantiene apagado 3 segundos y vuelve a parpadear 2 veces.

El módulo HC-05 tiene 6 pines, sin embargo solo se uso 4 de ellos para la característica transmisión y recepción, las otras dos son para cambiar su configuración general de fábrica.

El modulo posee un LED indicativo, según su parpadeo el usuario puede identificar algunos de sus tres modos funcionamiento (tabla 17).

El módulo y el arduino se conecta por transmisión serial a la misma velocidad, para el caso de 38400bps. En la figura 28 se muestra la conexión del módulo Bluetooth, pero en un protoboard para realizar pruebas de funcionalidad y despues pasar a un placa.



Figura 28: Conexión del módulo Bluetooth.

3.3.1.6 Módulo de el Micro SD

Debido a la posibilidad de fallo en el envío de datos a la plataforma WEB, se ha pensado en el uso de un almacenamiento interno como un módulo de Micro SD para

memoria SD de 8GB, 16GB y 4GB. Este módulo se comunica con el Arduino a través del protocolo SPI de 4 hilos como se muestra en la figura 29.

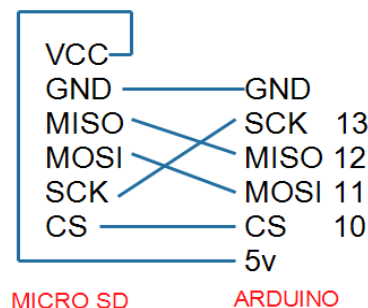


Figura 29: Pines de la SD.

Además trabaja con la librería “#include <SD.h>” la cual se escribe directamente en el encabezado del programa y se inicializa con el pin SC. En el programa se crea un archivo, el mismo que será abierto para almacenar los datos y luego cerrarla para que no exista ningún error, para ellos se inicia la syntaxis.

```
SD.begin(chipSelect)
myFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE)
myFile.close()
```

En la figura 30 se muestra la conexión del módulo Micro SD, en un protoboard para realizar pruebas de funcionalidad y luego pasar a un placa.



Figura 30: Conexión del módulo Micro SD.

3.3.1.7 Alimentación

El dispositivo tiene que ser portátil, por eso la alimentación está a cargo de una batería en el rango de 7V a 12V con un amperaje de 40mA en cada pin, con el fin de abastecerá los requerimientos energetico del dispositivo y los sensores.

Tabla 18:

Ventajas y desventajas de las baterías.

Baterías	Ventajas	Desventajas
Alcalina	Voltaje y corriente necesarios	No recargable
Tipo Lipo	Voltaje y corriente necesarios	Dimensiones grandes
Tipo NiMh	Regargable	No voltaje y corriente necesarios

Si se realiza un análisis desde el punto de vista de tamaño y durabilidad, la batería tipo Lipo es muy grande para la aplicación necesaria, la batería recargable tipo NiMh tiene una duración a voltaje máximo de apenas 5 minutos, sin embargo la batería Alcalina es de tamaño y peso reducido y puede proveer alimentación varios días, con un contra que una vez finalizada la vida útil la batería hay que reemplazarla (tabla 18).



Figura 31: Alimentación con batería de 9V.

En la figura 31 se muestra el funcionamiento del dispositivo en protoboard con la batería alcalina de 9V.

3.3.2 Arduino

El Arduino Nano 3.x es una placa pequeña basada en el ATmega328, la placa cuenta con un chip de conversión USB a serial, el mismo que sirva para conectar a la placa con la computadora personal (PC), una vez que la PC haya reconocido la placa y asignado un puerto COM se procede a grabar el programa que se realizó en el IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) de Arduino, también sirve para ver los datos enviados hacia la aplicación móvil.

Las características eléctricas de la placa Arduino Nano se muestran en la tabla 19 y las características mecánicas del Arduino son:

- Dimensiones: 45x18mm y peso de 5g.

En la figura 32 se muestra la distribución de los 14 pines del Arduino, los mismos puede utilizarse como una entrada/salida. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene resistencia de pull-up de 20-50 kOhms.

Cuenta con varios protocolos de comunicación serial: para recibir (RX) y transmitir (TX) datos en serie, un protocolo de comunicación SPI y el I2C: A4 (SDA) y A5 (SCL) que utiliza la librería Wire. Además el Arduino Nano tiene 8 entradas analógicas, los cuales proporcionan 10 bits de resolución. Una vez conocidos los pines del Arduino de forma general a continuación se visualiza el esquema del circuito del dispositivo Wearable como muestra la figura 33.

Tabla 19:

Características eléctricas del Arduino.

Características	Descripción
Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada	7-12 V
E / S digitales	14 pines(6 salida PWM)
Pines de entrada analógicos	8 pines
Corriente continua Pin I / O	40 mA
Memoria flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

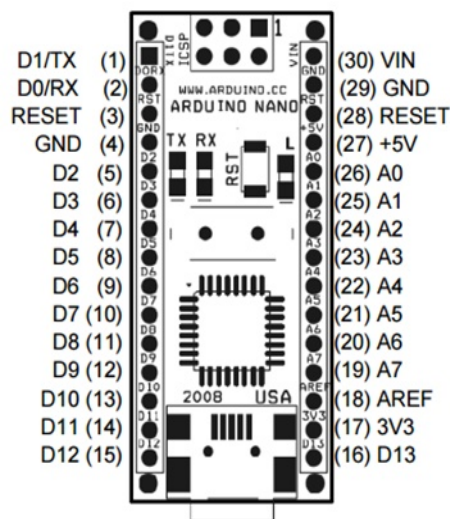


Figura 32: Esquema del Arduino Nano V3.0.

El dispositivo wearable posee dos diodos emisores de luz (LED) como indicadores. El diodo1 indica que los sensores están encendidos y el diodo 2 encendido indica que los datos se estan grabando en la SD y apagado indica que los datos se estan almacenado en la base de datos.

3.4 Diseño de software

El diseño de Software obedece a la necesidad de mantener monitoreado al medio ambiente de los deportistas de montañas e informar al deportista de las condiciones ambientales en las que se encuentra. Con estas consideraciones se ha diseñado una arquitectura de comunicación inalámbrica.

El proyecto consta de tres partes importantes que son programa en Arduino, programa en Android y Base de datos.

3.4.1 Diseño del programa Arduino

En la figura 34 se muestra el diagrama de flujo del programa realizado en el IDE de Arduino. Empezando al encender el dispositivo y así empezar el monitoreo.

El dispositivo se inicializa, para luego mantener una rutina constante de lectura, establecida con una frecuencia de 4 segundos. Cada uno de los valores leídos de los sensores y debidamente procesadas, en enviada por el módulo Bluetooth el mismo que está conectado al puerto serial del Arduino mediante un vector que contiene el valor de todos los sensores.

El programa tiene tres modos de funcionamiento pero esto depende de las órdenes enviadas por Android (aplicación móvil). Cuando la aplicación móvil envía 1 no existe conexión a internet y la información se almacena en la SD y el diodo azul esta encendido, la aplicación móvil envía 2 y existe conexión a internet (led azul apagado) y el ultimo modo es para leer la Micro SD y enviar la información a la base de datos.

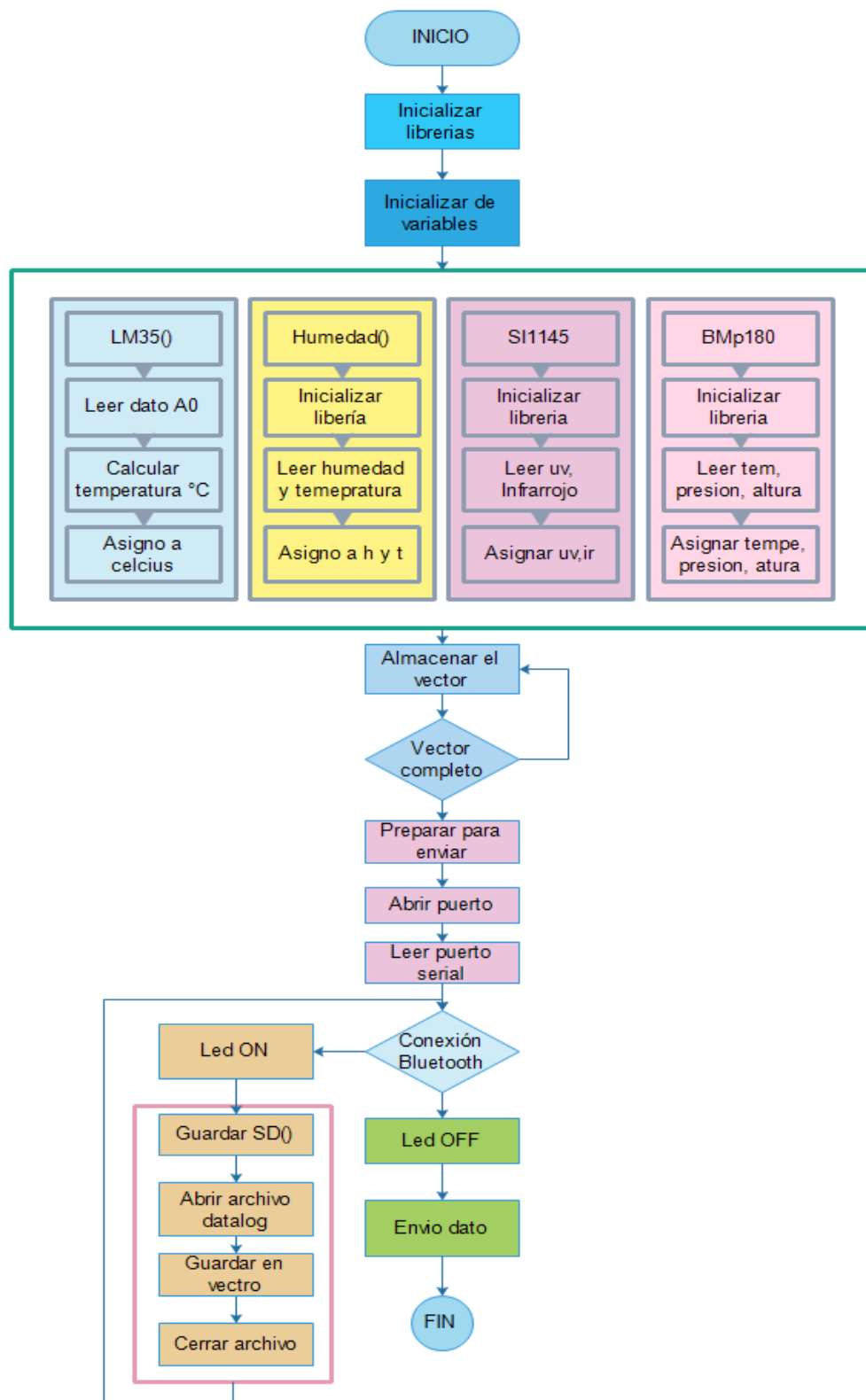


Figura 34: Diagrama de flujo del proyecto en Arduino.

3.4.2 Diseño de la aplicación móvil

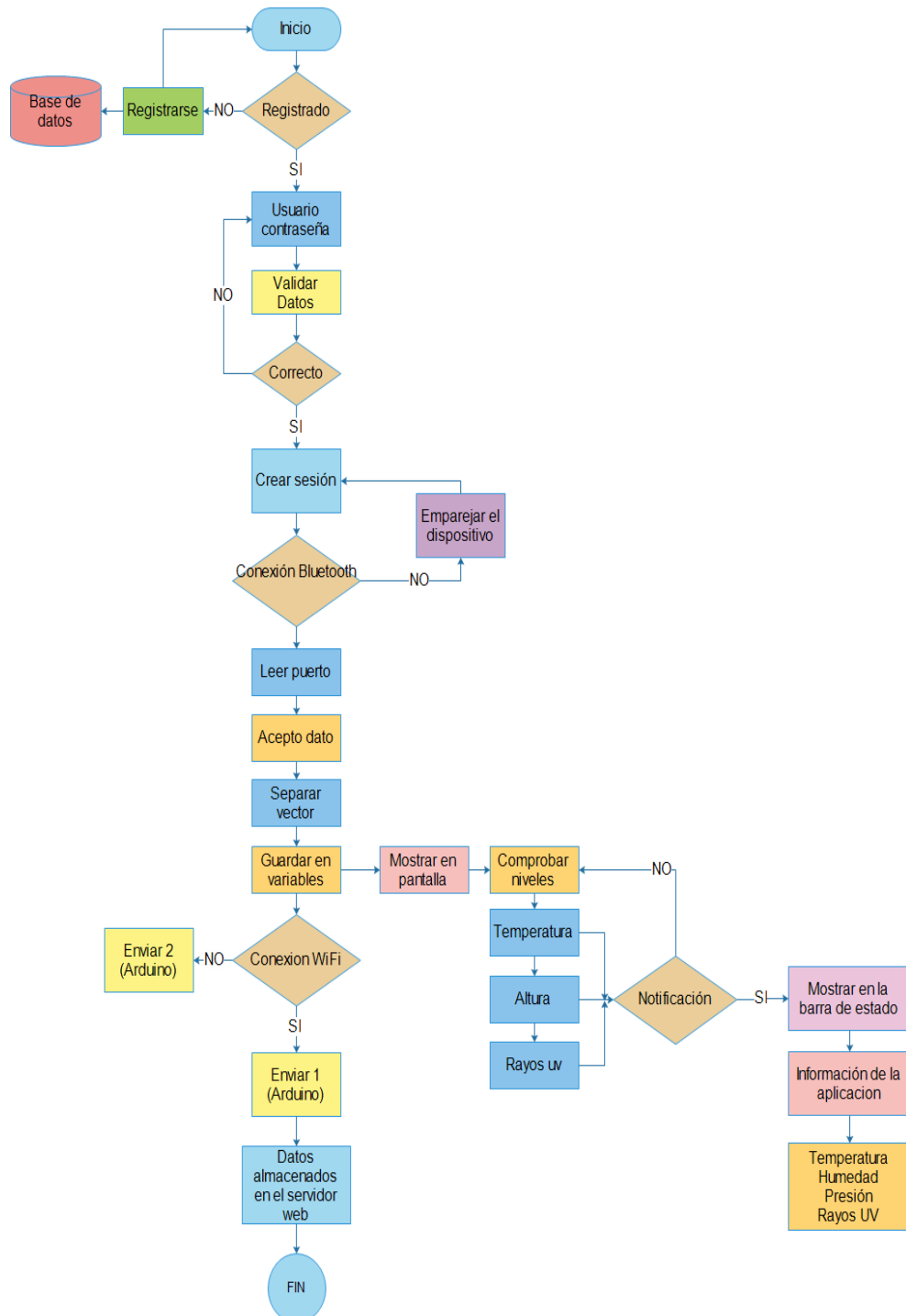


Figura 35: Diagrama de flujo del proyecto en Android.

