



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE DISPOSITIVO MÓVIL
PARA EL MONITOREO DE LOS SIGNOS VITALES Y EL
COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO EN UN SOLDADO.**

**AUTORES: MANRIQUE SANIPATÍN, FRANCISCO JAVIER
MARCHÁN ORDOÑEZ, JONNY ALBERTO**

DIRECTOR: ING. MONTOYA LARA, LUIS HERNÁN

SANGOLQUÍ

2019

CERTIFICADO DEL DIRECTOR**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA****CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA****CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE DISPOSITIVO MÓVIL PARA EL MONITOREO DE LOS SIGNOS VITALES Y EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO EN UN SOLDADO”*** fue realizado por los señores ***Marchán Ordoñez, Jonny Alberto y Manrique Sanipatín, Francisco Javier*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 12 de agosto del 2019

Firma:

Ing. Luis Hernán Montoya Lara

C.I 1715480412

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA****CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA****AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, *Marchán Ordoñez, Jonny Alberto y Manrique Sanipatín, Francisco Javier*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Desarrollo de un prototipo de dispositivo móvil para el monitoreo de los signos vitales y el comportamiento fisiológico en un soldado* es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 12 de agosto del 2019

Firmas:

Marchán Ordoñez Jonny Alberto

C.C.: 1724348584

Manrique Sanipatín Francisco Javier

C.C.: 1002994166

AUTORIZACIÓN**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA****CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA****AUTORIZACIÓN**

Nosotros, Marchán Ordoñez, Jonny Alberto y Manrique Sanipatín, Francisco Javier autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "Desarrollo de un prototipo de dispositivo móvil para el monitoreo de los signos vitales y el comportamiento fisiológico en un soldado" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 12 de agosto del 2019

Firmas:

Marchán Ordoñez Jonny Alberto

C.C.: 1724348584

Manrique Sanipatín Francisco Javier

C.C.: 1002994166

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres que con su amor incondicional lograron guiarme en mi vida personal y estudiantil, por su constancia y esfuerzo al darme lo mejor siempre a la medida de sus posibilidades, gracias por creer en mis capacidades espero demostrarles que puedo ser el profesional y la persona adulta que siempre quisieron que llegue a ser.

A mi esposa el gran amor de mi vida, Angélica y a mi hijo amado Jhojitan son el motivo más importante y mi inspiración para alcanzar mis metas y dar lo mejor de mí en toda circunstancia, el cumplimiento de este proyecto también es gracias a ustedes, por darme su amor y su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis hermanos mayores Héctor y Verito por su cariño y por ser un gran ejemplo a seguir en la vida profesional de cada uno, son unos excelentes profesionales cada uno en lo que desempeña y espero llegar a ser igual o mejor que ustedes gracias por demostrarme que si se puede lograr nuestros sueños.

Javier Manrique.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres que han sido el pilar fundamental en este proceso de culminación de mi carrera, su infinita paciencia y apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida profesional y privada han hecho que vaya por el camino del bien, su sabiduría, sus palabras de afecto incluso sus regaños han sabido enfocarme en una futura vida prospera y llena de felicidad.

A mis abuelitos por su incesante búsqueda de mi comodidad para lograr realizar sin complicaciones el proyecto final de grado y por ser la base presente y futura para mi vida profesional, a ellos les debo la continuación de mis sueños y objetivos que me proponga de ahora en adelante.

A mis hermanos Emilio y Andrés que confiando plenamente en mi han sabido ayudarme en todos los aspectos necesarios para estudiar, y gracias por permitirme ser parte de un ejemplo para su vida.

A Angie que gracias a su apoyo incondicional he logrado salir de grandes dificultades en mi vida de estudiante y mi vida privada, sin ella seguramente este proyecto sería un sueño todavía por alcanzar.

Jonny Marchán.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por guiarme, protegerme y permitirme llegar a este punto de mi vida y culminar de la mejor manera mi vida estudiantil en esta prestigiosa Universidad.

A toda mi familia padre, madre, hermanos, esposa e hijo por ser incondicionales conmigo en todos los momentos difíciles que pasé y que tuve que afrontar gracias por todo. Mi triunfo también es de todos ustedes.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” gracias por las enseñanzas y la educación académica que formaron durante toda mi vida estudiantil.

Al Ingeniero Luis Montoya gracias por ser un excelente tutor y guía en el desarrollo y cumplimiento de este proyecto, le deseo éxitos en su vida personal como docente e investigador.

Javier Manrique.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por invertir gran parte de su tiempo a lograr mis objetivos académicos y profesionales.

Agradezco al CICTE por su apoyo en todas las herramientas e informaciones que llegue a necesitar a lo largo del proceso del desarrollo del proyecto de titulación.

Agradezco a mi tutor Ing. Luis Montoya que con su conocimiento pudo guiarnos a través de esta dura tarea, su apoyo nos inspiro a seguir y no rendirnos.

Jonny Marchán.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	
CERTIFICADO DEL DIRECTOR.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO 1	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Soluciones tecnológicas.....	1
1.1.2. Control de salud en los soldados.....	5
1.2. Justificación e Importancia	6
1.3. Alcance.....	6
1.4. Objetivos	8
1.4.1. Objetivo General	8
1.4.2. Objetivos Específico	8
1.5. Estructura del Documento.....	8
CAPÍTULO 2	10
2.1. Técnicas de Monitoreo en los signos vitales.....	10
2.1.1. Ritmo Cardíaco	10
2.1.1.1. Electrocardiograma (ECG)	10
2.1.1.2. Sensor de pulso de ritmo cardíaco	11
2.1.1.3. Monitor de frecuencia cardíaca de Ejercicio.....	12
2.1.2. Temperatura Corporal	14

2.1.2.1. Termistor	14
2.1.2.2. Las sondas de temperatura	16
2.1.2.3. Sensor de Temperatura Corporal para Plataforma de Salud Electrónica	17
2.1.3. Nivel de oxígeno en la sangre	18
2.1.3.1. Sensor SPO2	18
2.1.4. Presión Arterial	19
2.1.4.1. El Sensor de presión arterial (esfigmomanómetro).....	20
2.1.4.2. Sensor de presión arterial	21
2.2. Pulseras Inteligentes.....	23
2.3. Pulseras Inteligentes Comerciales.....	24
2.3.1. Pulseras Inteligentes menos de 100,00\$	25
2.3.2. Pulseras Inteligentes más de 100,00\$	26
2.4. Asistencia Médica en los soldados.....	27
2.4.1. Dirección de Bienestar de Personal	27
2.4.2. Estructura de la Dirección de Bienestar de Personal	27
2.4.3. Unidad de Salud	28
2.5. Instrumentación Mecatrónica.....	29
2.5.1. Módulo MAX30101	29
2.6. Tecnología XLP en Microcontroladores	31
2.6.1. Microcontroladores de 32 bit con tecnología XLP	31
2.7. Software para los microcontroladores de 32 bit con tecnología XLP.....	32
2.8. Tensiómetro (Medidor de Presión Arterial).....	32
2.9. Resumen.....	33
CAPÍTULO 3	35
3.1. Metodología de Diseño	35
3.1.1. Identificación de Necesidades.....	36
3.1.1.1. Matriz de Calidad.....	36
3.1.2. Planeación	39
3.2. Diseño de Sistemas y Subsistemas.....	40
3.2.1. Sistema 1: Brazaletes Inteligente.....	41
3.2.1.1. Alternativas de diseño y evaluación.....	41

3.2.1.2. Diseño Final del Sistema 1: Pulsera Inteligente.....	57
3.2.2. Sistema 2: Tensiómetro (Medidor de Presión Arterial).....	58
3.2.2.1. Alternativas de diseño y evaluación.....	58
3.2.2.2. Diseño Final del Sistema 2: Tensiómetro (Medidor de Presión Arterial).....	61
3.3. Concepto Final	62
3.4. Resumen.....	63
CAPÍTULO 4	65
4.1. Sistema 1 - Pulsera Inteligente.....	65
4.1.1. Circuito de control de la pulsera inteligente.	66
4.1.2. Manufactura de la Estructura	69
4.1.3. Ensamble final de los componentes	70
4.1.4. Algoritmo de Funcionamiento	71
4.1.5. Pruebas y Resultados de la Implementación de la pulsera.....	72
4.1.5.1. Pruebas del Funcionamiento de los sensores usados	72
4.2. Sistema 2 - Tensiómetro	88
4.2.1. Circuito de Control.....	89
4.2.2. Manufactura de la Estructura	91
4.2.3. Ensamble final de los componentes	92
4.2.4. Algoritmo de Funcionamiento	92
4.2.5. Pruebas y Resultados del funcionamiento del Tensiómetro.	94
4.2.5.1. Pruebas de Medición de la Presión Arterial.....	94
4.2.5.2. Resultados de Medición de la Presión Arterial.....	97
4.3. Análisis Económico de implementación.....	99
4.4. Resumen.....	99
CAPÍTULO 5	102
5.1. Conclusiones	102
5.2. Recomendaciones y Trabajos Futuros	104
BIBLIOGRAFÍA.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Rangos de Temperatura</i>	14
Tabla 2. <i>Datos técnicos de las sondas de temperatura</i>	17
Tabla 3. <i>Clasificación de la presión arterial para adultos (mayores de 18 años)</i>	20
Tabla 4. <i>Mejores smart band menos de 100,00 \$</i>	25
Tabla 5. <i>Pulseras inteligentes más de 100,00 \$</i>	26
Tabla 6. <i>Identificación de las necesidades del cliente</i>	37
Tabla 7. <i>Especificaciones técnicas el prototipo</i>	37
Tabla 8. <i>Matriz QFD del Prototipo</i>	38
Tabla 9. <i>Resultados de las especificaciones técnicas de la matriz QFD</i>	39
Tabla 10. <i>Definición de los sistemas y subsistemas del prototipo</i>	40
Tabla 11. <i>Alternativas de sensores de temperatura</i>	41
Tabla 12. <i>Ponderación de los criterios de evaluación para el sensor de temperatura.</i>	43
Tabla 13. <i>Ponderación del tamaño para el sensor de temperatura.</i>	43
Tabla 14. <i>Ponderación de la sensibilidad para el sensor de temperatura.</i>	43
Tabla 15. <i>Ponderación de la resolución para el sensor de temperatura.</i>	43
Tabla 16. <i>Resultados del sensor de temperatura.</i>	44
Tabla 17. <i>Alternativas de sensores para el ritmo cardiaco y nivel de oxígeno en la sangre</i>	45
Tabla 18. <i>Ponderación de los criterios de evaluación para el sensor de ritmo cardiaco.</i>	46
Tabla 19. <i>Tabla que muestra la ponderación de los tamaños del sensor de ritmo cardiaco.</i>	46
Tabla 20. <i>Tabla que muestra la exactitud del sensor de ritmo cardiaco.</i>	46
Tabla 21. <i>Principio físico para la ponderación del sensor del ritmo cardiaco.</i>	46
Tabla 22. <i>Sensor de ritmo cardiaco y nivel de oxígeno en la sangre y sus resultados.</i>	47
Tabla 23. <i>Alternativas de microcontroladores</i>	47
Tabla 24. <i>Ponderación de los criterios de evaluación para el microcontrolador.</i>	48
Tabla 25. <i>Tamaños para el microcontrolador (ponderación).</i>	48
Tabla 26. <i>Memoria para el microcontrolador(microcontrolador).</i>	49

Tabla 27. <i>Ram para el microcontrolador (ponderación).</i>	49
Tabla 28. <i>Ponderacion de resultados del microcontrolador.</i>	49
Tabla 29. <i>Alternativas de pantallas</i>	50
Tabla 30. <i>Criterios de evaluación para la pantalla (ponderación).</i>	50
Tabla 31. <i>Tamaño para la pantalla (ponderación).</i>	51
Tabla 32. <i>Compatibilidad para la pantalla (ponderación).</i>	51
Tabla 33. <i>Precio para la pantalla y su ponderación</i>	51
Tabla 34. <i>Resultados de la pantalla.</i>	51
Tabla 35. <i>Alternativas de alimentación energética para el prototipo.</i>	52
Tabla 36. <i>Ponderación de los criterios de evaluación para la alimentación energética.</i>	53
Tabla 37. <i>Tamaño para la alimentación energética (ponderación).</i>	53
Tabla 38. <i>Recarga para la alimentación energética (ponderación).</i>	53
Tabla 39. <i>Ponderación del voltaje para la alimentación energética.</i>	53
Tabla 40. <i>Resultados para la alimentación energética.</i>	54
Tabla 41. <i>Alternativas para el respaldo de datos (memoria).</i>	55
Tabla 42. <i>Ponderación de los criterios de evaluación para la memoria.</i>	56
Tabla 43. <i>Almacenamiento para la memoria (ponderación).</i>	56
Tabla 44. <i>Velocidad de transmisión para la memoria (ponderación).</i>	56
Tabla 45. <i>Precio para la memoria (ponderación).</i>	56
Tabla 46. <i>Resultados para el respaldo de datos (memoria)</i>	57
Tabla 47. <i>Alternativas para el tensiómetro digital.</i>	58
Tabla 48. <i>Ponderación de los criterios de evaluación para el tensiómetro.</i>	59
Tabla 49. <i>Ponderación de la sensibilidad para el tensiómetro.</i>	59
Tabla 50. <i>Compatibilidad para el tensiómetro (ponderación).</i>	60
Tabla 51. <i>Precio para el tensiómetro (ponderación).</i>	60
Tabla 52. <i>Resultados para el tensiómetro</i>	60
Tabla 53. <i>Error porcentual en la prueba de exactitud (temperatura).</i>	72

Tabla 54. <i>Error porcentual en la prueba de precisión (temperatura).</i>	73
Tabla 55. <i>Datos de temperatura - tiempo en la prueba de rapidez de respuesta</i>	74
Tabla 56. <i>Rapidez de respuesta en la medición de temperatura.</i>	77
Tabla 57. <i>Error porcentual en la prueba de exactitud (ritmo cardiaco).</i>	79
Tabla 58. <i>Error porcentual en la prueba de precisión (ritmo cardiaco).</i>	80
Tabla 59. <i>Error porcentual en la prueba de rapidez de respuesta (ritmo cardiaco).</i>	81
Tabla 60. <i>Valores de referencia del ritmo cardiaco de acuerdo a rangos de edad y género.</i>	82
Tabla 61. <i>Error porcentual en la prueba de exactitud y precisión (oxígeno en la sangre).</i>	86
Tabla 62. <i>Error porcentual en la prueba de exactitud y precisión (presión arterial).</i>	96
Tabla 63. <i>Presiones sistólica y diastólica referenciales (hombre - mujer).</i>	97
Tabla 64. <i>Costos de los materiales.</i>	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Interfaz de usuario con los datos medidos de un soldado</i>	5
Figura 2. <i>Electrodos de ECG</i>	10
Figura 3. <i>Ubicación de los electrodos</i>	11
Figura 4. <i>Sensor de pulso de ritmo cardiaco</i>	11
Figura 5. <i>Correa de pecho para medir la frecuencia cardiaca</i>	12
Figura 6. <i>Plataforma de Visualización de la frecuencia cardiaca</i>	13
Figura 7. <i>Sensor de tipo termistor</i>	15
Figura 8. <i>Circuito tipo termistor</i>	15
Figura 9. <i>Tipos de sondas: De esófago - De contacto con la piel</i>	16
Figura 10. <i>Tipos de conectores</i>	16
Figura 11. <i>Sensor de temperatura corporal</i>	18
Figura 12. <i>Sensor SPO2</i>	19

Figura 13. Sensor de presión arterial.....	20
Figura 14. Conexión del sensor de presión arterial.....	21
Figura 15. Sensor de presión arterial con software	21
Figura 16. Sensor de presión arterial.....	22
Figura 17. Control Médico en el Personal Militar	27
Figura 18. Toma de Muestras y señales fisiológicas en los soldados	29
Figura 19. Tensiómetro digital.....	33
Figura 20. Proceso genérico del producto en donde se muestran 6 fases de desarrollo.	35
Figura 21. Termistor tipo NTC	44
Figura 22. Módulo de cargador de batería	54
Figura 23. Diagrama electrónico del sistema 1 (pulsera inteligente).....	57
Figura 24. Diagrama electrónico del sistema 2 (tensiómetro)	61
Figura 25. Diagrama del proceso de manufactura del sistema general.....	66
Figura 26. Circuito de control a escala normal	67
Figura 27. Placa base del prototipo de pulsera inteligente.....	68
Figura 28. Ensamble final de los componentes electrónicos del prototipo.....	68
Figura 29. Diseño CAD de la estructura de la pulsera.....	69
Figura 30. Correa plástica ergonómica	69
Figura 31. Componentes electrónicos y mecánicos del sistema	70
Figura 32. Ensamble final del prototipo.....	70
Figura 33. Algoritmo de funcionamiento del sistema 1 (prototipo inteligente).....	71
Figura 34. Gráfica comparativa de los datos de exactitud (temperatura).	75
Figura 35. Gráfica comparativa de los datos de precisión (temperatura).	76
Figura 36. Gráfica de rapidez de respuesta utilizando la pulsera inteligente.....	77
Figura 37. Gráfica comparativa de los datos de exactitud (ritmo cardiaco).	83
Figura 38. Gráfica comparativa de los datos de precisión (ritmo cardiaco).	84
Figura 39. Gráfica de rapidez de respuesta con 2 sujetos de prueba (ritmo cardiaco).....	85

Figura 40. Niveles de Saturación de Oxígeno.....	87
Figura 41. Gráfica comparativa de los datos de exactitud y precisión (nivel del oxígeno).	88
Figura 42. Tensiómetro OMRON HEM-7113	89
Figura 43. Circuito electrónico del tensiómetro.....	90
Figura 44. Circuito ensamblado	90
Figura 45. Impresión 3D de la estructura del tensiómetro	91
Figura 46. Ensamble de los componentes de la estructura del tensiómetro.....	91
Figura 47. Ensamble electrónico y mecánico del tensiómetro.....	92
Figura 48. Algoritmo de funcionamiento del sistema 2 (tensiómetro digital)	93
Figura 49. Posición y ubicación correcta del brazalete	94
Figura 50. Pruebas de medición con el tensiómetro digital.	95
Figura 51. Gráfica comparativa de los datos de exactitud y precisión (presión diastólica).....	98
Figura 52. Gráfica comparativa de los datos de exactitud y precisión (presión sistólica).	98

RESUMEN

El presente proyecto corresponde al diseño y desarrollo de un prototipo de brazalete que a través de redes de sensores fisiológicos y mediante sistemas computacionales embebidos permitan realizar un monitoreo de los signos vitales en los soldados. El objetivo principal se enfoca en desarrollar un sistema que permita monitorear los parámetros fisiológicos al personal militar durante el cumplimiento de sus misiones, mediante la aplicación de una red de sensores corporales que permitan la adquisición de los datos y el registro de sus parámetros (ritmo cardiaco, temperatura corporal, consumo de oxígeno y presión arterial). Como parte del proyecto corresponde la implementación de un control sobre una micro - bomba (tensiómetro digital) ubicada en la parte superior del brazo del soldado con la finalidad de mejorar la adquisición de sus datos y con ello reducir el porcentaje de error. El proyecto en conjunto, permitirá tener un mayor control de las unidades militares y mejorar la eficiencia y efectividad de las operaciones tácticas, y tareas administrativas para determinar el correcto cumplimiento de las mismas. Se realiza un estudio comparativo entre los dispositivos comerciales existentes en el mercado y también con prototipos creados en el Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército para determinar la fiabilidad de los datos obtenidos a través del prototipo. Además, se muestra un estudio de la autonomía energética y costo de implementación.

PALABRAS CLAVE:

- **PROTOTIPO**
- **PARÁMETROS FISIOLÓGICOS**
- **FIABILIDAD**
- **AUTONOMÍA ENERGÉTICA**

ABSTRACT

The present project corresponds to the design and development of a bracelet prototype that, through networks of physiological sensors and embedded computer systems, allows the monitoring of vital signs in soldiers. The main objective focuses on developing a system that allows monitoring the physiological parameters of military personnel during the fulfillment of their missions, through the application of a network of body sensors that allow the acquisition of data and the registration of its parameters (heart rate, body temperature, oxygen consumption and blood pressure). As part of the project corresponds the implementation of a control on a micro-pump (digital tensiometer) located in the upper part of the soldier's arm in order to improve the acquisition of their data and thereby reduce the error rate. The project as a whole, will allow to have a greater control of the military units and to improve the efficiency and effectiveness of the tactical operations, and administrative tasks to determine the correct fulfillment of the same ones. A comparative study is made between the commercial devices existing in the market and also with prototypes created in the "Center for Scientific and Technological Research of the Army" to determine the reliability of the data obtained through the prototype. In addition, a study of energy autonomy and implementation cost is shown.

KEY WORDS:

- **PROTOTYPE**
- **PHYSIOLOGICAL PARAMETERS**
- **RELIABILITY**
- **ENERGY AUTONOMY**

INTRODUCCIÓN

El estudio sobre dispositivos para la medición de señales fisiológicas plantea una inclusión de nuevas tecnologías de adquisición y transmisión de señales del cuerpo humano, con el fin de dar un soporte al diagnóstico y tratamiento de enfermedades sin la necesidad de recurrir a equipos sofisticados y de uso hospitalario.

El monitoreo y ubicación de efectivos militares ha sido una preocupación permanente para las Fuerzas Armadas, tanto en acciones de combate, como en actividades administrativas. El conocer la ubicación exacta de las patrullas es de vital importancia para la conducción de las operaciones militares, puesto que proporciona suficiente información que orienta hacia una adecuada toma de decisiones. Del mismo modo, contar con las herramientas para realizar un monitoreo real de datos fisiológicos de los soldados, es de vital importancia para el diagnóstico, cuidado y prevención del talento humano, desde una perspectiva operativa, administrativa y médica. Es por esto que se pretende crear un dispositivo móvil el cual monitoree la temperatura corporal, el ritmo cardíaco y el nivel de oxígeno en la sangre, cuyos datos sean respaldados en una memoria de tipo SD.

Este trabajo presenta el diseño de un prototipo de brazalete para medir las señales fisiológicas enfocadas a las labores profesionales de un soldado tanto en tareas militares como también en tareas administrativas. Se pretende tomar como referencia a trabajos realizados con tarjetas de adquisición (FPGA), microcontroladores y sensores que permiten medir la temperatura corporal, presión arterial, ritmo cardíaco y nivel de oxígeno en la sangre.

El uso de esta clase de dispositivos en los soldados en conjunto, permitirá tener un mayor control de las unidades militares y mejorar la eficiencia y efectividad de las operaciones tácticas, y tareas administrativas para determinar el correcto cumplimiento de las mismas.

El desarrollo de este trabajo ayudara a futuros proyectos sobre la transmisión de señales fisiológicas utilizando tecnologías inalámbricas y procesamiento de datos mediante nuevos sistemas computacionales (IOT – Internet of things).

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

El capítulo número 1 trata sobre la justificación, la importancia, así como los objetivos de la tesis desarrollada. Se detalla los estudios realizados anteriormente sobre el control de la salud en los soldados en el Ecuador, así como también en otros países. Se detalla las soluciones tecnológicas utilizadas para resolver distintas necesidades en el ámbito de la salud (E-health).

1.1. Antecedentes

1.1.1. Soluciones tecnológicas.

E – health

Una nueva tecnología eHealth que agrupa las prácticas de salud asistidas por la tecnología digital y móvil. Posee grandes beneficios para nosotros en nuestro papel como pacientes, así como también para las organizaciones de salud y los gobiernos. (Gupta & Mukherjee, 2016)

- Disminuyendo la distancia entre los pacientes y los médicos.

Tener que salir a ver al médico es oportuno, pero plataformas como Skype o Google Hangouts ofrecen servicios de teleconferencia que están ayudando a fomentar las citas virtuales. Más impresionante aún es la aplicación de Health Tap, con la que podrás contactar con más de 65.000 médicos que están online las 24 horas, los 7 días de la semana y responderán a tus preguntas sobre salud con rapidez y precisión. (Turjman, 2017)

- Mantenerse saludable es a donde la tecnología cada día más nos lleva.

La tecnología centrada en conseguir que mantengas una vida saludable también está creciendo. Una demostración de este claro avance es la Tao Chair, por ejemplo, que se dio a conocer en la CES 2015. Consiste en una silla que al mismo tiempo que relaja los músculos quema también algunas calorías. Se empuja contra tus brazos de tal forma que, al ejercer presión, tu cuerpo muestra resistencia. Cuanto más lo haces, más calorías consumes. (Singh & Turjman, 2016).