El diagrama de flujo de la figura 35 muestra los procesos de la aplicación móvil.

Para un mejor comprensión de la aplicación móvil se plantea un bosquejo de lo que se pretende visualizar.



Figura 36: Diseño de la aplicación movil parte 1.

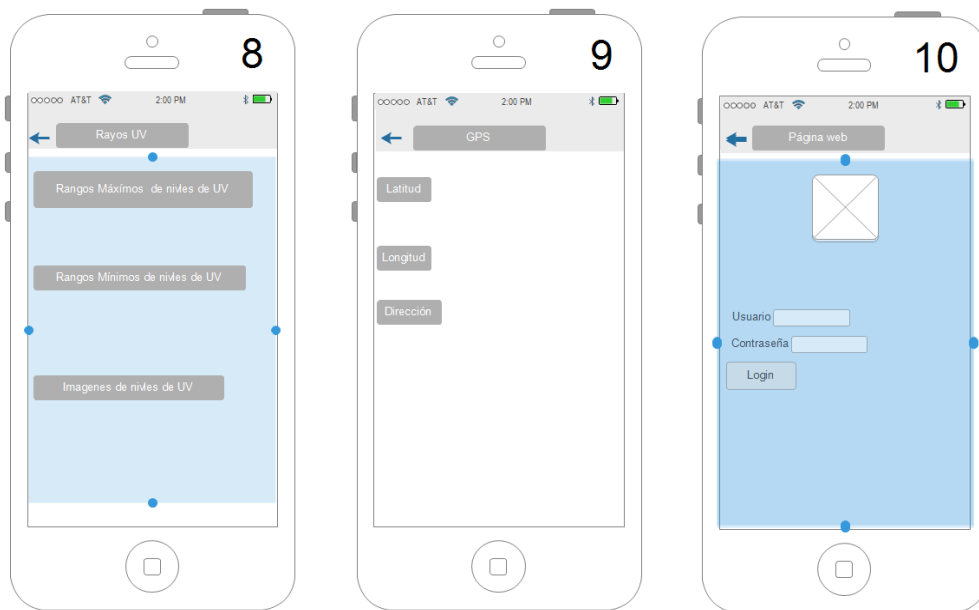


Figura 37: Diseño de la aplicación móvil parte 2.

3.4.3 Diseño de la Base de datos

El diseño de la base de datos que alberga la información del deportista, ha sido realizado empleando la herramienta PowerDesigner para definir las entidades, su relación y atributos.

Se parte del modelo conceptual de la base de datos mostrados en la figura 38, se ha generados dos entidades denominadas:

- **Usuarios:** Alberga la información del deportista como usuario y contraseña
- **Sensores:** Se almacenan toda la información de los datos recopilados por los sensores y también se guarda el usuario.

Cabe mencionar que en la figura 38 también se indican los atributos de cada entidad los que tiene una relación de uno a varios ya que por un usuario se tiene varia información (temperatura, humedad, presión y rayos UV).

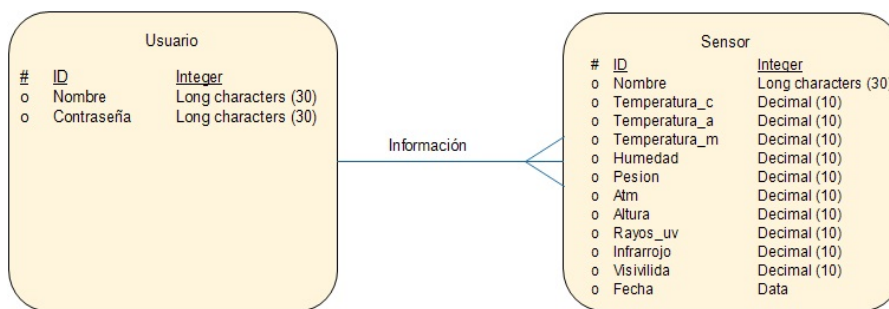


Figura 38: Base de datos diseñada (Modelo Conceptual).

En la figura39 se muestra el diseño de la página WEB de acuerdo a los requisitos funcionales y no funcionales de requerimientos de software .



Figura 39: Diseño de la aplicación móvil parte.

3.5 Protocolo de prueba

Para la validación del dispositivo y los sensores que lo involucran son necesarias las pruebas. Las pruebas a realizar son de carácter funcional y asegurar la confiabilidad de los sensores de dispositivo, también se pondrá a prueba la comunicación Bluetooth y el envío de los datos hacia la base de datos.

3.5.1 Prueba N°1 Calibración de los sensor de temperatura, humedad y presión atmosférica

Esta prueba pretende validar la calibración, exactitud y confiabilidad de los sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica ya que el dispositivo cuenta con estos tres tipos de sensores. Donde la herramienta de referencia es de una estación meteorológica llamada Ambient Weather.

Procedimiento:

- Encender el dispositivo wearable y el dispositivo de referencia.
- Realizar las mediciones de la temperatura ambiental, humedad relativa y presión atmosférica durante al menos 4 horas.
- Guardar los datos medidos de los tres sensores y del dispositivo de referencia en una tabla por cada variable.

Tabla 20:

Tabla para temperatura.

	Referencia °C	LM35 °C	BMP180 °C	Error %
Promedio	-	-	-	-

Tabla 21:

Tabla para humedad.

	Referencia	Humedad	Error %
Promedio	-	-	-

Tabla 22:

Tabla para presión.

	Referencia	Presión	Error%
Promedio	-	-	-

- Repetir la prueba al menos 3 veces para una mejor verificación .
- Analizar los datos obtenidos presente en la tabla.
- Graficar y concluir.

En la figura 40 se muestra el escenario de la prueba número 1.

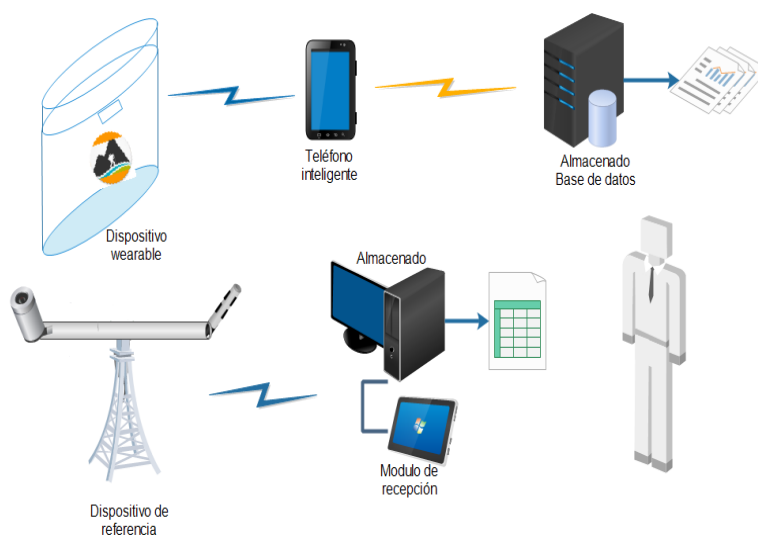


Figura 40: Escenario de la prueba.

3.5.2 Prueba N°2 Calibración sensor de Rayos UV

Esta prueba pretende validar la calibración, exactitud y confiabilidad del sensor de incidencia de rayos UV. Para esta prueba la herramienta de referencia usado será el solmaforo, la información que se la puede visualizar en la página WEB de Quito Ambiente.

Procedimiento:

- Colocar el dispositivo en un lugar estable.
- Inicializar la aplicación y encender el dispositivo wearable.
- Recolectar los datos en pantalla del dispositivo wearable por cuatro horas y registrar en una tabla
- Repetir el proceso al menos 2 veces, para validar resultados
- Realizar un análisis de los datos recolectados en la tabla y comprobarlos con la herramienta de referencia.

Tabla 23:

Tabla para rayos UV.

Valor Sensor	Referencia	SI1145	Error %
Promedio	-	-	-

- Graficar y concluir.

En la figura 41 se muestra el escenario de la prueba número 2.

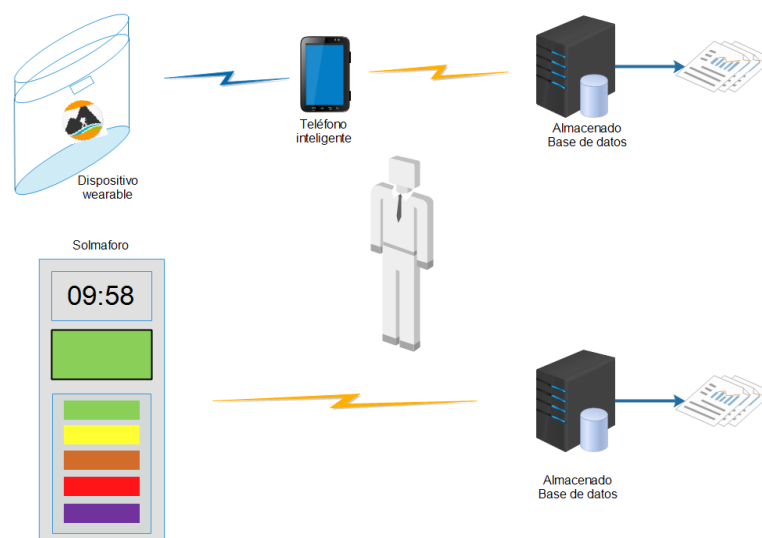


Figura 41: Escenario de la prueba.

3.5.3 Prueba N°3 Envío de datos vía Bluetooth

Esta prueba valida los datos enviados desde el dispositivo wearable a la aplicación móvil.

Procedimiento:

- Alimentar al dispositivo wearable con la PC a través de una conexión USB, habilitar la opción de monitor serial del IDE de Arduino.
- Inicializar la aplicación móvil y verificar envío de datos en pantalla.
- Grabar la pantalla de la PC y del teléfono inteligente durante 10 minutos.
- Realizar un análisis de los datos recolectados en la grabación.
- Analizar y concluir la prueba.

La figura 42 muestra el escenario de la prueba.

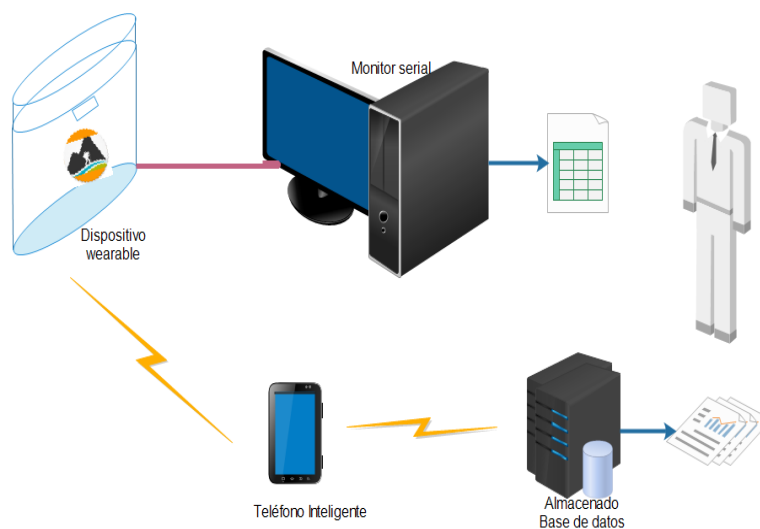


Figura 42: Escenario de la prueba.

3.5.4 Prueba N°4 Envío de datos a la base de datos

La prueba validará el almacenamiento de los datos enviados por la aplicación a la base de datos y el tiempo de retardo.

Procedimiento:

- Activar WiFi del teléfono inteligente y conectarse a una red disponible.
- Encender el dispositivo wearable e inicializar la aplicación móvil.
- Ingresar en la base de datos y verificar la tabla “sensor”.
- Recolectar datos durante 10 minutos.
- Analizar si existe tiempo de retardo de los datos .

La figura 43 muestra el escenario de la prueba.

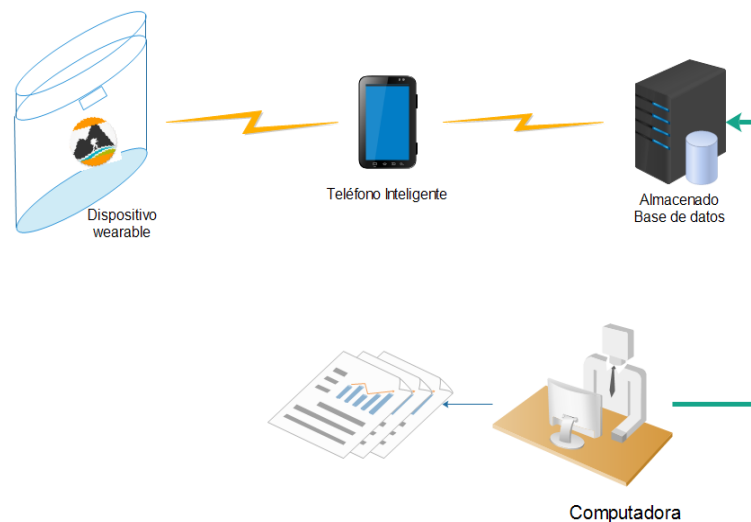


Figura 43: Escenario de la prueba.