- El personal no se sentirá tan fatigado y se eliminará la presión.

Más positivas son las herramientas que permiten monitorizar a los médicos a sus pacientes de forma remota. BAM Labs ofrece un sensor FDA aprobado que se puede colocar bajo la cama de un paciente para controlar su patrón de sueño, su ritmo cardíaco y su respiración. La principal ventaja de este sistema es que no hay cables, por lo que los datos que a través del mismo se recogen, pueden verse a través de una aplicación habilitada para los dispositivos con acceso a internet. (Junguk, Mirzaei, Oberg, & Kastner, 2016)

Empresas

- Novant (Ginger.io)

La app de Ginger.io rastrea la forma en que los pacientes utilizan sus teléfonos, buscando patrones en la comunicación y en la localización, y emplean una serie de algoritmos para alertar a los cuidadores al detectar cambios que puedan indicar síntomas o crisis. La tecnología se está implementando actualmente en el Hospital Infantil de Cincinnati y en Carolina del Norte, a través

de la red de proveedores Novant. Hasta la fecha, Ginger.io ha recogido más de 6 millones de puntos de datos de los pacientes. (Mbientlab, 2017)

- IBM (Watson)

Watson, el superordenador de IBM, es una promesa para mejorar la administración de la salud y, más importante, en el tratamiento del cáncer. Su despliegue médico comenzó con el gigante WellPoint (para realizar exámenes administrativos) y en el Memorial Sloan Kettering, donde está aprendiendo todo sobre el tratamiento del cáncer de los oncólogos más prestigiosos del mundo. (Ahmed, 2017)

- Proteus Digital Health

Proteus desarrolla “medicamentos digitales”, como su sistema de retroalimentación de salud digital de Heliuss, que integra productos farmacéuticos regulares con sensores ingeribles. Cuando se ingiere, el sensor se comunica con un parche portable, que también captura las respuestas fisiológicas y detecta el ritmo cardíaco, la actividad y el descanso. El sistema envía la información a un dispositivo móvil, y luego a los proveedores de atención de la salud o cuidadores. (Ziguel, Cohen, & Katz, 2017)

- Doximity

Doximity, el LinkedIn de los médicos, no ha dejado de crecer desde su lanzamiento en 2011. El personal médico que lo usa mensaje de manera segura sobre los pacientes, hacen análisis mediante faxes, se puede en Doximity analizar también igual que Facebook o Instagram los perfiles de otros especialistas o personal médico en general. (Honeywell, 2015)

- Google (Lift Labs)

Lift labs creo unas cucharas estabilizadoras que se usa para evitar o los temblores que padecen las personas con parkinson, La multinacional Google compro Lift Labs y el responsable continup el mismo foco de trabajo con una nueva división llamada Google X.

- CliniOps

CliniOps es una empresa en el cual su primero objetivo es llevar a digital los ensayos clínicos para poder hacerlos digitalmente mas eficientes. Cuando esta digitalizado se puede enviar recordatorios, correos electrónicos a los pacientes y médicos. En la aplicación los pacientes pueden subir videos y fotos para poder hacer un control mas eficiente e incluso se puede subir toda la información a la nube, esto es de significativa utilidad para ver el estado del paciente en tiempo real. (Diagnostrum, 2015)

- Evolent Health

Esta empresa se encarga de la venta de software, consultoría e información de tecnología a profesionales de la salud y hospitales, también a los proveedores de atención medica. Usan tecnología llamada Identifi que hace que se comparta unformacion sobre los médicos y pacientes, pero a un costo mas accesible que softwares similares. (Diagnostrum, 2015)

- Apple (ResearchKit)

Apple ha creado “ResearchKit“, la cual es una via diferente para la creación de dispositivos iOS con HealthKit para herramientas de diagnostico medico. (Diagnostrum, 2015)

1.1.2. Control de salud en los soldados.

El uso de esta clase de dispositivos en los soldados en conjunto, permitirá tener un mayor control de las unidades militares y mejorar la eficiencia y efectividad de las operaciones tácticas, y tareas administrativas para determinar el correcto cumplimiento de las mismas. (Kuetilek, Volf, Viteckova, & Smrcka, 2017)

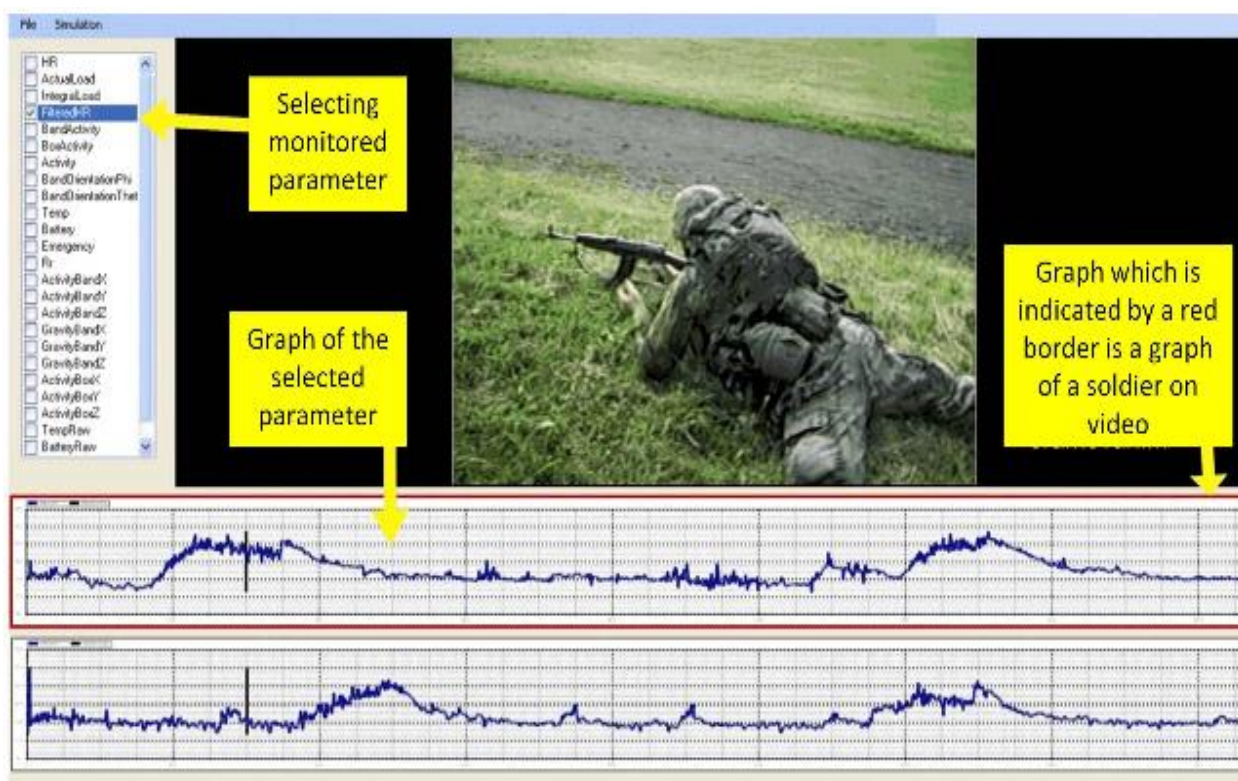


Figura 1. Interfaz de usuario con los datos medidos de un soldado

Fuente: (Kuetilek, Volf, Viteckova, & Smrcka, 2017)

1.2. Justificación e Importancia

Teniendo en cuenta que el país se encuentra en etapa de desarrollo tecnológico, el CICTE como entidad de investigación y desarrollo de aplicaciones militares desea diseñar y desarrollar prototipos que ayuden como base para la realización de futuros Proyectos Macros que permitan incrementar la eficiencia y rendimiento de los soldados en ambientes hostiles, y controlados (actividades administrativas). Esto ayuda de una manera única ya que no se dependerá de entidades extranjeras para la compra o adquisición de estos dispositivos y dejar de depender de plataformas y dispositivos de arquitectura cerrada y privada. De igual, manera la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se beneficiaría de este proyecto ya que se puede llegar a incrementar el renombre que está ganando en el ámbito internacional sobre nuevas tecnologías que se están aplicando al país y en el desarrollo de proyectos científicos y divulgación de artículos técnicos.

Una de las principales ventajas de la realización de este prototipo es ayudar a alcanzar futuros proyectos referentes a la seguridad de los soldados, el monitoreo y el tiempo de respuesta para asistir a un soldado se reduce de gran manera con estos dispositivos ya que al tener la facilidad de un monitoreo remoto ayuda a que los jefes de unidad o médicos tomen las mejores decisiones para asistir al soldado.

1.3. Alcance

El área de influencia del proyecto abarca tanto el campo académico como el campo de la seguridad y defensa puesto que los resultados que se obtendrían de este prototipo serán la base para futuras investigaciones o futuros temas de grado siguiendo las líneas de investigación de la

universidad y para el desarrollo de soluciones que beneficiarían a las Fuerzas Armadas del Ecuador.

El presente proyecto tiene las siguientes etapas de desarrollo:

- Diseño de dispositivo:

Establecer los parámetros de diseño mecánico del dispositivo partiendo del diseño de una pulsera táctica utilizado por los soldados en operaciones militares y actividades administrativas, el prototipo será construido con la finalidad de cumplir con las pruebas de concepto dentro de un laboratorio debido a que se trata de un prototipo.

- Adquisición de señales:

Realizar acondicionamientos electrónicos y mecánicos para todos los sensores utilizados en el dispositivo; de tal manera que las señales fisiológicas del soldado puedan ser adquiridas de manera correcta y con el menor porcentaje de error.

- Procesamiento de Datos:

El microcontrolador utilizado debe poseer las características suficientes para la recepción, el análisis y respaldo de los datos a través de una memoria de tipo microSD. Establecer tiempos de muestreo para la recepción de datos de cada señal según el tipo de señal fisiológica que se requiera obtener.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo móvil que permita monitorear las señales fisiológicas del soldado ecuatoriano, para mejorar la eficiencia del control médico del personal militar en la ejecución de operaciones militares y actividades administrativas.

1.4.2. Objetivos Específico

- Diseñar, implementar y construir un prototipo mecatrónico de tipo pulsera inteligente para el monitoreo de los signos vitales en los soldados como son el ritmo cardiaco, el nivel de oxígeno en la sangre y la temperatura corporal.
- Diseñar e implementar un dispositivo móvil que permita la adquisición y registro de los datos a través de un sistema embebido de sensores fisiológicos y microcontroladores de tecnología XLP (Xtreme Low Power).
- Implementar un sistema de control para una micro - bomba electrónica (tensiómetro digital) que permita la medición de la presión arterial en los soldados.

1.5. Estructura del Documento

El Capítulo 1 contiene: Una descripción general del proyecto, los antecedentes relacionados al tema del proyecto, la identificación del problema, importancia y justificación para realizar este tipo de proyecto, el alcance y los objetivos para lograr el desarrollo del proyecto.

El Capítulo 2 contiene: El estado del arte referente a las pulseras inteligentes comerciales, así como también los prototipos de brazaletes inteligentes desarrollados con fines médicos, los métodos y procesos de medición de las señales fisiológicas en el ser humano.

El Capítulo 3 contiene: La metodología de diseño mecatrónico del sistema de adquisición y monitoreo de las señales fisiológicas en los soldados mediante el análisis de los sistemas y subsistemas conformados según su estructura mecánica y electrónica, software, comunicación y compatibilidad.

El Capítulo 4 contiene: El desarrollo y proceso de implementación del prototipo partiendo desde sus componentes mecánicos y electrónicos hasta llegar al ensamble final de sistema embebido. También se muestra un estudio comparativo con otro tipo de dispositivo desarrollado en el Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército con la finalidad de procesar los datos obtenidos con ambos dispositivos para un posterior estudio científico.

El Capítulo 5 contiene: Las conclusiones obtenidas durante el desarrollo y posterior implementación del prototipo, las recomendaciones sobre su aplicación y el enfoque a futuros trabajos que pueden ser desarrollados a partir de este proyecto.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

El capítulo a continuación se refiere a las técnicas e instrumentos tecnológicos utilizados para el monitoreo de los signos vitales; Así como también al estudio de pulseras inteligentes que actualmente se comercializan con la finalidad de realizar un análisis comparativo respecto al diseño electrónico, mecánico y materiales de fabricación. Por último, se presenta algunos dispositivos de instrumentación necesarios para la adquisición de los datos fisiológicos a través de microcontroladores de tecnología XLP (Xtreme Low Power).

2.1. Técnicas de Monitoreo en los signos vitales

2.1.1. Ritmo Cardíaco

2.1.1.1. Electrocardiograma (ECG)

El electrocardiograma (ECG o EKG) es una herramienta de diagnóstico que se utiliza habitualmente para evaluar las funciones eléctricas y musculares del corazón. Los electrodos son dispositivos que permiten medir las señales fisiológicas, su principio de funcionamiento es convertir las corrientes iónicas producidas por la distribución de potencial creada en el interior del tejido vivo en corrientes electrónicas.



Figura 2. Electrodo de ECG

Fuente: (Kim, Chan, & Feng, 2017)

Es sensor consta de 3 cables (positivo, negativo y neutro), los cuales van conectados como se muestra en la siguiente ilustración:

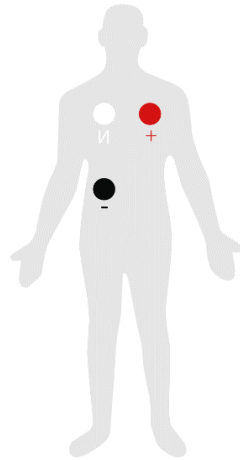


Figura 3. Ubicación de los electrodos
Fuente: (Kim, Chan, & Feng, 2017)

2.1.1.2. Sensor de pulso de ritmo cardíaco

El sensor de pulso de ritmo cardíaco mide la frecuencia cardíaca como BPM a través de un sensor óptico. (Mbientlab, 2017)



Figura 4. Sensor de pulso de ritmo cardíaco
Fuente: (Mbientlab, 2017)

El sensor de pulso se utiliza para medir la frecuencia cardíaca (BPM) en la muñeca, el tobillo, el lóbulo de la oreja, el dedo y más. Este sensor adicional puede ser utilizado para desarrollar trabajos interactivos y aplicaciones relacionadas con la salud, la medicina y el fitness. (Mbientlab, 2017).

2.1.1.3. Monitor de frecuencia cardíaca de Ejercicio

Monitor de frecuencia cardíaca de Ejercicio es una excelente opción de manos libres para el seguimiento continuo de la frecuencia cardíaca antes, durante y después del ejercicio o mientras una persona está parada. (Villanueva, 2017)



Figura 5. Correa de pecho para medir la frecuencia cardíaca

Fuente: (Villanueva, 2017)

El uso de la correa del pecho, los datos se transmiten de forma inalámbrica a una interfaz de Vernier con el receptor de frecuencia cardíaca. Los datos también pueden ser transmitidos a través de Bluetooth para LabQuest 2 (puede requerir hardware adicional), IOS, o Android dispositivos sin el receptor. (Villanueva, 2017).

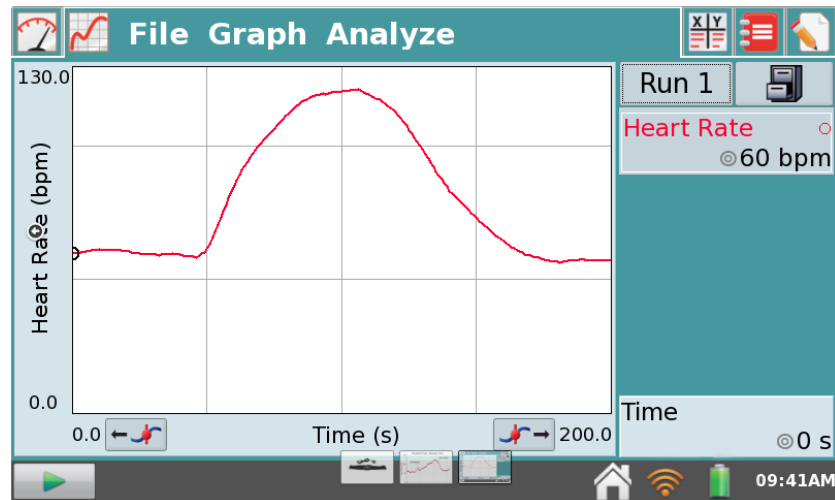


Figura 6. Plataforma de Visualización de la frecuencia cardiaca
Fuente: (Villanueva, 2017)

Especificaciones

- Tipo de batería: CR 2025
- Vida útil de la batería: 200 horas
- Temperatura de funcionamiento: -10 a 50 ° C
- Radios: Bluetooth y transmisión de RF 5 kHz
- Alcance inalámbrico:
- Transmisión RF: de 80 a 100 cm
- Bluetooth: 10 m o más sin obstáculos

2.1.2. Temperatura Corporal

La temperatura corporal promedio comúnmente aceptada (tomada internamente) es 37.0 ° C (98.6 ° F). En los adultos sanos, la temperatura corporal oscila alrededor de 0,5 ° C durante todo el día, con temperaturas más bajas por la mañana y temperaturas más altas por la tarde también por la noche, todo depende con que necesidades y actividades va cambiando el cuerpo. (Vaz, Ubarretxena, Zalbide, & Pardo, 2010)

Es de gran importancia médica medir la temperatura corporal. La razón es que una serie de enfermedades se acompañan de cambios característicos en la temperatura corporal. Del mismo modo, el curso de ciertas enfermedades puede controlarse midiendo la temperatura corporal, y la eficacia de un tratamiento iniciado puede ser evaluada por el médico. (Vaz, Ubarretxena, Zalbide, & Pardo, 2010)

Tabla 1.

Rangos de Temperatura

Hipotermia	35,0°C (95,0°F)
Normal	36,5 - 37,5 ° C (97,7 - 99,5 ° F)
Fiebre o Hipertermia	> 37,5 - 38,3 ° C (99,5-100,9 ° F)
Hiperpirexia	> 40,0-41,5 ° C (104-106,7 ° F)

Fuente: (Vaz, Ubarretxena, Zalbide, & Pardo, 2010)

2.1.2.1. Termistor

La temperatura del cuerpo humano se puede medir usando un sensor de tipo termistor (HP-SAR-275A HP). La resistencia de un termistor depende de la temperatura ambiente. El sensor está fijado a la piel humana y la medición se realiza con la suposición de que las temperaturas del

termistor y la piel son los mismos. Esta solución es buena para las personas en constante movimiento o personas que requieren monitoreo continuo de temperatura. (Pawel, Krzysztof, & Witold, 2016)

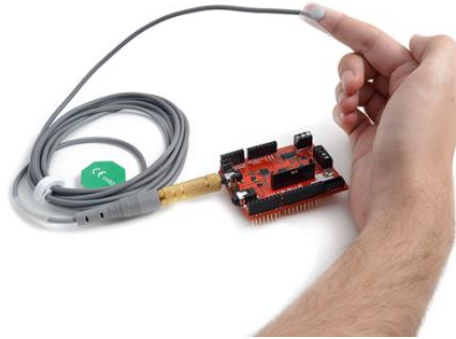


Figura 7. Sensor de tipo termistor
Fuente: (Pawel, Krzysztof, & Witold, 2016)

- Calibración del Sensor

Cuando se utiliza el sensor de temperatura, se está midiendo realmente un voltaje, y se relaciona con lo que debe ser la temperatura de funcionamiento del sensor. La calibración es un proceso de medición de valores reales de tensión y resistencia [R_c , R_a , R_b , Ref Tensión]. (Pawel, Krzysztof, & Witold, 2016)

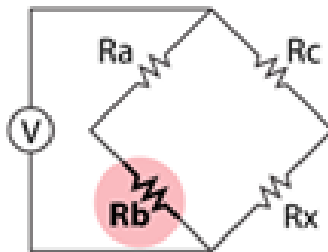


Figura 8. Circuito tipo termistor
Fuente: (Pawel, Krzysztof, & Witold, 2016)

2.1.2.2. Las sondas de temperatura

Las sondas de temperatura se caracterizan por una alta precisión, diseño sólido y el uso de materiales biocompatibles. Las sondas reutilizables son autoclavable (Temperatura máxima 134°C) y pueden ser equipados con tapones. (Honeywell, 2015).

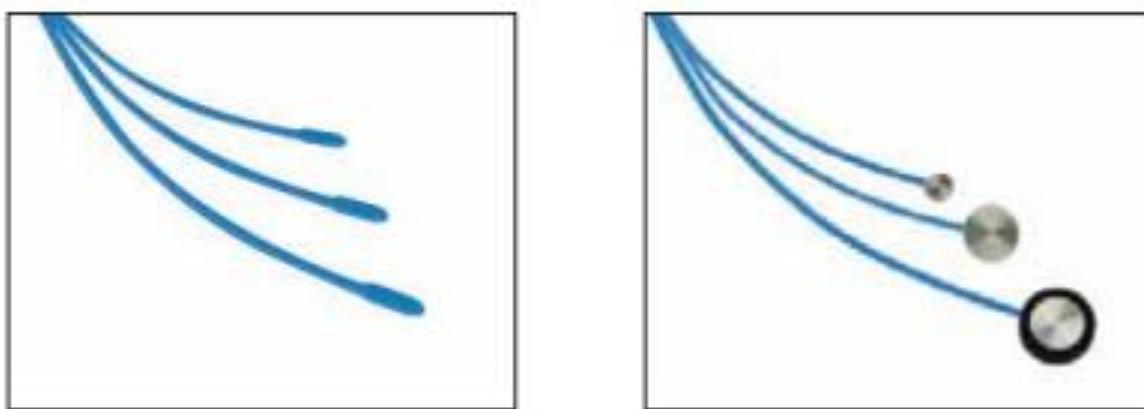


Figura 9. Tipos de sondas: De esófago - De contacto con la piel

Fuente: (Honeywell, 2015)



Figura 10. Tipos de conectores

Fuente: (Honeywell, 2015)

Tabla 2.*Datos técnicos de las sondas de temperatura*

Datos Técnicos	
Principio de medición	NTC
Curva Característica	YSI 400 compatibles
Rango de medición	0 - 50 °C
Exactitud	±0,1 °C en el intervalo de 25 - 50 °C
Limpieza	Agua más detergente suave
Desinfección	Cidex / maldehído glutaral, 70% de alcohol iso-propilo
Esterilización	autoclavable de vapor a 134 °C (ciclos estándar)
Regulador	Materiales utilizados según la norma ISO 10993 CE
Terminación	6,35 mm de teléfono, HP - y Siemens - conector
Sin Látex	Todos los sensores de temperatura ComfortLine
Largo total	275 cm; otras longitudes bajo pedido

Fuente: (Honeywell, 2015)

2.1.2.3. Sensor de Temperatura Corporal para Plataforma de Salud Electrónica

Este sensor le permite medir la temperatura corporal. Es de gran importancia médica medir la temperatura corporal. La razón es que una serie de enfermedades se acompañan de cambios característicos en la temperatura corporal. Del mismo modo, el curso de ciertas enfermedades puede controlarse midiendo la temperatura corporal, y la eficacia de un tratamiento iniciado puede ser evaluada por el médico. (Libelium, 2017)



Figura 11. Sensor de temperatura corporal

Fuente: (Libelium, 2017)

- El sensor de temperatura le permite medir este parámetro clave para la supervisión del cuerpo. Su medida de la temperatura del cuerpo humano con una desviación máxima de 0,1 °C. (Libelium, 2017).
- El sensor debe conectarse al conector de temperatura específico de una tarjeta MySignals y funciona con una fuente de alimentación de conector directo. (Libelium, 2017)

2.1.3. Nivel de oxígeno en la sangre

2.1.3.1. Sensor SPO2

La saturación de oxígeno se define como la medida de la cantidad de oxígeno disuelto en sangre, basada en la detección de Hemoglobina y Deoxi-hemoglobina. Se usan dos longitudes de onda de luz diferentes para medir la diferencia real en los espectros de absorción de HbO₂ y Hb. (Jurik & Weaver, 2008)

Un sensor de oxímetro de pulso es útil en cualquier entorno en el que la oxigenación del paciente sea inestable, incluyendo el cuidado intensivo, la operación, la recuperación, la emergencia y el hospital, los pilotos en aeronaves no presurizadas para evaluar la oxigenación de cualquier paciente y determinar la efectividad o necesidad de oxígeno suplementario. (Kim, Chan, & Feng, 2017)

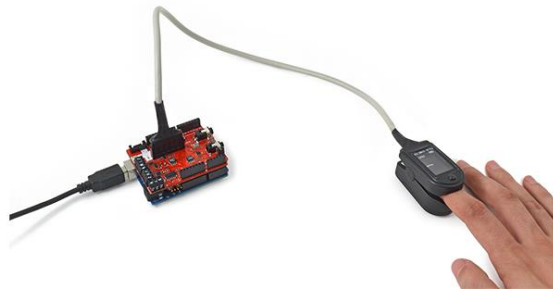


Figura 12. Sensor SPO2
Fuente: (Kim, Chan, & Feng, 2017)

Los rangos normales aceptables para los pacientes son del 95 al 99 por ciento, los que tienen un problema de unidad hipóxica esperan valores entre 88 y 94 por ciento, los valores del 100 por ciento pueden indicar envenenamiento por monóxido de carbono. El sensor debe estar conectado al dedo índice por un extremo para la toma de la señal y su conector debe ir al Arduino o al Raspberry Pi, y no utilice la batería externa / interna. (Kim, Chan, & Feng, 2017)

2.1.4. Presión Arterial

La presión arterial es la presión de la sangre en las arterias, ya que se bombea alrededor del cuerpo por el corazón. Cuando su corazón late, se contrae y empuja la sangre a través de las arterias

al resto de su cuerpo. Esta fuerza crea presión sobre las arterias. La presión arterial se registra como dos números-la presión sistólica (como el corazón late) sobre la presión diastólica (como el corazón se relaja entre latidos). (Millasseau, 2016)

Tabla 3.