3.5.5 Prueba N°5 Envío de datos a la micro SD

La prueba validará el almacenamiento de datos en la micro SD en el caso que no exista conexión a una red disponible.

Procedimiento:

- Formatear la micro SD para colocar en el dispositivo wearable.

3.5.6 Prueba N°6 Funcionalidad del proyecto

La prueba valida el proyecto en su totalidad.

Procedimiento:

- Elegir un escenario de prueba.
- Entregar el dispositivo al sujeto de prueba.
- Ajustar el dispositivo al sujeto, encender el dispositivo e inicializar la aplicación móvil.
- Recolectar datos en el escenario elegido.
- Verificar datos recolectados en el sistema WEB.
- Visualizar gráfico y comprobar funcionalidad.

En la figura 45 se muestra el escenario de la prueba

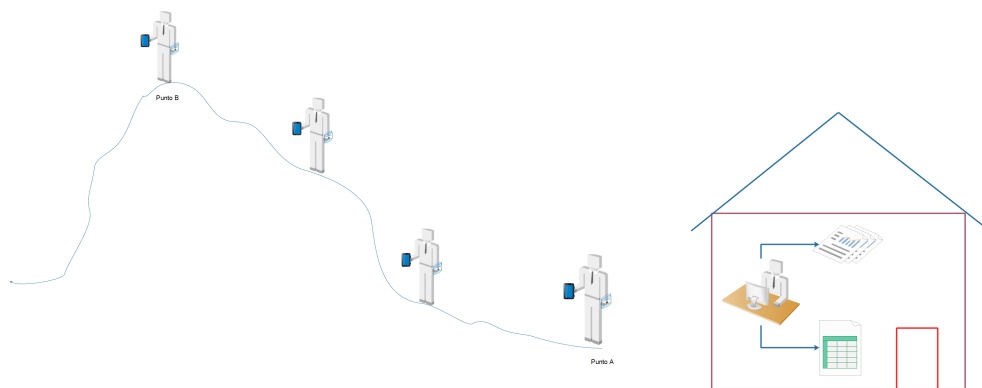


Figura 45: Escenario de la prueba.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

El dispositivo implementado consta de varios sensores, los cuales en conjunto con el software de la aplicación móvil deben notificar a la persona sobre cambios ambientales bruscos que podrían llegar a ser adversos para su salud.

4.1 Evaluación de hardware

Para evaluar el sistema, en aspectos de Hardware es necesario realizar pruebas a los sensores incorporados y con los resultados realizar un análisis para determinar la exactitud de cada sensor, y el grado de confiabilidad de los datos. Para evaluar los sensores se utilizaron las pruebas definidas en el Capítulo III.

4.1.1 Análisis de resultados por pruebas

4.1.1.1 Análisis sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica.

Se realizó en un entorno controlado, en un espacio cerrado, durante 4 horas con afluencia de personas.

TEMPERATURA

Se empezó analizando los resultados de temperatura ambiental obtenidos y así validar los datos que arroja el dispositivo wearable.

La figura 46 muestra las gráficas iniciales de temperatura ambiental.

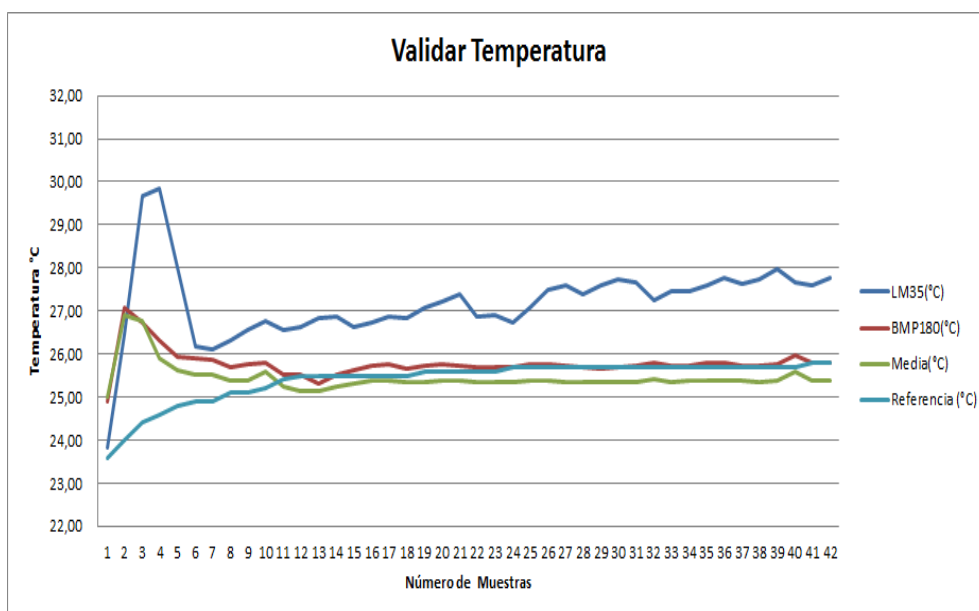


Figura 46: Evolución de la salida de los sensores de temperatura

La tabla 25 muestra los valores promedio de temperatura ambiental obtenidos en 42 muestras durante 4 horas¹.

Tabla 25:

Valores promedios de temperatura ambiental.

-	Referencia	LM35	Error	BMP180	Error	T Media	Error
Promedio	25.40°C	27.20°C	7.06%	25,78°C	1.46%	25,45°C	0.17%

Como se puede apreciar el LM35 tiene 1.8°C de diferencia con el valor de referencia, lo que implica en 7,06% de error, mientras BMP180 tiene solo 0.38°C de

¹dispositivo de referencia Ambient Weather WS-2099 de una estación meteorológica, entrega mediciones cada 5 minutos, obteniendo 42 muestras en 4 horas

diferencia lo que implica 1.46%.

La temperatura media entre el BMP180 y DHT11 es de 25,45°C , la diferencia con el valor de referencia es de 0.05°C por lo tanto tiene un error de 0.17% convirtiéndose en el valor más exacto que arroja el dispositivo wearable.

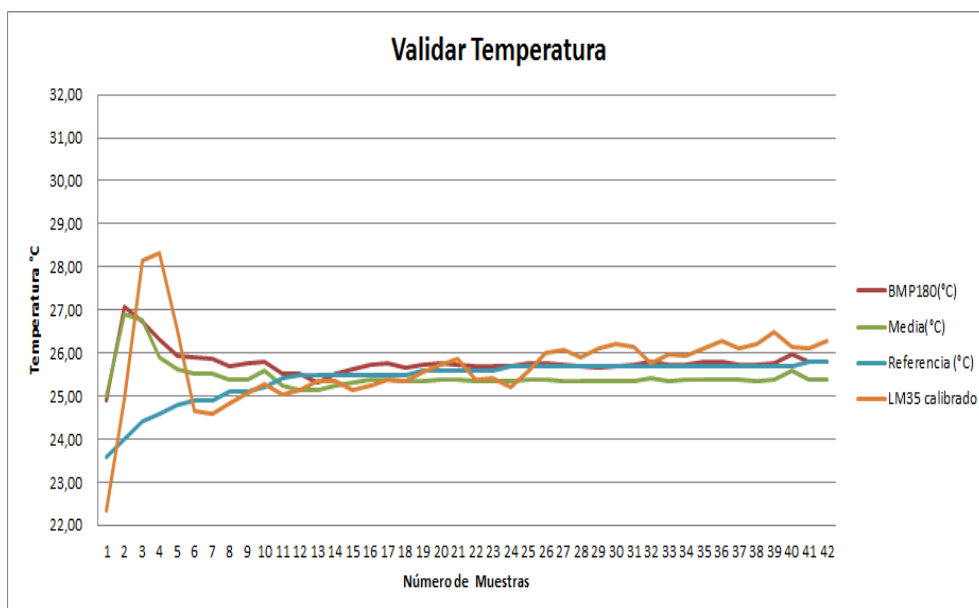


Figura 47: Evolución de la salida de los sensores de temperatura ajustados

Tabla 26:

Valores promedios de temperatura ambiental ajustados.

Sensor	Temperatura Promedio	Error
Referencia	25.40°C	0%
LM35	25.70°C	1.15%
BMP180	25.78°C	1.46%
Media	25.45°C	0.17%

El error del sensor LM35 puede considerarse alto, sin embargo esto puede deberse a sus características y que posiblemente se encuentra midiendo el calor del circuito por lo que se consideró realizar un ajuste de 1.8°C mediante software, con el fin de ajustar

el valor del sensor que este calibrado. Una vez realizado la calibración del sensor, la figura 47 muestra los resultados, donde se obtienen una mejor aproximación al valor de referencia reduciendo su error a 1.15% (tabla 26).

HUMEDAD

La siguiente variable para analizar es la humedad relativa y así validar los datos que se obtiene del dispositivo wearable con la herramienta de medición de referencia.

La figura 48 muestra las graficas de los valores de humedad relativa obtenidos con las 42 muestras como se realizó anteriormente.

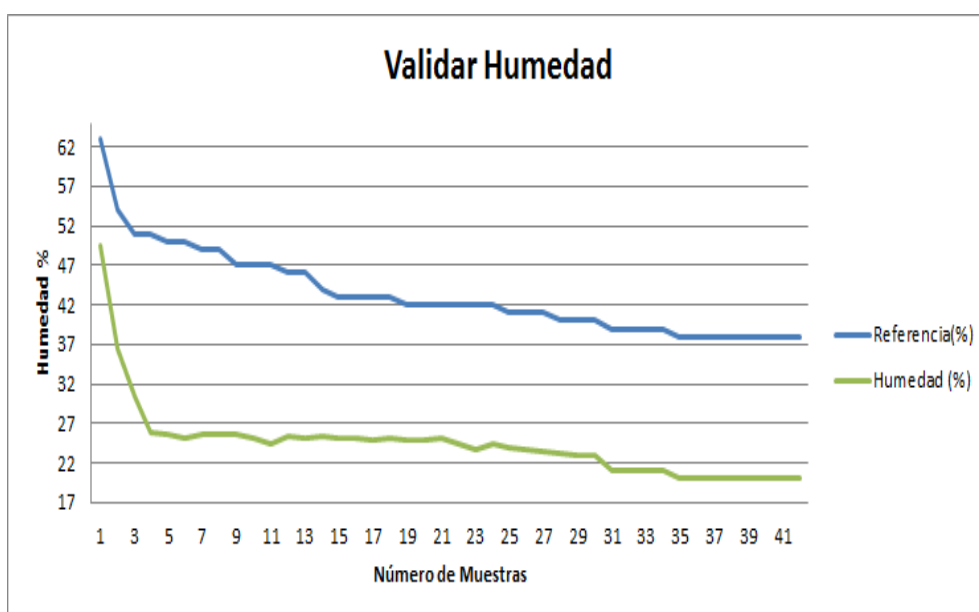


Figura 48: Evolución de la salida de los sensores de humedad

En la tabla 27 se puede apreciar los valores promedio de humedad relativa obtenidos en base a las muestras adquiridas.

Tabla 27:

Valores promedios de humedad.

-	Referencia	DHT11	Error%
Promedio %	43.36	25.26	41.74

El valor obtenido por el sensor DHT11 es de 25.26% humedad relativa, pero el valor de referencia es de 43.36%, causando un error de 41.74%. Como se puede observar en la tabla 27 hay una variación de 18.1% de humedad relativa entre el valor de referencia y el medido. Sin embargo la tendencia de la forma de la señal obtenida en el tiempo corresponde con la de referencia, por lo cual se puede ajustar los valores de las muestras por software para ajustar la medición del dispositivo wearable. Una vez realizado la calibración del sensor, en la figura 49 se puede apreciar las nuevas graficas obtenidas.

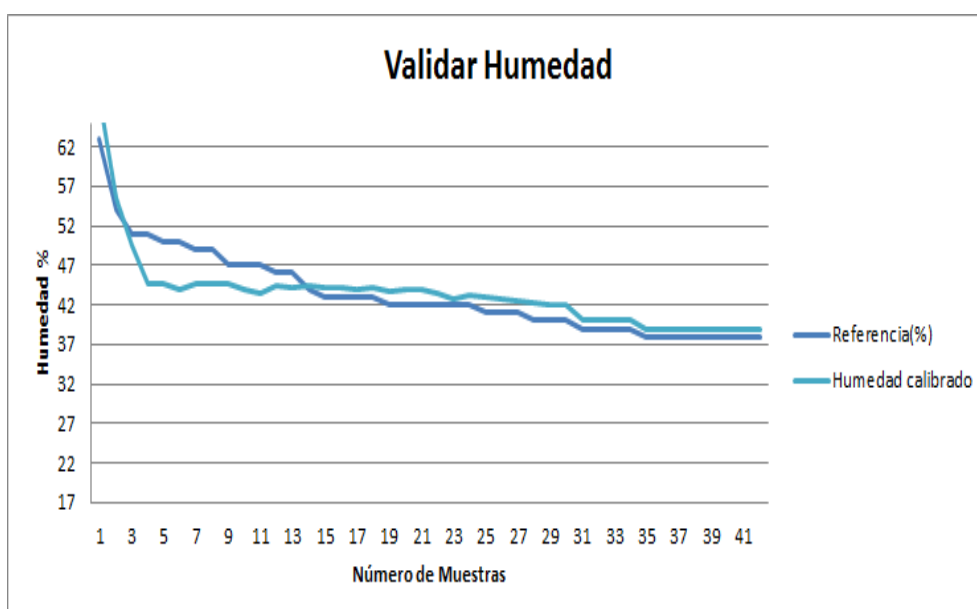


Figura 49: Evolución de la salida de los sensores de humedad ajustado

La tabla 28 muestra los datos ajustados que ahora poseen un error de 0.20% con un valor promedio de 43.44% humedad relativa. Por lo tanto la confiabilidad del dispositivo wearable mejora a 99.8% en relación al valor de humedad relativa de referencia.