Clasificación de la presión arterial para adultos (mayores de 18 años)

	Sistólica (mm Hg)	Diastólica (mm Hg)
Hipotensión	<90	<60
Deseado	90-119	60-79
Prehipertensión	120-139	80-89
Hipertensión de la Etapa 1	140-159	90-99
Hipertensión de la Etapa 2	160-179	100-109
Crisis hipertensiva	≥ 180	≥ 110

Fuente: (Millasseau, 2016)

2.1.4.1. El Sensor de presión arterial (esfigmomanómetro)



Figura 13. Sensor de presión arterial

Fuente: (Millasseau, 2016)

El sensor de presión arterial tomará unos momentos para calcular la lectura de azúcar en la sangre. Almacena los valores en la memoria. Con el fin de extraer los datos del esfigmomanómetro a la Arduino o Frambuesa Pi, conecte el cable como muestra en la imagen.



Figura 14. Conexión del sensor de presión arterial

Fuente: (Millasseau, 2016)

2.1.4.2. Sensor de presión arterial

El sensor de presión arterial es un sensor no invasivo diseñado para medir la presión de la sangre humana. Mide sistólica, diastólica y la presión arterial media utilizando la técnica oscilométrica. También se informa de la frecuencia del pulso. (Villanueva, 2017)



Figura 15. Sensor de presión arterial con software

Fuente: (Villanueva, 2017)



Figura 16. Sensor de presión arterial
Fuente: (Villanueva, 2017)

Especificaciones

- Rango de presión: 0 mm Hg a 258 mm Hg
- La presión máxima y sin daño permanente: 1.550 mm Hg
- La precisión típica: ± 1 mm de Hg
- Con compensación de temperatura: -20°C a 85°C
- elemento de detección: SSCMRRN005PGAA5
- linealidad e histéresis combinada: $\pm 0,25\%$ típica
- Tiempo de respuesta: 1 milisegundo

2.2. Pulseras Inteligentes

Las Smartbands (pulseras de actividad), no pueden ser olvidadas, aunque sus funcionalidades sean más limitadas. Estos dispositivos tienen una gran similitud con los relojes inteligentes, siendo en ocasiones difíciles de diferenciar.

Las pulseras en ocasiones tienen tantas o más funcionalidades que un reloj inteligente; y para complicar aún más la cosa, muchas de ellas también tienen pantalla. (RelojAndroid, 2018).

Algunas de las características generales y funciones principales de esta clase de dispositivos son:

- **Actividad física:** Es la principal funcionalidad de estos dispositivos. Conocer diferentes datos de nuestra actividad física como pueden ser: calorías, pasos, distancias. La mayoría de las pulseras actuales cuentan con pulsómetro, y alguna de ellas con GPS.
- **Notificaciones y avisos:** Muchas pulseras nos permiten conectar con nuestro teléfono por bluetooth, y aunque no podemos interactuar con estas notificaciones, sí que podemos recibir avisos, e incluso aceptar o rechazar llamadas.
- **Monitor de sueño y sedentarismo:** Otra de las funciones más ampliadas, son la posibilidad de conocer nuestras horas de sueño, y el estado del mismo. También muchas de las pulseras, mediante la aplicación el teléfono nos permite programar avisos de sedentarismo, o simplemente de la toma de un medicamento.

2.3. Pulseras Inteligentes Comerciales

Las principales empresas en insertar al mercado los dispositivos conocidos como “Smart band” y “Smartwhatch” han desarrollado una tecnología adaptable y compatible con teléfonos inteligentes mediante el uso de aplicaciones que mejoran el control y monitoreo de los parámetros fisiológicos en el ser humano.

En la actualidad existen gran cantidad y mucha variedad de pulseras tipo inteligentes, pero en la gran mayoría de ellas su funcionalidad es de forma similar independientemente de la marca que esta tenga. En términos generales, se conectan mediante el celular o smartphone con una red Bluetooth para luego, a través de una aplicación especial organiza los datos recogidos y obtiene ciertos datos estadísticos. (Santos, 2017)





Los datos adquiridos son diferentes, todo depende que tipo de pulsera se tenga o que marca se utilice. Las más económicas se limitan a unos pocos datos o parámetros, como los pasos que se dan o la distancia que se recorre a lo largo del día. Los modelos mas caros dan la frecuencia cardiaca, el nivel de oxigeno en la sangre, algunas pulseras también dan información sobre la ubicación mediante datos GSM o similares. (Santos, 2017)

Una pulsera mas cara también permite acceso a los datos mediante el celular con aplicaciones de las mismas pulseras inteligentes, también se puede recibir notificaciones de los mensajes, llamadas telefónicas a la pulsera siempre y cuando esta este conectada al teléfono por bluetooth o algún otro protocolo de comunicacion. (Santos, 2017)

2.3.1. Pulseras Inteligentes menos de 100,00\$

En la tabla 4 se detallan algunos modelos y tipos de “Smart Band” que han sido desarrolladas durante el transcurso del año 2018, así como también se detalla sus principales características que determinan un precio en el mercado menor a los 100 \$ (dólares americanos).

Tabla 4.
Mejores smart band menos de 100,00 \$

	Sony SWR10	Garmin Vivofit - Roja	Xiaomi Mi Band 2	Huawei TalkBand B1
Modelos Smartband				
Pantalla y correa	No Pantalla - Múltiples colores	Pantalla 1" No táctil - Múltiples colores	Pantalla OLED (no táctil)	1,4" OLED - Negro
Conectividad	Compatible con Android 4.4 o superior	Android e iOS	Bluetooth 4.0 - Android 4.0 e iOS 7.0	Bluetooth Android 4.0 o posterior iOS 5.0 o posterior
Monitor Sueño	No (si Alarma inteligente)	Si	Si	No
Pulsómetro	No	No (versión pulsómetro 98,00€)	Si	No
Autonomía batería	4 - 5 días	1 año	30 días	5 - 6 días
Puntuación Pulseras	6/10	6,5/10	9/10	6/10
Precio	47,00 \$	67,00 \$	27,00 \$	82,90 \$





Fuente: (RelojAndroid, 2018)

2.3.2. Pulseras Inteligentes más de 100,00\$

En la tabla 5 se detallan algunos modelos y tipos de “Smart Band” con mayores funcionalidades, y con diferentes sensores para medir la actividad física (GPS, pulsómetro, etc) cuyo costo supera los 100 \$ (dólares americanos).

Tabla 5.

Pulseras inteligentes más de 100,00 \$

	Fitbit Charge HR	Fitbit Surge	Fitbit Alta (Novedad)	Polar Loop 2
Modelos Smartband				
Pantalla y correa	Pantalla OLED - Múltiples colores	Pantalla táctil LCD	Pantalla táctil OLED	Pantalla Leed
Conectividad	Android, iOS, Windows Phone	Android, iOS, Windows Phone	Android, iOS, Windows Phone	Bluetooth (sincroniza app Polar Flow) y PC
Monitor Sueño	Si	Si	Si	Si
Pulsómetro	Si	Si	No	No (sensor Polar H7)
GPS	No	Si	No	No
Autonomía batería	5 días	7 días normal 1 día con GPS activado	5 días	3 - 5 días
Puntuación Pulseras	8/10	7/10	8/10	6/10
Precio	140,00 \$	200,00\$	139,00 \$	110,00 \$

Fuente: (RelojAndroid, 2018)

2.4. Asistencia Médica en los soldados

2.4.1. Dirección de Bienestar de Personal

La D.B.P.E se encargará de planificar, controlar y evaluar los procesos que se encargan del bienestar integral del personal en servicio activo, también velara por la seguridad de la familia del personal militar así como a los servidores públicos con la finalidad de lograr una cobertura total en los servicios otorgados. (FFAA, 2019)



Figura 17. Control Médico en el Personal Militar
Fuente: (FFAA, 2019)

2.4.2. Estructura de la Dirección de Bienestar de Personal

- Unidad de Asistencia Social
- Unidad de Servicios Sociales
- Unidad de Clima Laboral

- Unidad de Salud
- Fundación Virgen de la Merced

2.4.3. Unidad de Salud

Forma parte de la Dirección de Bienestar de Personal del Ejército, esta unidad se encarga de asesorar al Comando General de la Fuerza tanto en intervenciones militares como en tiempos de paz con la finalidad del cumplimiento de la misión de la Fuerza Terrestre. (FFAA, 2019)

Servicios:

- Fichas Médicas
- Tratamiento y visitas Médicos Ambulatorios
- Tratamientos de los médicos psiquiátricos
- Estadísticas médicas.
- Tratamientos médicos en el país o en el extranjero.



Figura 18. Toma de Muestras y señales fisiológicas en los soldados

Fuente: (FFAA, 2019)

2.5. Instrumentación Mecatrónica

2.5.1. Módulo MAX30101

El MAX30101 es un módulo integrado de pulsioximetría y monitor de frecuencia cardíaca. Incluye LED internos, fotodetectores, elementos ópticos y componentes electrónicos de bajo nivel de ruido con rechazo a la luz ambiental. El MAX30101 proporciona una solución de sistema completa para facilitar el proceso de diseño para dispositivos móviles y portátiles.

El MAX30101 funciona con una sola fuente de alimentación de 1.8 V y una fuente de alimentación de 5.0V por separado para los LED internos. La comunicación es a través de una interfaz estándar I²C-compatible. El módulo se puede apagar a través de un software con cero corrientes de espera, lo que permite que los rieles de alimentación permanezcan conectados en todo momento. (MaximIntegrated, 2018)

Características Principales

- Monitor de frecuencia cardíaca y sensor de oxímetro de pulso en solución reflectante LED.
- Pequeño módulo óptico de 14 pines x 3.3 mm × 1.55 mm de 14 pines.
- Vidrio de cubierta integrado para un rendimiento óptico y robusto.
- Operación de energía ultra baja para dispositivos móviles.
- Velocidad de muestreo programable y corriente LED para ahorro de energía
- Monitor de frecuencia cardíaca de baja potencia (<1mW)
- Corriente de parada ultra baja (0.7μA, típico)
- Tasas de muestreo altas
- Resistencia al artefacto de movimiento robusto
- SNR alto
- -40 ° C a +85 ° C Rango de temperatura de funcionamiento

Aplicaciones / Usos

- Dispositivos de asistencia física
- Dispositivos usables

2.6. Tecnología XLP en Microcontroladores

2.6.1. Microcontroladores de 32 bit con tecnología XLP

Mouser Electronics, una filial de TTI, y distribuidor global de semiconductores y componentes electrónicos, informa que Microchip comercializa su nueva familia de microcontroladores de 32 bit con tecnología XLP (eXtreme Low Power). (Llorente, 2017).

La familia PIC32MX1/2 XLP facilita la migración a los clientes de PIC32MX para alcanzar unas mayores prestaciones con un consumo mucho más bajo, lo cual permite potenciar las funciones y prolongar la autonomía de la batería en aplicaciones portátiles. Esto aumenta las prestaciones en dispositivos de pocas patillas y exige poca revisión de código a los clientes existentes.