Tabla 28:

Valores de humedad calibrado.

-	Referencia	DHT11	Error
Promedio %	43.36%	43.44%	0.20%

Cabe mencionar que la temperatura ambiental tiene una relación inversamente proporcional con la humedad relativa, por lo tanto el porcentaje respecto al punto de saturación de humedad representa el 100% de la misma y aumenta o disminuye un 25% con cada 11°C de variación de temperatura. Por ejemplo, una humedad relativa del 50% a 20 °C subiría hasta el 75% dependiendo del lugar, hora, etc (Fillat, 2008).

En la gráfica 50 se puede apreciar la relación entre la temperatura y humedad. El valor de temperatura es de 25.45°C y el valor de la humedad es de 43.44% (tabla 29), por lo tanto se podría decir que mientras la temperatura aumenta la humedad relativa empieza a descender, comprobando así que las dos variables son inversamente proporcionales .

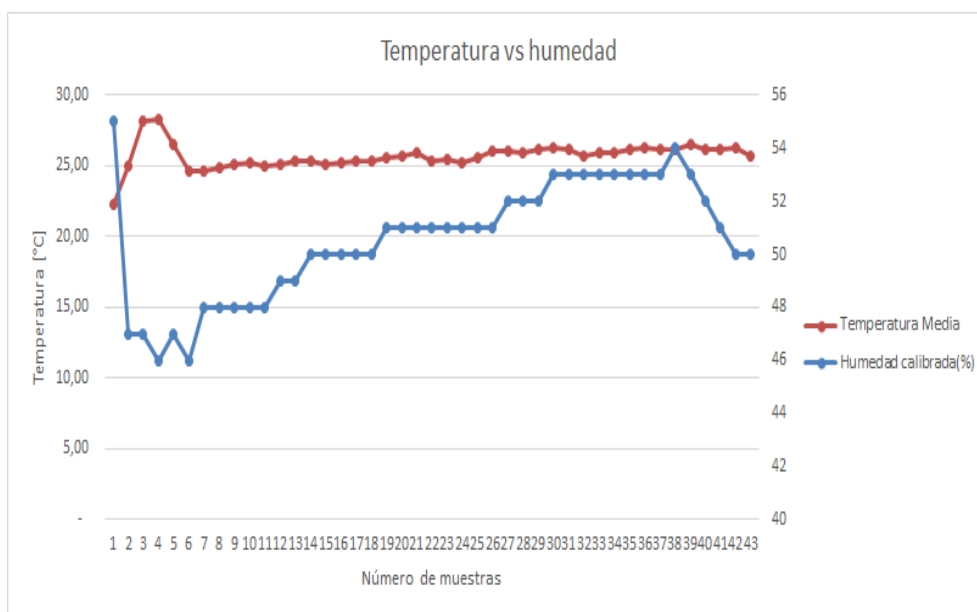


Figura 50: Evolución de la salida de los sensores de humedad ajustado

Tabla 29:

Valores de temperatura y humedad.

-	Temperatura	Humedad
Promedio %	25.45%	43.44%

Presión Atmosférica

La siguiente variable para analizar es la presión atmosférica y así validar los datos que se obtiene del dispositivo wearable.

La figura 51 muestra las graficas de los valores de presión atmosférica obtenidos de las 42 muestras. Las dos señales tienen una misma tendencia, pero se puede apreciar que la señal del dispositivo de referencia tiene más irregularidades que la señal del dispositivo wearable, esto puede deberse a los valores promedios entregados cada 5 minutos por el dispositivo de referencia.

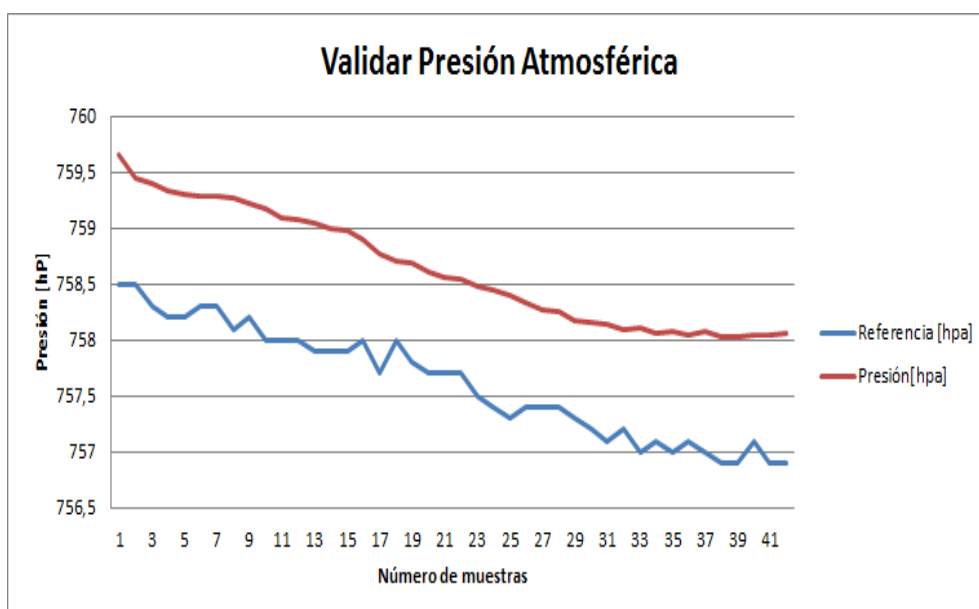


Figura 51: Evolución de la salida de los sensores de presión atmosférica.

Tabla 30:

Valores promedios de presión atmosférica.

-	Referencia	BMP180	Error%
Promedio hPa	757,62	758,63	0.13

La tabla 30 muestra los valores promedios de presión atmosférica. Ya que el error es bajo alrededor de 0.13% se tiene una confiabilidad de 99.87%. Cabe recalcar este

sensor no necesito de ajustes por software.

Por otro lado el dispositivo wearable, también tiene la capacidad de medir la altura, sin embargo el dispositivo de referencia no tiene esta característica, por lo que se uso una fórmula teorica de (1) para calcular la altura aproximadamente en funcion de la presión atmosférica medida.

$$Altura = (-8005) * Ln\left(\frac{Presin[hPa]}{100}\right) \quad (1)$$

En función de lo anterior la figura 52 muestra los valores calculados de altura y los valores obtenidos por el dispositivo wearable.

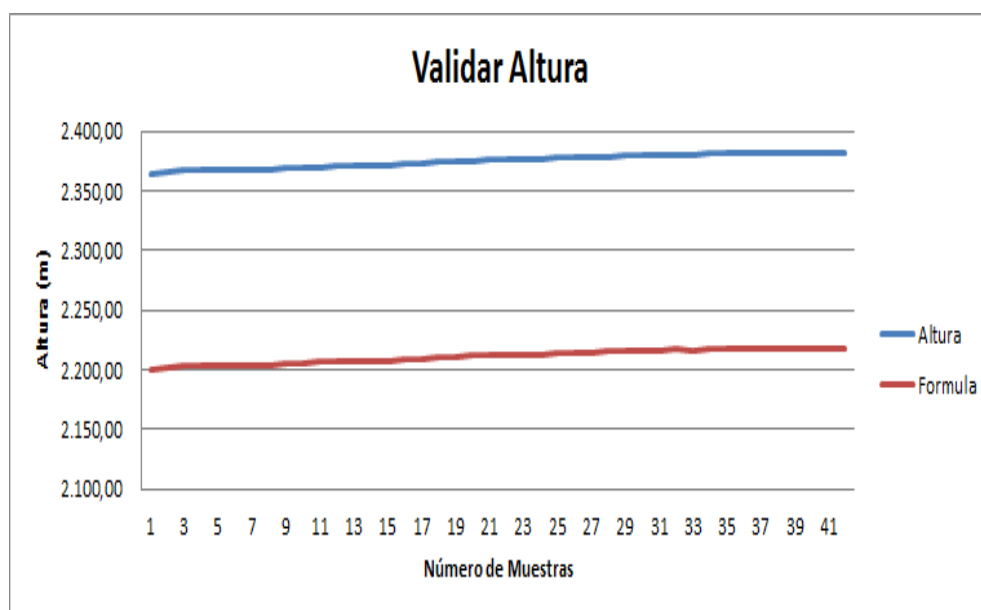


Figura 52: Evolución de la altura.

Comparando los valores promedio el error es de 7.40% es decir aproximadamente de 160m, por lo que se podría decir que es alto, pero ya que se esta tomando un valor teorico calculado esta dentro de un error que se puede considerar aceptable, si se compara con otras medidas disponibles en la WEB, donde su error varia entre 115-185m (elevationmap.net).

Tabla 31:

Valores promedios de Altura.

-	Altura referencia	BMP180	Error%
Promedio m	2211.27	2374.95	7.40

Cuando se habla de altura y presión atmosférica se está hablando de una función decreciente en todo su dominio ya que, a medida que aumenta la altitud, disminuye la presión atmosférica, sin embargo esta disminución no es uniforme .

Esto se puede apreciar claramente en un intervalo de solo 20 metros aproximadamente como se observa en la figura 53, entonces para rangos de altura superiores esta tendencia aumentará.

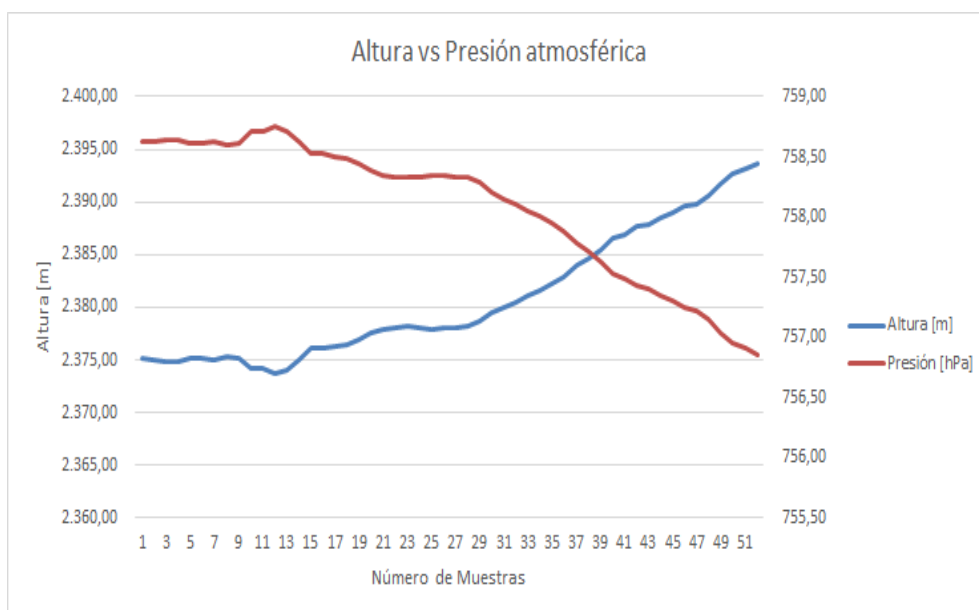


Figura 53: Evolución de la altura vs presión atmosférica absoluta.

4.1.1.2 Resultados del análisis del sensor de rayos Ultravioletas

La prueba para verificar la medición de la incidencia de rayos UV, se realizó en un ambiente abierto de 11 am a 2:30 pm durante un día nublado. Como datos de referencia

se tomaron los valores entregados por el solmáforo de la Secretaria Ambiental del Municipio de Quito ubicado en tres diferentes parques de la ciudad.

En la figura 54 se puede apreciar que la gráfica de los datos del somáforo y la gráfica del sensor tienen la misma forma, sin embargo esto dependerá mucho del lugar y la sombra presente donde se encuentre la persona pudiendo llegar a variar.

En base a la figura 19a los niveles de UV se representan con números y color que se vio en la figura 19a, Por lo tanto el rango 1 a 2 se lo representa con el color verde indicando que la radiación es baja y la protección que se debe tomar es colocarse un bloqueador solar, gafas o gorra y con un tiempo de exposición de 60 minutos aproximadamente ya que dependerá del tono de piel. Sin embargo el rango de 6 a 7 se lo representa con el color naranja e indica una radiación alta y se recomienda la protección con gorras, gafas de sol, bloqueador y ropa con mangas largas, y el tiempo de exposición es de 30 minutos aproximadamente.

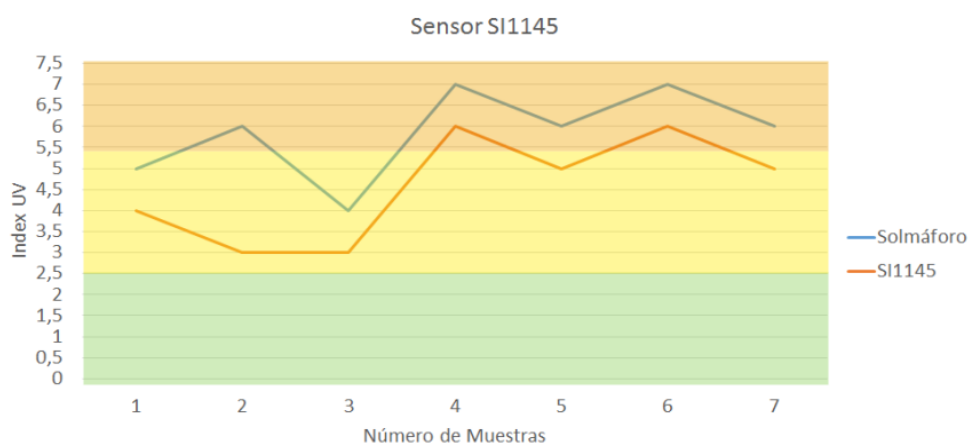


Figura 54: Evolución del index UV.

La tabla 32 muestra se observa los datos promedio de las medidas de la herramienta de referencia, sensores SI1145 y el error. El error de dispositivo es de alrededor de 21.95%, pero como se mencionó anteriormente esto va a depender del sitio y los rangos.

El valor promedio del solmáforo es de 5.86 con una aproximación de 6 y en la

escala de UV es el color amarillo mientras que el valor del dispositivo es de 4.57 con una aproximación de 5 y su escala es el color naranja.

Tabla 32:

Valores promedios del index UV.

	Solmaforo	SI1145	Error %
Promedio	5.85	4.57	21.95

Los rayos UV son capaces de causar graves daños a la salud (quemaduras en la piel, envejecimiento prematuro, problemas en la retina hasta un cáncer. Todo sitio que recibe sol, está expuesto a los rayos UV, pero en Quito los rayos solares caen de forma perpendicular ya que está ubicado en la línea equinoccial y existe un mayor riesgo para la población.

4.2 Evaluación de software

Para evaluar el sistema, en aspectos de Software es necesario realizar pruebas de conectividad entre el dispositivo wearable, la aplicación móvil y el servidor WEB para realizar un análisis con los resultados obtenidos y determinar la confiabilidad del software del proyecto.

4.2.1 Análisis de resultados por pruebas

4.2.1.1 Conexión bluetooth

Uno de los aspectos más importantes del proyecto es la comunicación entre el dispositivo wearable y el teléfono inteligente, por ello es necesario validar la comunicación Bluetooth establecida entre ellos.

```

A #26.45@25.40@25.20@24.00@75916.00@0.75@2369.42@0.03@274.00@262.00@~
B #25.96@25.40@25.20@26.00@75913.00@0.75@2369.73@0.04@278.00@265.00@~
C #30.27@25.40@25.20@25.00@75918.00@0.75@2369.21@0.04@279.00@264.00@~
D #28.81@25.40@24.70@24.00@75912.00@0.75@2369.84@0.04@280.00@265.00@~
E #28.81@25.40@25.20@23.00@75915.00@0.75@2369.52@0.03@277.00@263.00@~
F #28.32@25.40@25.20@25.00@75914.00@0.75@2369.63@0.04@283.00@265.00@~

```

(a) Datos monitor serial.

Corporal: 30.27°C Ambiental: 25.40°C Media: 25.20°C C	Corporal: 28.81°C Ambiental: 25.40°C Media: 24.70°C D	Corporal: 28.81°C Ambiental: 25.40°C Media: 25.20°C E	Corporal: 28.32°C Ambiental: 25.40°C Media: 25.20°C F
--	--	--	--

(b) Datos aplicación móvil.

Figura 55: Análisis de la comunicación Bluetooth.

Basados en la prueba propuesta para su análisis descrita en el capítulo anterior, se ha logrado obtener los valores de la figura 55 con la ayuda del monitor serial y los datos recibidos en la aplicación móvil.

Se puede establecer que la comunicación es confiable un 99% esto debido a que los datos A y B de la figura 55a no se pudieron visualizar en la aplicación móvil, esto se debe al tiempo que necesita la aplicación móvil para establecer conexión con el módulo Bluetooth del dispositivo wearable.

Un indicativo que la conexión se estableció es el parpadeo del led del módulo Bluetooth, como se mencionó en la tabla 17, parpadea dos veces y se apaga por 3 segundos y vuelve a parpadearas 2 veces.

4.2.1.2 Envío del dato al servidor WEB

El envío de datos hacia el servidor WEB es importante, pero sino hay conexión no se puede los datos que si no existe comunicación entre la aplicación móvil y la aplicación WEB, los datos se pueden almacenarse en la memoria SD.

Sin embargo, es necesario almacenar los datos en un servidor WEB donde se puede mostrar graficas de los datos recolectados por los sensores y así ayudar a interpretar al usuario la información recopilada durante su uso.

Los datos son almacenados en la entidad “sensor” y colocados en sus respectivos atributos, por ello es necesario validar el envío con la fecha y hora exacta en la que se almacenó el dato.

Para validar esto se tomarón 30 muestras de los datos que llegaron al servidor WEB, como se puede apreciar en la figura 56 el tiempo máximo en que llega el dato es de 0.09 segundos y el tiempo mínimo es de 0.01 segundos, con un tiempo promedio de 0.042759 segundos

Además se realizó otra prueba usando el protocolo con un ICMP (ping) para comprobar el estado de comunicación del teléfono al servidor servidor web, se envió 100 paquetes a la dirección IP del servicio (31.1170.166.10) obteniendo como resultado de la transmisión un 99% de confiabilidad, ya que de 100 paquetes enviados, solo se perdió un paquete con un tiempo mínimo de 0.009 segundos y máximo de 1.53 segundos dando como resultado un tiempo promedio de 0.068 segundos (ver figura 57).

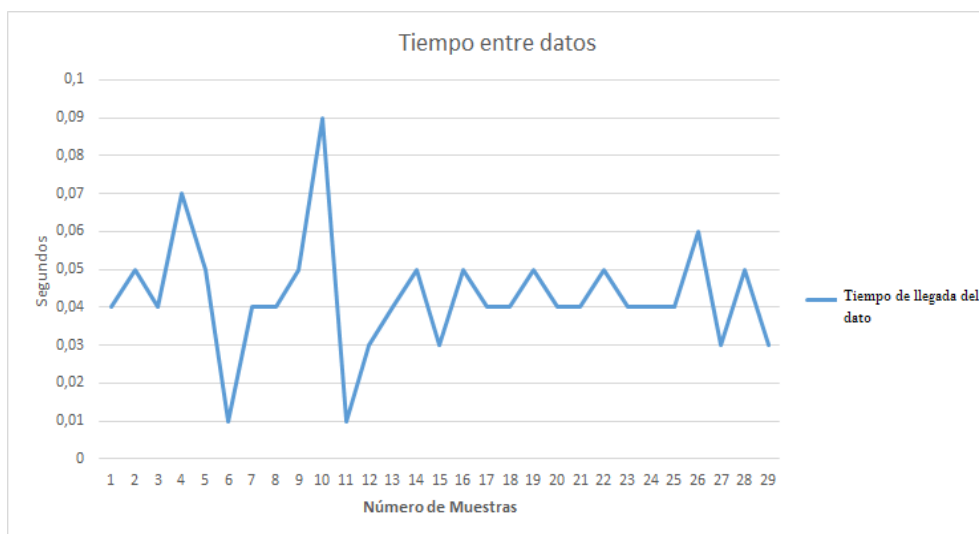


Figura 56: Tiempos de demora entre datos.

```

min=9 ms
avg=68 ms
max=1053 ms
1/100 dropped: 1 %

```

Figura 57: ICMP enviado.

Finalmente se utilizó la herramienta Wireshark con el objetivo de verificar los paquetes entre la comunicación HTTP(GET y POST).

En la figura 59 se muestra el proceso de los archivos PHP: se empieza llamando al archivo Login.php el mismo que llama al archivo Config.php, el cual ayuda a conectarse con el servidor para acceder a la base de datos donde se encuentra la entidad “usuario” para validar el usuario y contraseña ingresados y así procediendo a mostrar la información recolectada a través de ese usuario.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
932	34.939509	31.170.166.189	192.168.0.146	HTTP	60	HTTP/1.1 302 Found (text/html)
933	34.965329	192.168.0.146	31.170.166.189	HTTP	648	GET /Login.php HTTP/1.1
936	35.279718	31.170.166.189	192.168.0.146	HTTP	121	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
957	36.418868	192.168.0.146	50.17.52.222	HTTP	468	GET /v1/optin/13439/483591 HTTP/1.1
960	36.459545	192.168.0.146	31.170.166.189	HTTP	548	GET /favicon.ico HTTP/1.1
969	36.583764	50.17.52.222	192.168.0.146	HTTP	1034	HTTP/1.1 200 OK (application/json)
974	36.778255	31.170.166.189	192.168.0.146	HTTP	60	HTTP/1.1 302 Found (text/html)
980	37.137225	192.168.0.146	31.170.166.37	HTTP	444	GET /error404.php?domain=bandwense.3eeweb.com HTTP/1.1
984	37.397368	31.170.166.37	192.168.0.146	HTTP	899	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
1025	54.194778	192.168.0.146	31.170.166.189	HTTP	774	POST /Login.php HTTP/1.1 (application/x-www-form-urlencoded)
1033	54.515908	31.170.166.189	192.168.0.146	HTTP	60	HTTP/1.1 302 Found (text/html)
1035	54.540327	192.168.0.146	31.170.166.189	HTTP	654	GET /temperatura.php HTTP/1.1
1070	55.161200	31.170.166.189	192.168.0.146	HTTP	827	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
1086	57.962539	192.168.0.146	50.17.52.222	HTTP	474	GET /v1/optin/13439/483591 HTTP/1.1
1089	58.027889	192.168.0.146	31.170.166.189	HTTP	554	GET /favicon.ico HTTP/1.1
1097	58.230334	50.17.52.222	192.168.0.146	HTTP	1034	HTTP/1.1 200 OK (application/json)
1107	58.586629	192.168.0.146	31.170.166.37	HTTP	450	GET /error404.php?domain=bandwense.3eeweb.com HTTP/1.1
1109	58.839875	31.170.166.37	192.168.0.146	HTTP	899	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
1116	59.652613	31.170.166.189	192.168.0.146	HTTP	60	HTTP/1.1 302 Found (text/html)
428	7.879722	23.57.164.198	192.168.0.146	HTTP/X..	188	HTTP/1.1 200 OK
430	7.879727	23.57.164.198	192.168.0.146	HTTP/X..	259	HTTP/1.1 200 OK
442	7.973373	23.10.103.48	192.168.0.146	HTTP/X..	236	HTTP/1.1 200 OK

Figura 58: Características de paquetes.

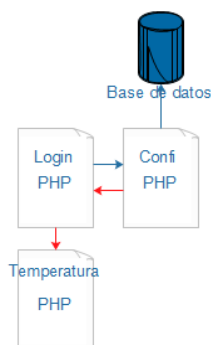


Figura 59: Características de paquetes.

La IP de maquina (fuente: 192.168.8.146) realiza un GET a la IP del servidor (Destino: 31.170.166.189) donde se encuentra el archivo Login.php, se puede apreciar que se ingresó un usuario incorrecto saliendo error404.php y volviendo a llamar al archivo Login.php, nuevamente validando al usuario para mostrar el archivo temperatura.php, el cual muestra las gráficas de los datos obtenidos (ver figura 58).

4.2.1.3 Guardado de respaldo en la SD

La prueba de respaldo de datos cuando no existe comunicación a Internet o Bluetooth para que no se pierda los datos que estan siendo recolectados.

Se verificó la creación del archivo .txt en la micro SD el mismo que contiene los datos recolectado durante el fallo de la conexion a Internet, el archivo ocupa un espacio de alrededor 24.2KB en una memoria de 4GB (ver figura 61), entonces se puede decir que no existe problema con la capacidad de la memoria. La figura 60 muestras las etiquetas de los datos del archivo datalog.txt.

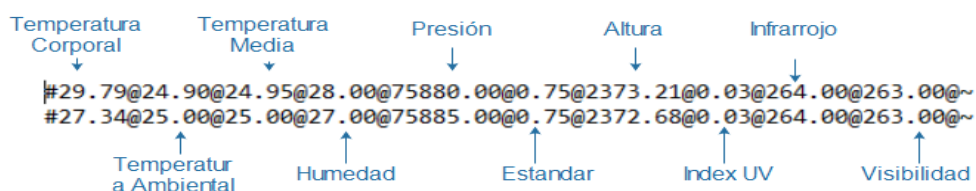


Figura 60: Descripción de los datos del archivo.

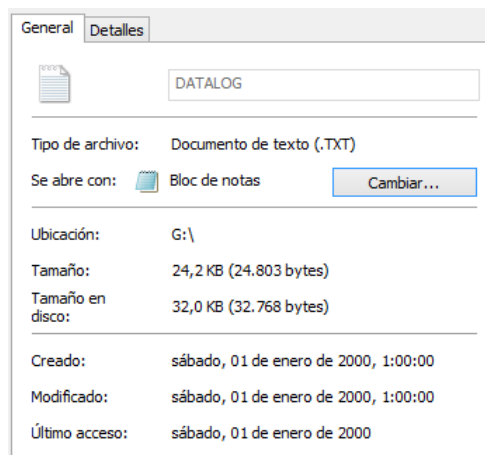


Figura 61: Características de paquetes.

En la figura 62 se puede observar el archivo generado por el dispositivo wearable, en donde los datos son guardados en forma de vector, para que cuando se necesite leer la SD y enviar al servidor no exista ningún error.