La tecnología XLP de Microchip está diseñada para tecnología Wireless, redes inalámbricas de sensores y otros dispositivos conectados inteligentes, y ofrece modos de funcionamiento de baja corriente en activo y en reposo, que ocupan entre un 90% y un 99% del tiempo en aplicaciones de muy bajo consumo. Permitirá añadir los modos de bajo consumo Sleep y Deep Sleep en los dispositivos PIC32MX1/2 XLP, reduciendo así las corrientes en modo Deep Sleep hasta 673 nA.

La familia ofrece diversas configuraciones de memoria con 128/256 KB de Flash y 32/64 KB de RAM en encapsulados de 28 a 44 patillas. También incorporan un amplio conjunto de periféricos de bajo coste, entre ellos I2S para audio digital, 116 DMIPS para ejecución de aplicaciones de audio y control avanzado, un convertidor A/D de 10 bit, 1 Msps y 13 canales, y periféricos para comunicaciones serie. (Llorente, 2017)

2.7. Software para los microcontroladores de 32 bit con tecnología XLP

Además de las funciones de los periféricos de hardware, la serie cuenta con el soporte del entorno de desarrollo de software MPLAB Harmony, que simplifica los ciclos de desarrollo al integrar la licencia, la reventa y el soporte de Microchip, sí como de middleware, drivers, bibliotecas y sistemas operativos en tiempo real de terceros.

En concreto, los paquetes de software de fácil acceso de Microchip, como paquetes de desarrollo de audio de Bluetooth, bibliotecas de filtros ecualizadores de audio, decodificadores (como AAC, MP3, SBC), bibliotecas de conversión de la velocidad de muestreo y pilas USB reducirán rápidamente el tiempo de desarrollo de aplicaciones de audio digital, consumo, industria y control embebido en general. (Llorente, 2017)

2.8. Tensiómetro (Medidor de Presión Arterial)

En el ámbito médico, el tensiómetro es un aparato con una bomba que sirve para medir la tensión arterial de una persona. Medir la presión arterial significa que medira la presión ejercida por la sangre sobre las paredes circulares de los vasos. La unidad de medida de la presión arterial son los milímetros de mercurio (mmHg). (Pérez, 2016)

El tensiómetro digital y automático es un artículo ideal para la mayoría de la gente; es suficiente con ponerse el manguito, pulsar un botón, apriete el manguito y luego de unos segundos se muestren los resultados en la pantalla. En esta clasificación estan los tensiómetros del brazo, de los dedos y de la muñeca, donde el tensiómetro del brazo es el articulo que ofrece el mejor resultado o el mas preciso. (Pérez, 2016)



Figura 19. Tensiómetro digital

Fuente: (Pérez, 2016)

Si una persona sufre hipotensión (presión baja) o hipertensión (presión alta) que se hizo revisar a través de un tensiómetro, entonces puede mejorar estos problemas con mejorar la dieta para regularizar la presión o mejorar la actividad física. (Pérez, 2016).

2.9. Resumen

La valoración del estado de un paciente se lo realiza por observación de un profesional de la salud y exámenes físicos, sin embargo, la medición de los datos o parámetros objetivos también llamados signos o constantes vitales como temperatura, respiración pulso y presión arterial es de suma importancia en la conclusión que tendrá el médico para valorar al paciente, estos datos proporcionan una base sólida desde la que se pueda empezar a desarrollar cuidados de calidad hacia el paciente.

Las medidas o valores de diferentes signos vitales varían de una persona a otra, incluso cuando se trata de una misma persona puede variar bastante dependiendo del grado de ejercicio

realizado, la tensión emocional, el clima, la hora del día, todos estas constantes vitales se registran en una base de datos para que el profesional de la salud pueda acceder a ella ya sea en forma de tablas o gráficas, es de suma importancia realizar la anotación de todos los signos de la manera más exacta y cualquier cambio que pueda ser relevante se lo debe informar a la enfermería para tomar una pronta decisión.

Con la constante evolución tecnológica, los métodos para obtener las medidas de los signos vitales han ido mejorando y cada vez son menos invasivos, uno de los métodos no invasivos es auscultando una arteria sobre la que se aplica una presión externa, estos dispositivos son llamados esfigmomanómetro o tensiómetro el cual nos servirá para realizar la medición de la presión arterial, otro método no invasivo pero para realizar la medición del ritmo cardiaco y nivel de oxígeno en la sangre es mediante luz roja e infrarroja donde al enviar pulsos de luz a una parte del cuerpo blanda se puede obtener medidas y procesarlas con el fin de saber los rangos de constantes vitales del paciente.

Las pulseras inteligentes o también llamadas smartbands son dispositivos que se puede llevar como un accesorio más en el cuerpo y sirven para monitorear las constantes vitales en tiempo real, todos estos datos pueden ser enviados a una base de datos en la web o a su vez ser grabados en una memoria pequeña. La mayoría de las pulseras inteligentes o smartbands son creadas por empresas privadas en las que acceder a los datos solo pueden hacer las empresas. También existen las pulseras inteligentes basadas en software libre en la que el acceso a los datos es con fines investigativos para promover el desarrollo de estas tecnológicas.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y DISEÑO MECATRÓNICO DE LOS SISTEMAS

En el siguiente capítulo se realiza un estudio y análisis de las fases de diseño para un sistema electrónico que tiene como finalidad monitorear y adquirir las señales fisiológicas en un soldado. Para después realizar una fase de desarrollo y selección de conceptos que a través de los resultados obtenidos del análisis de cada sistema y subsistema. Se termina con la fase de pruebas y análisis de resultados mediante simulaciones sobre el prototipo final.

3.1. Metodología de Diseño

La metodología de diseño planteada para el desarrollo del proyecto está basada en el Diseño y Desarrollo de Productos propuesta por Karl T. Ulrich. El cual establece un proceso genérico enfocado al desarrollo del producto que consta de seis fases, como se observa en la Figura 20.

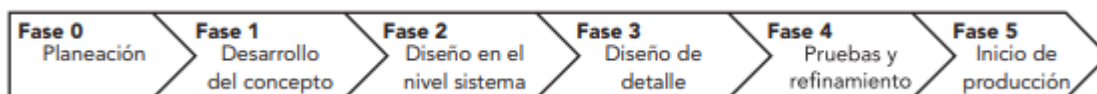


Figura 20. Proceso genérico del producto en donde se muestran 6 fases de desarrollo.

Fuente: (Ulrich & Eppinger, 2013)

El proceso se inicia con una fase de planeación, que permite la conexión con todas las actividades avanzadas de desarrollo en investigación y tecnología. Para el desarrollo de las siguientes fases se inicia con la identificación de los problemas y necesidades tomando como referencia a los objetivos planteados en el proyecto. De tal manera que se pueda generar conceptos

e ideas que permitan integrar y analizar diferentes propuestas de soluciones tecnológicas mediante matices de conveniencia.

3.1.1. Identificación de Necesidades

El desarrollo del prototipo de pulsera inteligente está basado en los requerimientos propuestos y establecidos por parte de un grupo de docentes investigadores del Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército (CICTE). El proyecto consiste en dar solución a la necesidad principal de la Fuerzas Armadas en el área de salud, la cual tiene como finalidad crear un dispositivo móvil tipo pulsera inteligente para la adquisición de datos fisiológicos sobre su personal táctico y administrativo.

3.1.1.1. Matriz de Calidad

El proyecto pretende satisfacer la necesidad del cliente para lo cual es necesario el planteamiento específico de los requerimientos y características que el prototipo logre alcanzar. Para realizar un análisis detallado de todos los sistemas que intervienen en el desarrollo del prototipo es necesario hacer uso de las siguientes tablas:

En la Tabla 6 se muestra las necesidades del cliente enfocado a un nivel general de requerimientos ya sea técnico o funcional, dependiendo del sistema o subsistema que forme parte del prototipo.

Tabla 6.*Identificación de las necesidades del cliente*

Nro.	Sistemas	Requerimientos
1	Sistema 1: Prototipo de Pulsera Inteligente (Temperatura, Ritmo Cardíaco y Nivel de Oxígeno en la Sangre)	Medir 3 Señales Fisiológicas
2		No invasivo
3		Fácil de utilizar
4		Cómodo de usar
5		Movilidad y Durabilidad
6		Respaldo de datos
7		Recargable
8	Sistema 2: Micro – bomba (Presión Arterial)	Medir 1 señal Fisiológica
9		Control independiente
10		Compatibilidad

En la Tabla 7 se muestra los requerimientos y especificaciones técnicas por parte del cliente que permitan que los sistemas funcionen de forma sinérgica y conjunta entre ellos.

Tabla 7.*Especificaciones técnicas el prototipo*

Nro.	Sistemas	Requerimientos
1	Sistema 1: Prototipo de Pulsera Inteligente (Temperatura, Ritmo Cardíaco y Nivel de Oxígeno en la Sangre)	Sensores de Temperatura – Ritmo Cardíaco – Nivel de Oxígeno en la Sangre
2		Instrumentación compacta (tecnología micro)
3		Controles Intuitivos
4		Ergonomía
5		Robusto
6		Registro de datos (memoria)
7		Fuente energética (baterías – pilas)
8	Sistema 2: Micro – bomba (Presión Arterial)	Brazalete de Presión Arterial
9		Control externo
10		Comunicación abierta

La Tabla 8 es conocida como (Función de Desarrollo de Calidad o Matriz QDF), la cual permite organizar las necesidades en orden jerárquico según el resultado de la comparación de sus ponderaciones frente a sus requerimientos.

Tabla 8.
Matriz QFD del Prototipo

Características de Calidad (HOW)		Necesidades de calidad (WHAT)										Importancia para el Cliente (1-5)
		Sensores de Temperatura – Ritmo Cardíaco – Nivel de Oxígeno en la Sangre	Instrumentación compacta (tecnología micro)	Controles Intuitivos	Ergonomía	Robusto	Registro de datos (memoria)	Fuente energética (baterías – pilas)	Brazalete de Presión Arterial	Control externo	Comunicación abierta	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Medir 3 Señales Fisiológicas	10	10	1	1	1	5	5	5	1	1	5
2	No invasivo	10	10	5	1	5	5	1	1	1	1	5
3	Fácil de utilizar	1	1	10	1	1	1	1	1	1	1	3
4	Cómodo de usar	1	1	1	10	5	1	1	1	1	1	3
5	Movilidad y Durabilidad	10	5	5	5	10	1	1	1	1	1	4
6	Respaldo de datos	5	1	1	1	1	10	5	1	1	1	4
7	Recargable	5	1	1	1	1	1	10	1	1	1	4
8	Medir 1 señal Fisiológica	10	10	1	1	1	5	5	10	5	5	5
9	Control independiente	1	1	5	1	1	1	1	5	10	1	2
10	Compatibilidad	5	1	1	1	1	1	1	5	5	10	4
DIFICULTAD (1-5)		5	5	3	2	2	3	1	2	1	4	
ABSOLUTA		1290	950	330	164	214	405	131	256	93	380	
EVALUACIÓN	RELATIVA (%)	31	23	8	4	5	10	3	6	2	9	
	PRIORIDAD	1	2	5	8	7	3	9	6	10	4	

CONTINÚA

Relación:
Muy Fuerte (10)
Fuerte (5)
Débil (1)

3.1.2. Planeación

La matriz QFD muestra los resultados obtenidos mediante una valoración de ponderaciones entre las características técnicas y las necesidades propuestas por el cliente con la finalidad de agrupar los sistemas y subsistemas de acuerdo a la puntuación que estos alcancen.

En la Tabla 9 se muestra en orden descendente las especificaciones técnicas y necesidades del prototipo iniciando con las que alcanzaron su mayor puntuación y por ende las que tienen mayor importancia y relevancia sobre el proyecto.

Tabla 9.

Resultados de las especificaciones técnicas de la matriz QFD

Hito	Especificaciones Técnicas	Puntuación
1	Sensores de Temperatura – Ritmo Cardíaco – Nivel de Oxígeno en la Sangre.	1290
2	Instrumentación compacta no invasiva (tecnología micro).	950
3	Registro de datos (memoria).	405
4	Comunicación abierta compatible	380
5	Controles Intuitivos	330
6	Brazalete de Presión Arterial (micro – bomba)	256
7	Diseño Robusto	214
8	Diseño Ergonómico	164
9	Fuente energética recargable	131
10	Control externo compatible	93

3.2. Diseño de Sistemas y Subsistemas

Para el desarrollo del prototipo es necesario establecer sistemas y subsistemas de tal manera que se permita realizar análisis en cuanto a diseño, compatibilidad e implementación. En la Tabla 10 se definen los sistemas y subsistemas de acuerdo a sus funciones e hitos propuestos, los cuales mediante su integración forman parte del prototipo.