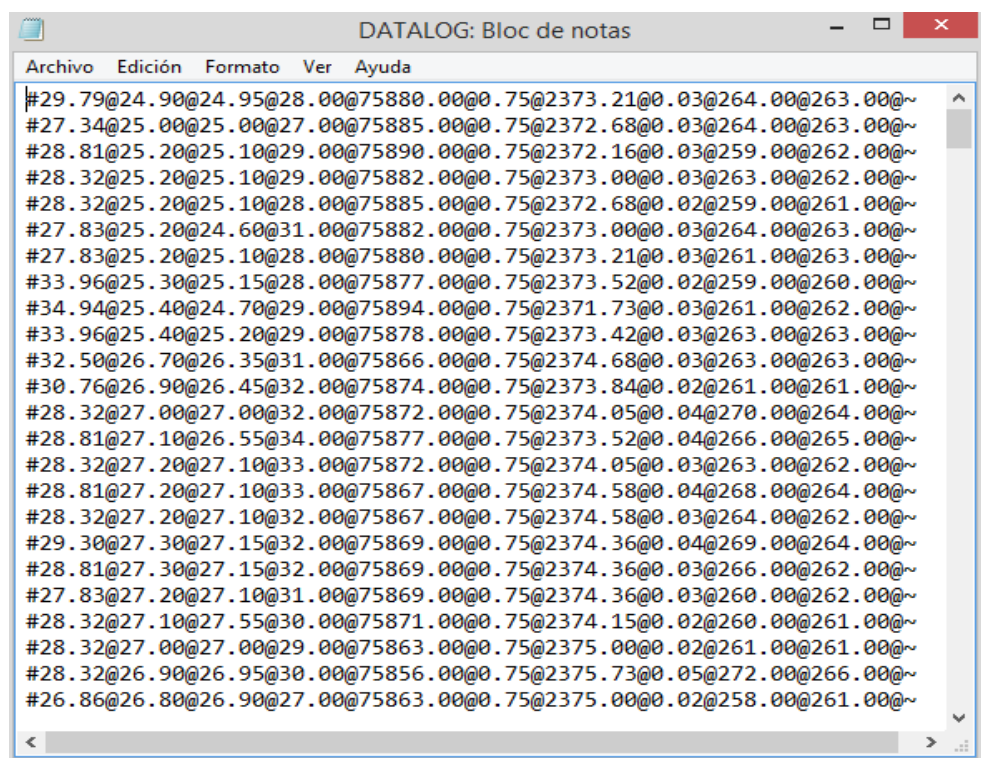


Figura 62: Archivo generado por el dispositivo.

4.3 Resultados del sistema

Para comprobar el sistema completo se realizó dos pruebas en diferentes escenarios y analizar los datos obtenidos:

4.3.1 Escenario N°1

Se lo realiza usando el circuito vial de la ESPE y posteriormente saliendo hacia el desvío de la Simón Bolívar, en un día soleado entre las 12pm a 1pm. El inicio fue en los laboratorios del Departamento de Electrónica de le ESPE siguiendo por los alrededores de la misma hasta llegar a la entrada principal, continuando por la Autopista General Rumiñahui hacia el norte de Quito y finalmente llegando al Desvío de la Simón Bolívar.

Para validar los resultados obtenidos con respecto a la altura se utilizó una herramienta de referencia online llamada elevationmap (ver figura 63) y las gráficas se encuentran separados por puntos como se aprecia en la tabla 33. La altura promedio medida por el dispositivo es de 2720m m y la altura de referencia promedio medida por la aplicación es de 2577.14 m con una diferencia de 95.85 m.

Tabla 33:

Tabla de valores de altura.

Puntos	Lugar	Altura medida	Altura de referencia
A	Laboratorios ESPE	2390m	2499m
B	Entrada posterior ESPE	2430m	2499m
C	Coliseo ESPE	2460m	2499m
D	Entrada principal ESPE	2430m	2499m
E	TRIANGULO	2369m	2477m
F	PUENTE 5	2570m	2690m
G	DESVIÓ	2720m	2877m
	Promedio	2481.29m	2577.14m

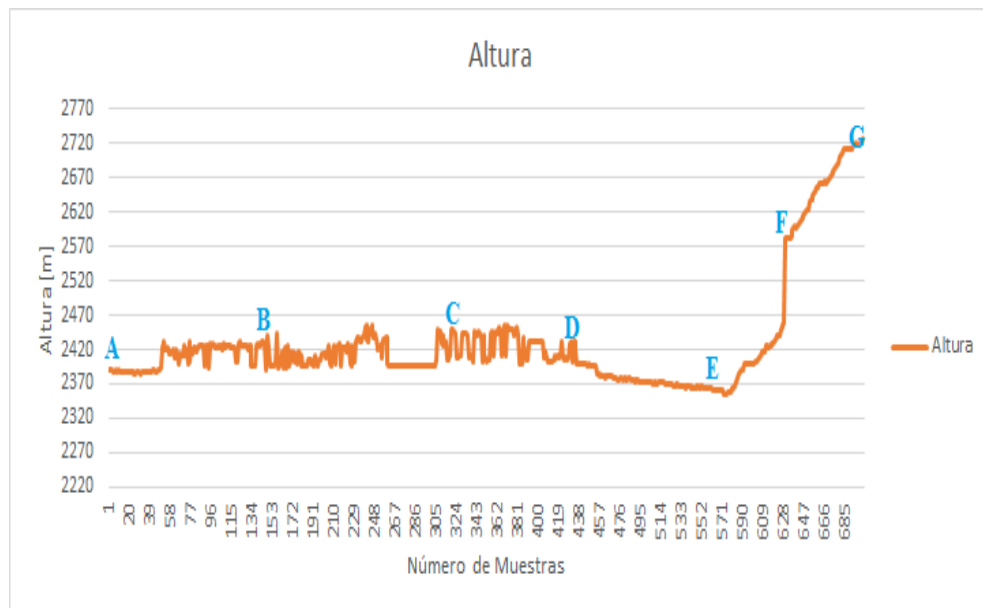


Figura 63: Gráfica de la altura.

Como ya se dijo anteriormente la presión y la altura están estrechamente relacionadas, mientras la altura aumenta la presión atmosférica disminuye y esto se puede ver en la figura 64.

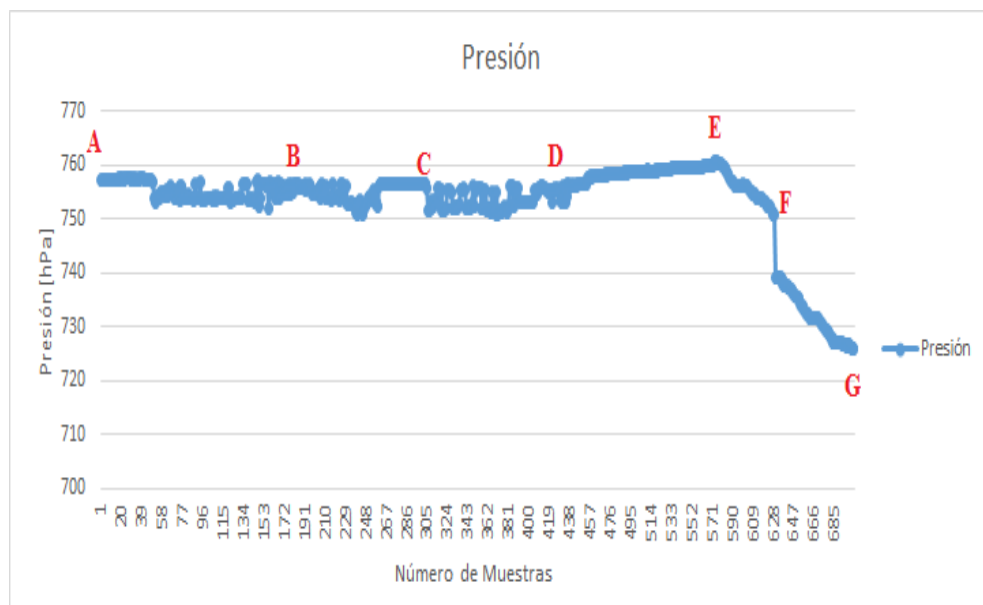


Figura 64: Gráfica de la presión atmosférica.

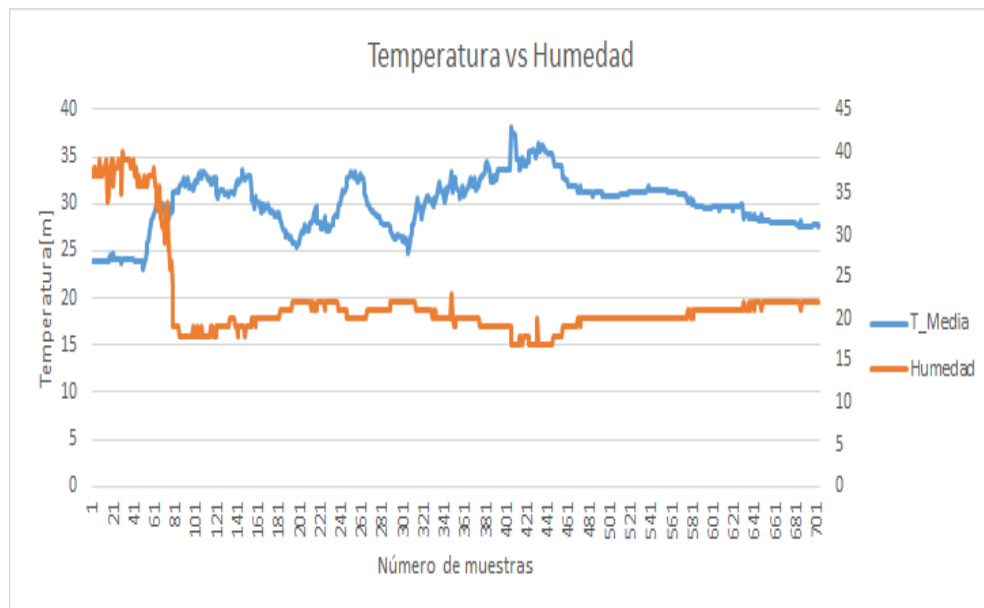


Figura 65: Gráfica de la temperatura vs humedad.

La figura 65 la relación entre temperatura y humedad, como las pruebas se han realizado durante un día soleado y entre las 12pm a 1pm se puede observar una temperatura medida aproximadamente de 30°C, por con siguiente la humedad debe ser baja.

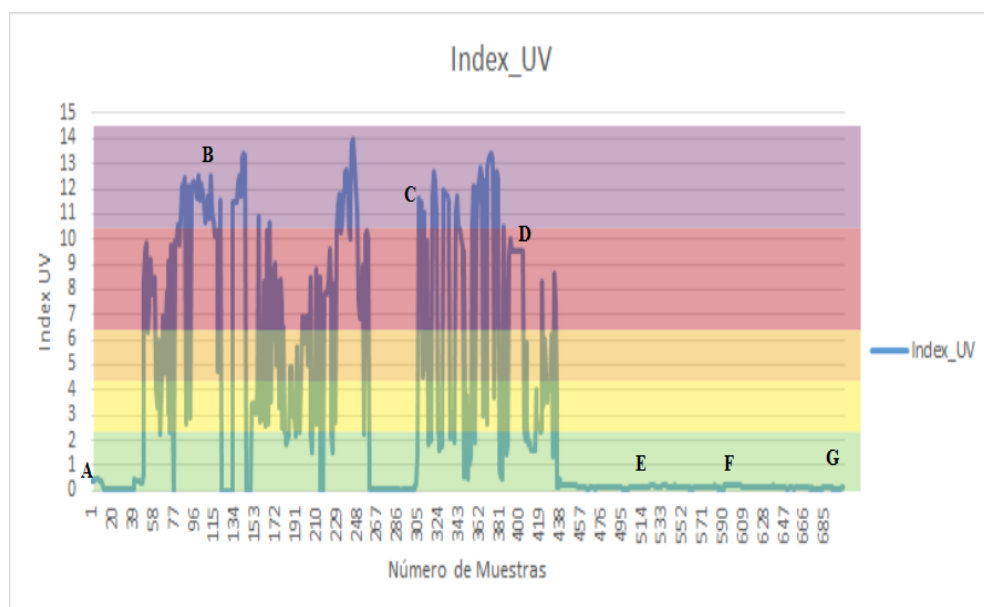


Figura 66: Gráfica de los rayos YV.

En la figura 66 se puede apreciar la variación de la incidencia de los rayos UV del punto A al D, donde se puede observar que los rayos UV llegan a niveles extremos según la escala de UV como es de esperarse al medio día. Del punto D al G son niveles inferiores debido a que durante el trayecto el sujeto de prueba uso un medio de transporte. Además se puede apreciar en la gráfica que existen irregularidades y esto se debe a la presencia de sombra causada por los árboles, edificios y elevaciones durante el trayecto.

4.3.2 Escenario N°2

Con la finalidad de validar la funcionalidad del sistema se escogió un escenario más complejo como es la subida al Teleférico, el cual se encuentra a 3945m donde el punto de partida y llegada fue el sector Gasca entre las 11 am a 2:30 pm. En este escenario se puede apreciar principalmente alturas mayores a 3000m, como se observa en la figura 67. La altura promedio medidas por el dispositivo fue de 3255.31m y el valor de la herramienta de referencia fue de 3343.33m, con una diferencia de 88.02m como se observa en la tabla 34.

Tabla 34:

Tabla de valores de altura.

Puntos	Lugar	Altura medida	Altura de referencia
A	GASCA Llegada	2779.92m	2968m
B	BOLETERÍA Llegada	2971.16m	3117m
C	TELEFÉRICO Llegada	3731.96m	3945m
H	Cóndor	3835.76m	-
D	TELEFÉRICO regreso	3724.34m	3945m
E	BOLETERÍA regreso	2964.12m	3117m
F	GASCA regreso	2779.92m	2968m
	Promedio	3255.31m	3343,33m

Los puntos A-F; B-E y C-D tienen que coincidir ya que hace referencia al mismo lugar y como se observa si tienen esa relación con una variación pequeña.

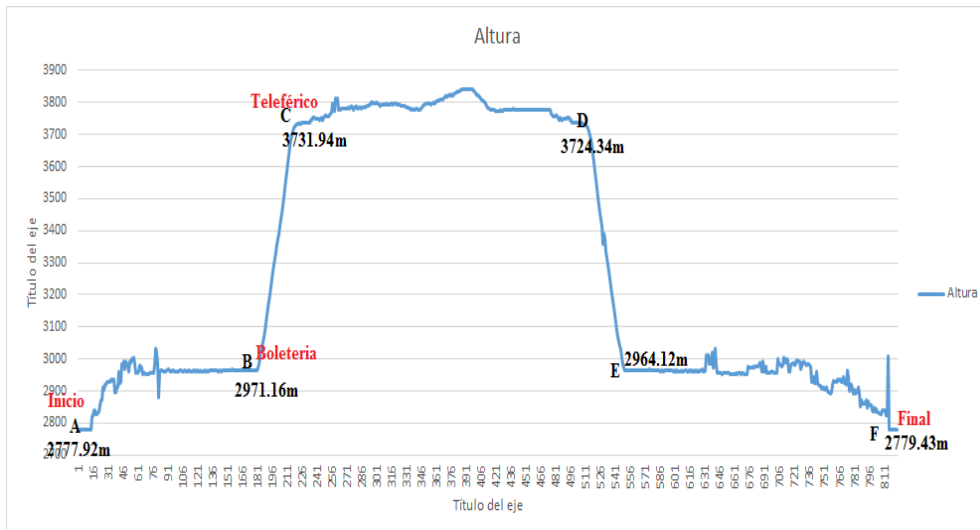


Figura 67: Gráfica de altura .

De la misma forma se comprueba que la presión atmosférica disminuye en los lugares donde la altura aumenta (punto B-E) y se puede apreciar en la figura 68 que la gráfica es opuesta a la altura.

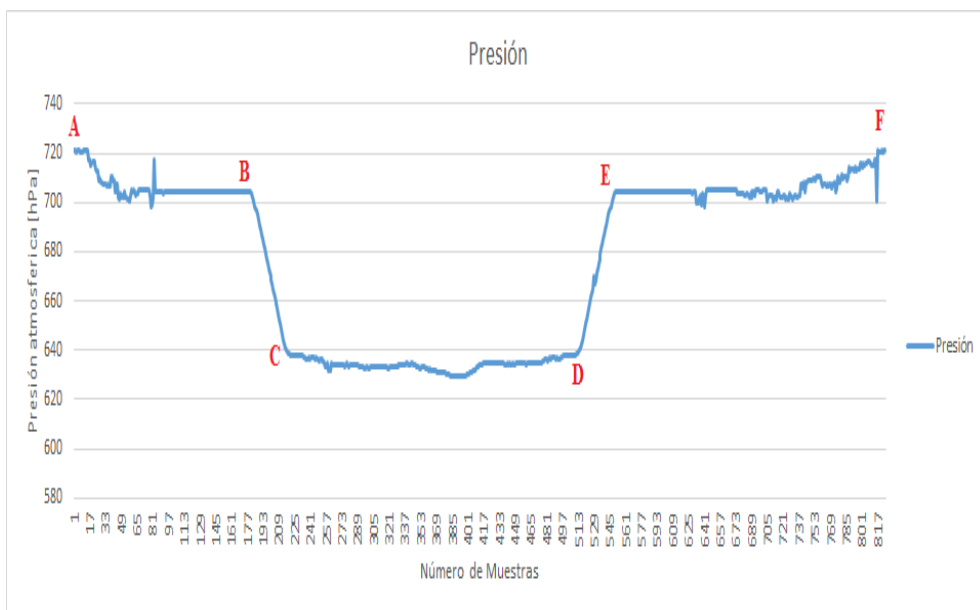


Figura 68: Gráfica de presión .

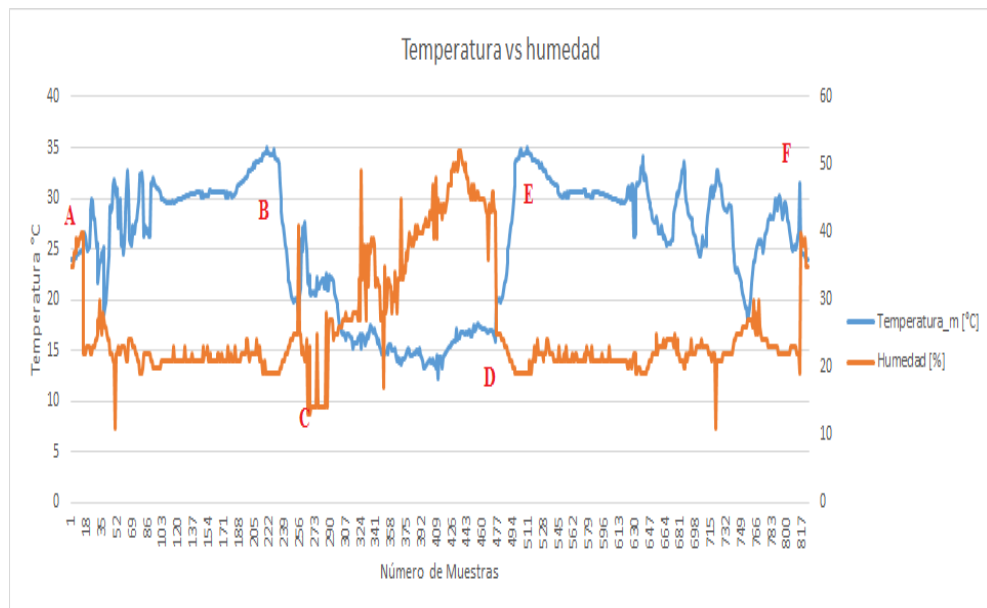


Figura 69: Gráfica de humedad y temperatura.

En la figura 69 los puntos B al E se observa que hay un disminución de temperatura ambiental y esto se debe a que el día se oscureció por la neblina y posteriormente lluvia, sin embargo las temperaturas son similares entre A-B y E-F ya que en la parte de las boleterías el día era despejado.

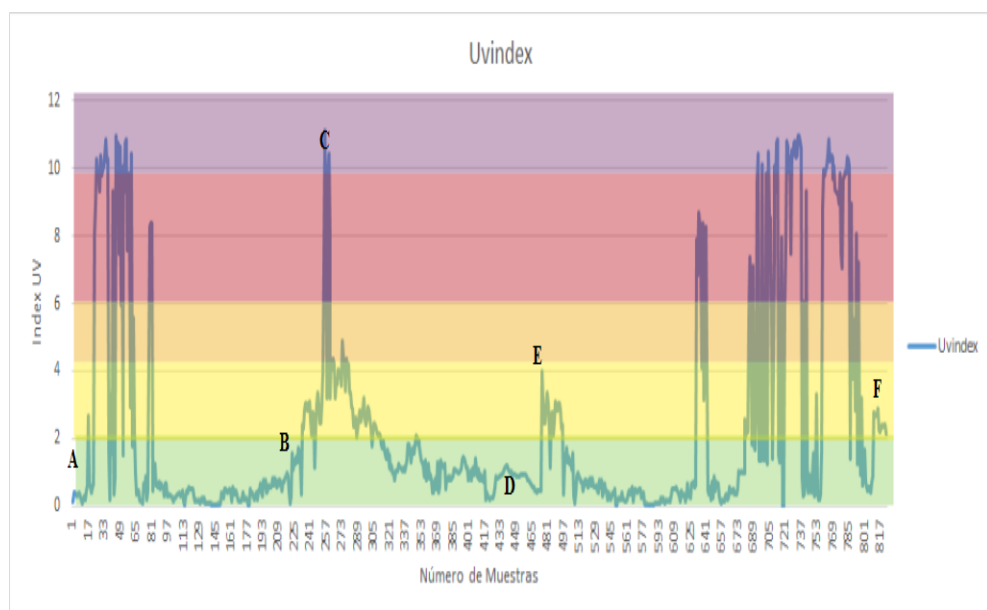


Figura 70: Gráfica de index UV .

El día de prueba fue variando de despejado a nublado del punto A-B se encontró despejado dando la incidencia de rayos UV llego a niveles altos. Del punto B al C se encontró que al llegar a la cima del Teleférico se despejo como se observa en el punto C, mientras se dirige a Cruz Loma el día empieza a nublarse como se refleja en el punto D, pero sin embargo en el punto E aumenta a 4 la incidencia de los rayos UV y finalmente en el tramo de E a F empieza el descenso donde la incidencia de rayos UV aumenta nuevamente a 10, donde se requiere una extrema protección, como se observa en la figura 70.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el presente proyecto se ha diseñado e implementado un prototipo que permite obtener información ambiental de donde se encuentra el deportista, pudiendo evaluar el desempeño del dispositivo en diferentes escenarios, exactitud y confiabilidad del hardware y software.

Con la implementación del prototipo del dispositivo wearable se logró adquirir satisfactoriamente las variables ambientales: temperatura ambiental, humedad, presión atmosférica y rayos UV. Los cuales mediante la verificación de los parámetros de la herramienta de referencia se pudieron minimizar el error de las lecturas para ser transmitidas a la aplicación móvil.

Se diseñó el sistema para la adquisición de la variable de temperatura corporal, mediante el sensor LM35 que por sus características físicas y electrónicas resultó de fácil implementación, este proyecto, sin embargo este valor es referencial ya que existen lugares específicos para obtener la temperatura corporal como es la boca o bajo el brazo en contacto con la piel, mientras el valor del LM35 se mide por encima de la

ropa.

Se realizó una compensación en el sensor LM35 ya que es posible que este midiendo el calor interno del circuito y el sensor de humedad DHT11 tiene un desfase en el valor de humedad provocando que la confiabilidad del dispositivo wearable baje, esto se debe a que el voltaje teórico del pin de alimentación es de 5V y el voltaje obtenido del circuito es de 3.3V, sin embargo es posible corregir mediante software.

Mediante la validación y las características de los sensores se obtuvieron los valores máximos y mínimos que mide el dispositivo wearable, también se definió el error por muestras que realiza, dando como resultado:

- Para la temperatura corporal los valores están comprendidos entre 2°C y 150°C y el error es de 1.15% después del ajuste por software.
- La temperatura ambiente está en el rango de 40°C a 85°C obteniendo un error de 1.46%. Para la medición de la humedad mediante software se pudo ajustar los valores medidos con el fin de disminuir el error al 0.20%, esto se presenta en un rango de 0% al 100%.
- La variable de presión atmosférica trabaja en un rango de 99,49kPa o 150m hasta 48.62kPa o 6000m con un error de 0.13%.
- Para la variable de rayos UV se obtuvo un error del 21.95% y aunque esta sobre el valor de los otros sensores, esto depende de la ubicación de la persona.

Los valores obtenidos por el dispositivo son presentados simultáneamente en la pantalla del teléfono inteligente. Utilizando el protocolo de comunicación Bluetooth se enviaron los datos a la aplicación móvil en donde dependiendo de los valores perjudiciales para la salud de la persona este emite una notificación.

En el medio no se puede obtener un dispositivo con las mismas características del prototipo implementado, por ejemplo la herramienta de referencia solo tiene los

sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica. Por otro lado actualmente existe una infinidad de aplicaciones móviles que ofrecen medir rayos UV, presión atmosférica, temperatura y humedad pero no son confiables ya que miden a partir de los sensores que tiene el teléfono incorporado y aproximación por reflexión y en el caso que el teléfono no posea dichos sensores la aplicación es inservible.

5.2 Recomendaciones

Se comprobó continuidad, voltaje y corriente del circuito en la placa, para evitar falsos voltajes y se colocó led indicativos para que sea fácil al usuario de visualizar el funcionamiento del circuito. En la placa se utilizó sócalos para facilitar la extracción de los módulos en caso de error.

Se recomienda revisar las características de software del teléfono inteligente ya que depende del API para que la aplicación móvil funcione adecuadamente, y así agregar las librerías apropiadas.

Al momento de grabar el programa en el Arduino Nano se tiene que desconectar el módulo Bluetooth (alimentación), sino dará un error y no se grabará el programa.

Se recomienda mantener en un lugar fuera del alcance de los niños ya que cuenta con piezas pequeñas, las mismas que puede ser remplazada si fuese el caso.

Tener mucho cuidado con el dispositivo en climas lluviosos ya que su carcasa no es lo suficientemente resistente al agua y esto podría dañar el circuito del dispositivo wearable.

Se recomienda poner atención en los led indicadores que presenta el dispositivo wearable ya que ayudara a entender el funcionamiento del mismo.

Se recomienda colocar un disipado de calor para evitar que el LM35 mida los valores internos del dispositivo.

5.3 Investigaciones Futuras

La primera línea de continuación de este trabajo de investigación es de mejorar el empaquetado del dispositivo, el mismo que pueda resistir al agua, y tratar de reducir el tamaño del mismo llegando a ser una versión comercial. Un aspecto secundario en este proyecto fue lo comercial, y queda ahora como una primera línea de continuación de esta investigación.

Trabajar con un sensor que mida específicamente temperatura corporal.

Una versión mejorada de la aplicación móvil donde muestre la ubicación de la persona en un mapa satelital, la información sobre las variables que sea interactiva con el usuario donde se puede insertar información de la persona como color de piel, si sufre alguna enfermedad.

Mejorar la alimentación eléctrica del dispositivo utilizando sistemas de baterías recargables.

5.4 Referencias Bibliográficas y Fuentes de Conocimiento

Acevedo, C. M. D., & Miranda, R. A. C. (2012). Comunicación inalámbrica basada en tecnología Bluetooth para la automatización de procesos industriales. *Revista el Hombre y la Máquina*, ISSN, 01210777.

Aguín, J. M. (23 de julio de 2015). Jasoft. Recuperado el 13 de julio de 2016, de Microsoft Band: review después de varios meses de uso: <http://www.jasoft.org/Blog/post/MicrosoftBandreviewdespuesdevariosmesesdeaspx>

Aircasting. (01 de 2015). Kickstarter. Recuperado el 6 de 7 de 2016, de <https://www.kickstarter.com/projects/741031201/airbeamshareandimproveyourair>

Alpinismonline. (5 de 3 de 2015). Thinklink. Recuperado el 4 de 8 de 2016, de <https://www.thinglink.com/scene/859844201150414848>

Android.Registro el linea [En línea]. Available: <http://www.android.com/phones-andtablets/>.

Asri, L. E. (julio de 12 de 2014). El diario .es. Obtenido de Así funcionan las tripas de tu móvil: el acelerómetro, un sensor que te puede salvar la vida: http://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/acelerometrofuncionesgiroscopioGPSinteriormagnetometro-sensorsensor_de_humedad

[sensor_de_temperaturatelefono_movil_0_275772515.html](http://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/acelerometrofuncionesgiroscopioGPSinteriormagnetometro-sensorsensor_de_humedad)

Avila, L. (2007). Revisión estado del Ate Bluetooth.