Tabla 10.

Definición de los sistemas y subsistemas del prototipo

Nro.	Sistemas	Subsistemas	Función	Hitos
1	Pulsera Inteligente	Sensores Fisiológicos	Monitoreo de (Temperatura Corporal, Ritmo Cardíaco y Nivel de Oxígeno en la Sangre).	1,2,3,4,5,7,8,9
		Microcontrolador	Procesamiento de datos.	
		Memoria	Respaldo de datos.	
		Pantalla	Visualización de datos.	
		Energía	Suministro y Autonomía energética.	
2	Tensiómetro Digital	Tensiómetro Brazalete (micro - bomba)	Monitoreo de la Presión Arterial	1,2,3,4,6,9,10

El prototipo está definido por 2 sistemas (Pulsera Inteligente y el Tensiómetro Digital). La pulsera inteligente debe monitorear 3 parámetros fisiológicos, procesar dichos datos y posteriormente visualizarlos en la pantalla del dispositivo. Todos los datos adquiridos por el prototipo deben estar debidamente respaldados en una memoria. El dispositivo en conjunto debe tener una autonomía energética y debe ser totalmente recargable dependiendo el tiempo de uso. El tensiómetro digital debe ser compatible con la comunicación del prototipo para que los datos de la presión arterial puedan ser enviados, mostrados y respaldados en el mismo sistema del prototipo.

3.2.1. Sistema 1: Brazaete Inteligente

El prototipo de pulsera inteligente está basado en los dispositivos comerciales de pulseras inteligentes las cuales son capaces de medir y respaldar los datos fisiológicos de un individuo. El prototipo debe cumplir con los parámetros planteados en cada sistema y subsistema por lo que es necesario analizar las diferentes alternativas tanto físicas como tecnológicas. El elemento seleccionado debe cumplir con los requerimientos de construcción, comunicación, instrumentación y algoritmos de control que permitan a los sistemas y subsistemas ser desarrollados y ensamblados en conjunto.


3.2.1.1. Alternativas de diseño y evaluación

Sensor de Temperatura

En la Tabla 11 se presentan diferentes opciones de instrumentos para medir la temperatura corporal considerando las características físicas y tecnológicas planteadas para el desarrollo del prototipo.



Tabla 11.

Alternativas de sensores de temperatura

Solución	Denominación / Ilustración	Características
A	HP-SAR-275 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sonda de temperatura - Contacto con la piel – adulto. ➤ Principio de medición: Termistor NTC. ➤ Curva característica: compatible con YSI 400. ➤ Rango de medición: 0 - 50 ° C.

(Honeywell, 2015)

CONTINÚA

		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Precisión: +/- 0.1 ° C en el rango de 25 - 50 ° C. ➤ Longitud total: 280 cm.
B	<p>LHI778</p>  <p>(HaiWang, 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Termometro infrarrojo. ➤ Tamaño del sensor: 2*1 mm² ➤ Resistencia de salida: 5-10 kW ➤ Voltaje de funcionamiento: 2-15 V ➤ Temperatura a la cual funciona: 40 - 85 °C.
C	<p>MF5A-5</p>  <p>(Technology, 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El sensor de termistor NTC de respuesta rápida. ➤ Tolerancias de resistencia estándar de hasta ± 2% ➤ Excelente resistencia mecánica ➤ Amplio rango de temperatura de funcionamiento: -50°C a 150°C ➤ Adecuado para montajes de PCB y de sonda ➤ Disponible en una amplia gama de sistemas de materiales ➤ Longitudes totales de 0.71 a 3.07 in (18 mm a 78 mm)

En las Tablas 12,13,14 y 15 las alternativas para la medición de la temperatura corporal son evaluadas y analizadas de acuerdo a los parámetros necesarios que deben cumplirse para el desarrollo del proyecto.

Tabla 12.*Ponderación de los criterios de evaluación para el sensor de temperatura.*

Criterio	Tamaño	Sensibilidad	Resolución	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	0	10	5	16	0,48
Sensibilidad	5	0	5	11	0,33
Resolución	0	5	0	6	0,18
Total				33	1,00

Tabla 13.*Ponderación del tamaño para el sensor de temperatura.*

Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	5	5	11	0,33
Solución B	0	0	5	6	0,18
Solución C	5	10	0	16	0,48
Total				33	1,00

Tabla 14.*Ponderación de la sensibilidad para el sensor de temperatura.*

Sensibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	5	0	6	0,18
Solución B	5	0	5	11	0,33
Solución C	10	5	0	16	0,48
Total				33	1,00

Tabla 15.*Ponderación de la resolución para el sensor de temperatura.*

Resolución	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	5	5	11	0,33
Solución B	5	0	0	6	0,18
Solución C	5	10	0	16	0,48
Total				33	1,00

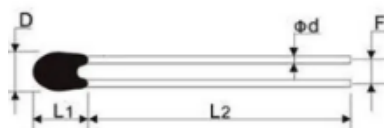
Tabla 16.*Resultados del sensor de temperatura.*

Criterio	Tamaño	Sensibilidad	Resolución	$\Sigma+1$	Prioridad (%)
Solución A	0,11	0,06	0,11	0,28	28
Solución B	0,06	0,11	0,06	0,23	23
Solución C	0,16	0,16	0,16	0,48	48
Total				1,0	100

En la Tabla 16 se concluye que la solución C (sensor de termistor NTC de respuesta rápida) posee un 48% de aceptación en cuanto a los requerimientos establecidos para el desarrollo del proyecto.

Al realizar los cálculos correspondientes según el nivel de prioridad de los sensores de temperatura se puede concluir que la mejor solución es la opción C, la cual corresponde al sensor de tipo termistor NTC (MF5A-5).

El termistor NTC como se muestra en la figura 21 está recubierto con un sello epóxico resistente que cubre completamente la conexión NTC y el cable conductor. Este sensor recubierto con epoxi garantiza un alto grado de resistencia a la humedad. Rango de temperatura: -50 / + 110 ° C (125 ° C) Resistencia electro eléctrica: 3.75kVAC Aislamiento: revestimiento epoxi Longitud del cable: 50 mm a 10 metros. (Technology, 2019)

**Figura 21.** Termistor tipo NTC


Fuente: (Technology, 2019)

Sensor de Ritmo Cardíaco y Oxímetro

En la tabla 17 se presentan diferentes opciones de instrumentos para medir el Ritmo Cardíaco y el nivel e Oxígeno en la Sangre en un individuo, considerando las características físicas y tecnológicas planteadas para el desarrollo del prototipo.

Tabla 17.

Alternativas de sensores para el ritmo cardíaco y nivel de oxígeno en la sangre

Solución	Denominación / Ilustración	Características
A	MAX30100  (MaximIntegrated, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Principio de funcionamiento de luz roja e infrarroja. ➤ Trabajo con ancho de pulso en tiempo de iluminación. ➤ Velocidad de muestreo alta (50-1000) muestras por minuto. ➤ Trabajo a 5v
B	NJL5501R  (Ventura, 2015)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Longitud de onda máxima (λ P $660 \pm 3\text{nm}$ (ROJA), $940 \pm 10\text{nm}$ (infrarrojo)) ➤ Corriente de salida alta (1000 a $4300 \mu\text{A}$ tipo (ROJO), 145 a $580 \mu\text{A}$ tipo. (Infrarrojo)) ➤ Miniatura, paquete delgado ($1.9 \times 2.6 \times 0.8\text{mm}$).

En las Tablas 18,19,20 y 21 las alternativas para la medición del Ritmo Cardíaco y el Nivel de Oxígeno en la Sangre son evaluadas y analizadas de acuerdo a los parámetros necesarios que deben cumplirse para el desarrollo del proyecto.

Tabla 18.*Ponderación de los criterios de evaluación para el sensor de ritmo cardiaco.*

Criterio	Dimension	Exactitud	Principio Físico	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	0	5	5	11	0,33
Exactitud	10	0	5	16	0,48
Principio Físico	0	5	0	6	0,18
Total				33	1,00

Tabla 19.*Tabla que muestra la ponderación de los tamaños del sensor de ritmo cardiaco.*

Tamaño	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	10	11	0,65
Solución B	5	0	6	0,35
Total			17	1,00

Tabla 20.*Tabla que muestra la exactitud del sensor de ritmo cardiaco.*

Exactitud	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	5	6	0,35
Solución B	10	0	11	0,65
Total			17	1,00

Tabla 21.*Principio físico para la ponderación del sensor del ritmo cardiaco.*

Principio Físico	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	10	11	0,65
Solución B	5	0	6	0,35
Total			17	1,00

Tabla 22.

Sensor de ritmo cardiaco y nivel de oxigeno en la sangre y sus resultados.

Criterio	Tamaño	Exactitud	Principio Físico	Σ	Prioridad (%)
Solución A	0,22	0,11	0,22	0,55	56
Solución B	0,11	0,22	0,11	0,44	44
Total				1,0	100

En la Tabla 22 se concluye que la solución A (MAX30100) posee un 56% de aceptación en cuanto a los requerimientos establecidos para el desarrollo del proyecto.

Microcontrolador

En la tabla 23 se presentan diferentes opciones de microprocesadores considerando las características físicas y tecnológicas planteadas para el desarrollo del prototipo.

Tabla 23.

Alternativas de microcontroladores

Solución	Denominación / Ilustración	Características
A	ATMEGA128-16ANRCT-ND  (Microchip, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ancho de bus de datos de 8 bits. ➤ Voltaje de alimentación operativo de 1.8 a 5.5V. ➤ Transmisión de datos serial. ➤ Velocidad de transmisión de 20 Mhz
B	ATMEGA328-AU	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Microcontrolador de 8 bits ➤ 23 pines I/O disponibles. ➤ Memoria de programa flash 32 kB, SRAM 2 kB, EEPROM de datos 1 kB, ADC de 10 bits y 8 canales, 3 timers / comparadores / contadores,

CONTINÚA



(Microchip, 2018)

- 6 canales PWM, USART, SPI, TWI (I2C compatible), comparador análogo. Montaje superficial TQFP.

En las Tablas 24,25,26 y 27 las alternativas para el microcontrolador son evaluadas y analizadas de acuerdo a los parámetros necesarios que deben cumplirse para el desarrollo del proyecto.

Tabla 24.

Ponderación de los criterios de evaluación para el microcontrolador.

Criterio	Tamaño	Memoria	RAM	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	0	5	5	11	0,33
Memoria	10	0	5	16	0,48
RAM	0	5	0	6	0,18
Total				33	1,00

Tabla 25.

Tamaños para el microcontrolador (ponderación).

Tamaño	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	10	11	0,65
Solución B	5	0	6	0,35
Total			17	1,00

Tabla 26.*Memoria para el microcontrolador(microcontrolador).*

Memoria	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	5	6	0,35
Solución B	10	0	11	0,65
Total			17	1,00

Tabla 27.*Ram para el microcontrolador (ponderación).*

RAM	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	10	11	0,65
Solución B	5	0	6	0,35
Total			17	1,00

Tabla 28.*Ponderacion de resultados del microcontrolador.*


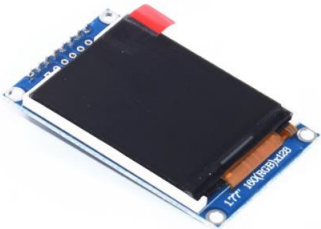
Criterio	Tamaño	Memoria	RAM	Σ	Prioridad (%)
Solución A	0,22	0,11	0,22	0,55	56
Solución B	0,11	0,22	0,11	0,44	44
Total				1,0	100

En la Tabla 28 se concluye que la solución A (ATMEGA128-16ANRCT-ND) posee un 56% de aceptación en cuanto a los requerimientos establecidos para el desarrollo del proyecto.

Pantalla

En la tabla 29 se presentan diferentes opciones de pantallas considerando las características físicas y tecnológicas planteadas para el desarrollo del prototipo.