Bala, C. (2004). *Bluetooth Application Programming with the Java APIs*. San Fransisco : Morgan Kaufmann Publish.

Basto, C. (2004). Desarrollo de Aplicaciones Bluetooth utilizando el API Java JSR82.

Becerra, D. R. (2014). Tiempo atmosférico y clima. Profe de sociales, 5.

Biggar John (1996) Los Andes (Una guía para escaladores) Pag: 5

Braidot, A. A., Cifuentes, C., Frizzera Neto, A., Frisoli, M., & Santiago, A. (2013). Zigbee wearable sensor development for upper limb robotics rehabilitation. Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina), 11(1), 408413.

Bray, J. (2007). Why Bluetooth 1.1? | Why Change at All? | InformIT.

Brent, A. (2013). Bluetooth. USA: Prentice Hall.

Carletti, E. J. (1015). Robots Argentina. Obtenido de http://robotsargentina.com.ar/Sensores_general.htm

Carranza Herrezuelo, N. (2016). . Seguridad del paciente y protección electromagnética: estudio de literatura. Obtenido de https://scholar.google.com/ec/scholar?q=aplicaciones++seguridad+y+proteccion+++wearable+&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5

Carrithers, M. (1995). ¿ Por qué los humanos tenemos culturas?. Alianza.

Cascón, J. (13 de febrero de 2015). Frikipandi.com. Recuperado el 13 de julio de 2016, de Las mejores SmartBands o pulseras inteligentes del 2015: <http://www.frikipandi.com/public/post/lasmejoressmartbandsopulserasinteligentesdel2015/>

CASIO. (2015). Tecnología. Recuperado el 13 de julio de 2016, de Alturas relativa y absoluta: <http://www.casioeurope.com/es/watch/technology/altimeter/types/>

Culturacion. (2016). Qué son y cómo funcionan las pantallas táctiles Culturación. Recuperado el 13 de julio de 2016, de <http://culturacion.com/quesonycomofuncionan->

las pantallas táctiles/

Cunado, E. (10 de diciembre de 2015). Pulsera running con pulsómetro para monitorizar la frecuencia cardíaca en carrera . Recuperado el 13 de julio de 2016, de <http://galakia.com/pulserasrunningconpulsometroparamonitorizarlafrecuenciacardiacaencarrera/>

Cunha, J. P. S., Cunha, B., Pereira, A. S., Xavier, W., Ferreira, N., & Meireles, L. (2010, March). VitalJacket®: A wearable wireless vital signs monitor for patients' mobility in cardiology and sports. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, 2010 4th International Conference on NO PERMISSIONS (pp. 12). IEEE.

Datasheets SI1145. (2012). Silicon Labs.

Deportes, D. T. (2016). UpRope wearable para escaladores en interiores. | Deportechs Tecnología en Deportes. Obtenido de <https://deportechs.blogspot.com/2016/06/upropewearableparaescaladoresinteriores.html>

Días, N. (2016). Wearables en el deporte, un camino para el éxito. Obtenido de Blogthinkbig.com: <http://blogthinkbig.com/wearableseneldeporteuncaminoparael-exito/>

Dreamstime. (2 de 06 de 2013). Dreamstime.com. Recuperado el 2 de 7 de 2016, de <https://es.dreamstime.com/imagenesdearchivovectorfijadoescaladoresimage8121564>

eBay. (2010). The Difference between Bluetooth 1.1 1.2 2.0 2.1 Module.

Enforma. (10 de marzo de 2016). Wearables la tecnología al servicio de nuestra salud . Obtenido de <http://enforma.hola.com/modasport/20160310957/wearables-tecnologiarelojesinteligentessalud/>

Escriche, A. R. (2013). BLUETOOTH PARA LA MONITORIZACIÓN EN Cataluña.

Everlet, A. (2013). Introducción al internet de las cosas. Revista universidad Rey Juan Carlos.

Fitbit. (2016). Charge Llena tu día de energía . Recuperado el 13 de julio de 2016, de <https://www.fitbit.com/es/charge>

Garcia, D. (2014). Motorola sí ha integrado un sensor de luz ambiental en su Moto 360 . Xatakandroid.com.

Gardey, J. P. (2010). Definición de sensor. Obtenido de Definición.de: <http://definicion.de/sensor/#>

Garmin. (2015). Altímetro y Barómetro . Recuperado el 13 de julio de 2016, de <http://www8.garmin.com/manuals/webhelp/fenix3/ESXM/GUID0FFD681266044D97-BC0F56194CB12EB5.html>

Garmin. (2016). Garmin. Obtenido de Edge 810 | Garmin: <https://buy.garmin.com/es-ES/ES/fitnessyoutdoor/ciclismo/edge810/prod112912.html>

Gaspar, D., & Moreira, A. A. (2009, June). Belt antenna for wearable applications. In Antennas and Propagation Society International Symposium, 2009. APSURSI'09. IEEE (pp. 14). IEEE.

Gavidia, T., Pronczuk, J., & Sly, P. D. (2009). Impactos ambientales sobre la salud respiratoria de los niños: Carga global de las enfermedades respiratorias pediátricas ligada al ambiente. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 25(2), 99-108.

J. M. C. Ortega, Smartphone: toda la información al alcance de tu mano, Telos: Cuadernos de comunicación e innovación, 2010.

Gómez Jimenez, M. (2016). Influence of body weight support on wearable devices reproducing normal gait. Obtenido de <http://oa.upm.es/38084/>

Haartsen. (2005). Bluetooth: Vision, Goals and Architecture. Mobile Computing Communications Review.

HEDA. (21 de 11 de 2015). Deportes extremos. Recuperado el 3 de 6 de 2016, de <http://www.Guantesdefuncionamiento>

TactilScreencompatibleXSmall/291620505341/?_ul=BO

Heras, D. (12 de julio de 2016). Monitores de actividad y sueño en pulseras inteligentes (1) ¿Qué miden y para qué sirven las smartbands o activity trackers como Fitbit o Up jawbone? | Medicina de Familia en la Red Dr.López Heras 2.0 . Obtenido de Drlopezheras.com: <http://www.drlopezheras.com/2015/12/monitoresdeactividadysuenoen.html>

Hernandez, A. (2010). Introduccion .

Hipertextual (2015) La mejor tecnología wearable para ponerte en forma y mejorar tu rendimiento deportivo [En línea]. Available: <http://hipertextual.com/2015/05/tecnologiawearable>. [Último acceso: 15 Abril 2016].

Hunter, J. (2002). Enabling Always On, Always Connected, Computing with. Intel Technology Journal Q2.

Index, Air Quality. (13 de 02 de 2013). Treehugger. Recuperado el 3 de 07 de 2016, de Air Quality Egg collects and maps real time air pollution data: <http://www.treehugger.com/gadgets/airqualityegg.html>

Jimenez, E. (2016). Microsoft Band, la pulsera inteligente para Windows, Android y iOS ? Tecnología en español. Comparativas, tutoriales, trucos, ayudas, paso

a paso, cómo ? Noticias. Recuperado el 13 de julio de 2016, de Pactual.com: http://www.pactual.com/articulo/actualidad/noticias/13790/microsoft_band_pulsera_inteligente_para_windows_android_ios.html

Katherine Watier (19 de abril de 2013). «Marketing Wearable Computers to Consumers: An Examination of Early Adopter Consumers' Feelings and Attitudes Toward Wearable Computers». Washington, DC.

Lopez, C. (2008). Tecnología bluetooth. Mexico. Man Evolution. (05 de 2015). Shutterstock. Recuperado el 23 de 06 de 2016, de Pictogram Icon: <https://www.shutterstock.com/es/imageillustration/manhumanevolution-technologystickfigure115439455>

Martínez, J. (11 de marzo de 2016). Ainia comunidad . Obtenido de Gestion de la innovación y conocimiento : http://comunidad.ainia.es/web/ainiacomunidad/blogs/gestion-delconocimiento//articulos/2vMk/content/wearables:tecnologiasrelevantesparalaindustria-40yelconsumidor?p_r_p_564233524_tag=wearable

Mcgeew, M. (12 de julio de 2016). Ehow.español. Obtenido de Giroscopio y acelerómetros usados en dispositivos usables: http://www.ehowenespanol.com/giroscopio-acelerometrosusadosdispositivosusablesinfo_189829/

Ministerio del Ambiente Registro el linea [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/>[Último acceso: 5 Abril 2016].

Morales, R. (2011). Bluetooth v4.0 La futura solución inalámbrica de bajo consumo . España.

Moreno, L. A. (2009). Bluetooth: un enfoque al estándar IEEE 802.15.1. Mexico: Calzada Tecnológico.

Mundo, B. (5 de enero de 2015). Ocho maneras de darle usos insospechados a un dispositivo inteligente. Obtenido de BBC

Mundo: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/01/150102_tecnologia_uso_distinto_de_sensores_ig

Organización Mundial de la Salud (OMS)(2014) Radiación ultravioleta y el Programa INTERSUN. [En línea]. Available: <http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf?ua=1> [Último acceso: 5 Abril 2016].

Paniagua, E. (2016). Un 'wearable' para mejorar en escalada. Obtenido de <http://lifelife.guru/ocio/deporte/wearableescalat/>

Panizzolo, F. (6 de julio de 2016). A biologicallyinspired multijoint soft exosuit that can reduce the energy cost of loaded walking. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1186/s1298401601509>

Peter Clarke. «IEEE ISSCC 2000: 'Dick Tracy' watch watchers disagree». EE Times.

PreMarathon, V. (26 de febrero de 2015). LBDC Webrun Sport. Recuperado el 13 de Julio de 2016, de Pulsera Fitbit Charge: análisis, prueba y opiniones: <http://www.labolsadelcorredor.com/analisisdelapulseradeactividadfitbitcharge/>

Quality and Technology (2015) Sensores y Wearables para controlar la calidad del aire en las Smart Cities [En línea]. Available: <http://www.calidadytecnologia.com/2015/03/sensoreswereablescalidadairesmartcities.html>. [Último acceso: 15 Abril 2016].

Rodríguez, A. P. (2016). ¿ Dónde está el negocio de los wearables?: Olvídate, de momento, del gran consumidor. Los clientes están en la industria, seguridad. supermercados, logística... Emprendedores: las claves de la economía y el éxito profesional, (205), 98102. Obtenido de <http://www.emprendedores.es/ideasdenegocio/wearables>

Sabán, A. (2016). Bluetooth 5: cuatro veces mayor cobertura, el doble de velocidad y mejoras con beacons. hipertextual.

Sánchez, G. (2010). Sistema posicionamiento global (GPS) y las teorías de la relatividad. 7.

SantosLozano, A., & Garatachea, N. (2016). Tendencias Actuales de la acelerometría para la cuantificación de la actividad física. Obtenido de Tendencias Actuales de la acelerometría para la cuantificación de la actividad física.: <http://hdl.handle.net/10630/5373>

Sociedad de Lucha Contra el Cáncer Ecuador (SOLCA) Registro en línea [En línea]. Available: <http://www.estadisticas.med.ec/webpages/FEL/LoginFL.jsp> [Último acceso: 5 Abril 2016].

SportVicious [En línea]. Available:<http://www.sportvicious.com/2015/06/runners-dealtura/>. [Último acceso: 7 Abril 2015].

Tara Kieffner. «Wearable Computers: An Overview». Archivado desde el original el 29 de noviembre de 2015.

Tecosos. (julio de 12 de 2016). Estudio e implementación de dispositivos wearables. Obtenido de <http://www.fundaciontecosos.es/documentos/wearables/index.html>

Thewhipper. (2016). Whipper Smart Wearable Climbing Tracker. Obtenido de [Thewhipper.com](https://thewhipper.com/): <https://thewhipper.com/> Toloza, J. M. (19 de marzo de 2013). Algoritmos y técnicas de tiempo real para el incremento de la precisión posicional relativa usando receptores GPS estándar. IEEE, 213.

Thorp, Edward (octubre de 1998). «The Invention of the First Wearable Computer». Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No.98EX215): 48.

TZOA Wearables. (29 de 12 de 2014). TZOA, un wearable para monitorizar el medio ambiente. Recuperado el 9 de 7 de 2016, de <http://www.ticbeat.com/tecnologias/tzoawearablemonitorizaelmedioambienteparacomprobarlacalidaddelaire/>

Ursino, N. A. (2016). Aplicaciones móviles: la evolución en la adopción de aplicaciones móviles y su relación con el parque de dispositivos: descripción y análisis de las curvas de descargas de aplicaciones móviles y su acelerado crecimiento en comparación con las curvas de pe. Obtenido de <http://gredos.usal.es/jspui/handle/10366/126678>

Wahoo. (8 de 12 de 2015). Wahoo fitness. Recuperado el 3 de 7 de 2016, de <http://www.wahoofitness.com/devices/wahoobluescspeedandcadencesensor> Wearable technology. (2 de 05 de 2016). ISD. Recuperado el 3 de 08 de 2016, de Iron Springs Design: <https://www.iron Springsdesign.com/wearabletechnologyfadfuture/>

Weitzenfeld, H. Evaluacion del Impacto en el Ambiente y la Salud de proyectos de Desarrollo: version preliminarResumen de Prensa del Programa 21.

Wexler, Y. &. (2016). WEARABLE APPARATUS WITH WIDE VIEWING ANGLE IMAGE SENSOR. U.S. IEEE. Zhu, S. S. (2016). A smart ECG sensor with insitu adaptive motionartifact compensation for drycontact wearable healthcare devices. In 2016 17th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED). IEEE, 450455.

Yang, L., Li, L., Lewington, S., Guo, Y., Sherliker, P., Bian, Z., ... & Zhang, Y. (2015). Outdoor temperature, blood pressure, and cardiovascular disease mortality among 23 000 individuals with diagnosed cardiovascular diseases from China. *European heart journal*, 36(19), 11781185.