Tabla 29.*Alternativas de pantallas*

Solución	Denominación / Ilustración	Características
A	Pantalla Serial LCD 128x64  (BrikoGeek, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Consumo voltaje: 5V DC ➤ Consumo corriente: 220mA ➤ Entrada de datos: 0-5V, 115200bps ➤ Dimensiones: 7,6x5x1.5cm ➤ Precio 15\$
B	Pantalla TFT LCD  (ITEXM, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pantalla pequeña i2c adaptable. ➤ TFT de 1,77 pulgadas 128*160 ➤ Pantalla no táctil a colores ➤ Conector de circuito flexible. ➤ Voltaje operativo de 3 a 5 V. ➤ Precio 32\$.

En las Tablas 30,31,32 y 33 las alternativas para la pantalla son evaluadas y analizadas de acuerdo a los parámetros necesarios que deben cumplirse para el desarrollo del proyecto.

Tabla 30.*Criterios de evaluación para la pantalla (ponderación).*

Criterio	Tamaño	Compatibilidad	Precio	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	0	6	5	12	0,33
Compatibilidad	11	0	5	17	0,48
Precio	0	6	0	7	0,18
Total				36	1,00

Tabla 31.*Tamaño para la pantalla (ponderación).*

Tamaño	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	6	7	0,35
Solución B	9	0	10	0,65
Total			17	1,00

Tabla 32.*Compatibilidad para la pantalla (ponderación).*

Compatibilidad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	6	7	0,35
Solución B	12	0	12	0,65
Total			19	1,00

Tabla 33.*Precio para la pantalla y su ponderación*

Precio	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	9	10	0,65
Solución B	6	0	7	0,35
Total			17	1,00

Tabla 34.*Resultados de la pantalla.*

Criterio	Tamaño	Compatibilidad	Precio	Σ	Prioridad (%)
Solución A	0,10	0,12	0,22	0,44	44
Solución B	0,21	0,23	0,11	0,55	56
Total				1,0	100

En la Tabla 34 se concluye que la solución B (Pantalla TFT LCD) posee un 56% de aceptación en cuanto a los requerimientos establecidos para el desarrollo del proyecto.

Fuente de Alimentación Energética

En la Tabla 35 se presentan diferentes opciones para la alimentación energética del dispositivo, considerando las características físicas y tecnológicas planteadas para el desarrollo del proyecto.

Tabla 35.

Alternativas de alimentación energética para el prototipo.

Solución	Denominación / Ilustración	Características
A	Célula LR626 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Capacidad típica (mAh): 20 ➤ Tensión Nominal (V): 1,5 ➤ Dimensiones d * h (mm): 6,8*2,6 ➤ Pesa alrededor de (g): 0,3 ➤ Vida útil (meses): 24 ➤ Precio 4\$.
	(ITEXM, 2019)	
B	Batería de lipo de 100mA 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Batería de litio polímero recargable ➤ Capacidad nominal de 100mA ➤ Voltaje nominal de 3.7 mA ➤ Voltaje de carga de 4.3 V ➤ Temperatura de funcionamiento hasta 40°C ➤ Precio: 15\$
	(ITEXM, 2019)	

En las Tablas 36,37,38 y 39 las alternativas para la alimentación energética del dispositivo son evaluadas y analizadas de acuerdo a los parámetros necesarios que deben cumplirse para el desarrollo del proyecto.

Tabla 36.*Ponderación de los criterios de evaluación para la alimentación energética.*

Criterio	Tamaño	Recargable	Voltaje	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	0	5	5	11	0,33
Recargable	10	0	5	16	0,48
Voltaje	0	5	0	6	0,18
Total				33	1,00

Tabla 37.*Tamaño para la alimentación energética (ponderación).*

Tamaño	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	5	6	0,35
Solución B	10	0	11	0,65
Total			17	1,00

Tabla 38.*Recarga para la alimentación energética (ponderación).*

Recargable	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	0	1	0,08
Solución B	9	0	10	0,92
Total			11	1,00

Tabla 39.*Ponderación del voltaje para la alimentación energética.*

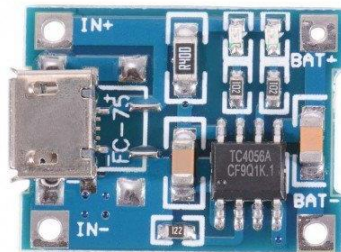
Voltaje	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	6	7	0,35
Solución B	9	0	10	0,65
Total			17	1,00

Tabla 40.*Resultados para la alimentación energética.*

Criterio	Tamaño	Compatibilidad	Precio	Σ	Prioridad (%)
Solución A	0,11	0,11	0,11	0,33	33
Solución B	0,22	0,22	0,22	0,66	67
Total				1,0	100

En la Tabla 40 se concluye que la solución B (Batería de lipo de 100mA) posee un 67% de aceptación en cuanto a los requerimientos establecidos para el desarrollo del proyecto.

Para que el prototipo tengo su propia autonomía energética es necesario implementar un sistema de carga, la cual se establece que sea mediante una carga continua utilizando el siguiente módulo como se muestra en la Figura 22.

**Figura 22.** Módulo de cargador de batería**Características:**

- Útil para cargar pequeñas baterías de LITO.
- Corte de voltaje de carga de 4.2 v.
- Máxima corriente de carga de 250 mA.
- Incluye Leds de estados de carga y descarga.

Memoria

En la tabla 41 se presentan diferentes opciones para el respaldo de datos en una memoria que debe poseer el dispositivo, considerando las características físicas y tecnológicas planteadas para el desarrollo del proyecto.

Tabla 41.

Alternativas para el respaldo de datos (memoria).

Solución	Denominación / Ilustración	Características
A	Micro SD Extreme PRO - 3  (SanDisk, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Almacenamiento hasta 64 GB ➤ Tamaño de 15x11mm ➤ Marca SanDisk. ➤ Velocidad de 30MB/s ➤ Precio 20\$
B	Micro SD Samsung - 1  (Samsung, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Almacenamiento 32 GB ➤ Tamaño e 15x12mm ➤ Marca Samsung ➤ Velocidad de 10 MB/s ➤ Precio: 15\$

En las Tablas 42,43,44 y 45 las alternativas para el respaldo de los datos (Memoria) son evaluadas y analizadas de acuerdo a los parámetros necesarios que deben cumplirse para el desarrollo del proyecto.

Tabla 42.*Ponderación de los criterios de evaluación para la memoria.*

Criterio	Almacenamiento	Velocidad	Precio	$\Sigma+1$	Ponderación
Almacenamiento	0	6	5	12	0,33
Velocidad	9	0	5	15	0,48
Precio	0	5	0	6	0,18
	Total			33	1,00

Tabla 43.*Almacenamiento para la memoria (ponderación).*

Almacenamiento	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	10	11	0,65
Solución B	5	0	6	0,35
	Total		17	1,00

Tabla 44.*Velocidad de transmisión para la memoria (ponderación).*

Velocidad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	10	11	0,65
Solución B	5	0	6	0,35
	Total		17	1,00

Tabla 45.*Precio para la memoria (ponderación).*

Precio	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	6	7	0,35
Solución B	11	0	12	0,65
	Total		19	1,00

Tabla 46.

Resultados para el respaldo de datos (memoria)

Criterio	Almacenamiento	Velocidad	Precio	Σ	Prioridad (%)
Solución A	0,22	0,22	0,11	0,55	56
Solución B	0,11	0,11	0,22	0,44	44
Total				1,0	100

En la Tabla 46 se concluye que la solución A (Micro SD Extreme PRO - 3) posee un 56% de aceptación en cuanto a los requerimientos establecidos para el desarrollo del proyecto.

3.2.1.2. Diseño Final del Sistema 1: Pulsera Inteligente

Circuito de Control

El circuito de control es el encargado de conectar todos los componentes electrónicos, instrumentación, comunicación y de alimentación energética que el sistema necesite para su funcionamiento. En la Figura 23 se observa el esquema de conexión del sistema.

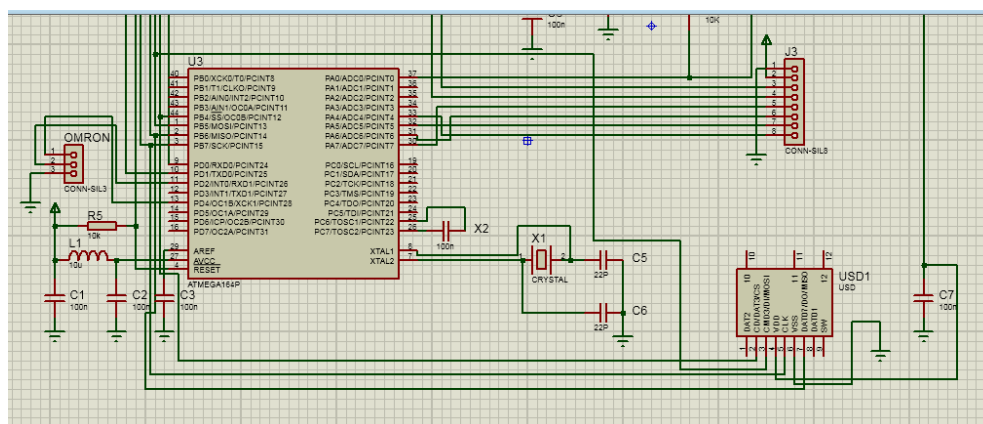


Figura 23. Diagrama electrónico del sistema 1 (pulsera inteligente)

3.2.2. Sistema 2: Tensiómetro (Medidor de Presión Arterial)

3.2.2.1. Alternativas de diseño y evaluación

Tensiómetro

El sistema del tensiómetro es un dispositivo el cual va a permitir la medición de la Presión Arterial mediante la interconexión con el prototipo de pulsera inteligente. Los datos adquiridos van a ser visualizados y posteriormente respaldados en una memoria de tipo SD. El control que se pretende realizar es sobre el brazalete (micro bomba) el cual va a permitir la activación del dispositivo comercial mediante la pulsera inteligente o mediante el control propio del tensiómetro digital.

En la Tabla 47 se presentan diferentes opciones para el tensiómetro digital, considerando las características físicas y tecnológicas planteadas para el desarrollo del proyecto.

Tabla 47.

Alternativas para el tensiómetro digital.

Solución	Denominación / Ilustración	Características
A	Tensiómetro Digital Omron HEM-7113 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Medidor de la presión arterial preciso. ➤ Tecnología de brazalete Intelli Wrap para aportar precisión a los 360 °C. ➤ Clínicamente validado. Cumple con las normas de la Sociedad Europea de Hipertensión

(OMROM, 2017)

CONTINÚA

B Tensiómetro Digital de Brazo
Precise Plus de Taurus.



(Taurus, 2019)

- 60 memorias para 2 usuarios con fecha y hora
- Medición sístole, diástole y pulso
- Diagnóstico según valores estándar de la OMS
- Media de las tres últimas tomas
- Auto apagado en 3 minutos
- Bolsa de almacenaje
- 4x1.5V (Pilas no incluidas)

En las Tablas 48,49,50 y 51 las alternativas para el tensiómetro digital son evaluadas y analizadas de acuerdo a los parámetros necesarios que deben cumplirse para el desarrollo del proyecto.

Tabla 48.

Ponderación de los criterios de evaluación para el tensiómetro.

Criterio	Sensibilidad	Compatibilidad	Precio	$\Sigma+1$	Ponderación
Sensibilidad	0	5	5	11	0,33
Compatibilidad	10	0	5	16	0,48
Precio	0	5	0	6	0,18
Total				33	1,00

Tabla 49.

Ponderación de la sensibilidad para el tensiómetro.

Sensibilidad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	9	10	0,65
Solución B	5	0	6	0,35
Total			16	1,00

Tabla 50.*Compatibilidad para el tensiómetro (ponderación).*

Compatibilidad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	10	11	0,65
Solución B	5	0	6	0,35
	Total		17	1,00

Tabla 51.*Precio para el tensiómetro (ponderación).*

Precio	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0	5	6	0,35
Solución B	9	0	10	0,65
	Total		16	1,00

Tabla 52.*Resultados para el tensiómetro*

Criterio	Sensibilidad	Compatibilidad	Precio	Σ	Prioridad (%)
Solución A	0,22	0,22	0,11	0,55	56
Solución B	0,11	0,11	0,22	0,44	44
	Total			1,0	100

En la Tabla 52 se concluye que la solución A (Tensiómetro Digital Omron HEM -7113) posee un 56% de aceptación en cuanto a los requerimientos establecidos para el desarrollo del proyecto.

3.3. Concepto Final

La pulsera inteligente para monitorear los signos vitales para los soldados ecuatorianos está formada por 2 subsistemas que están interconectados. El primer subsistema es la pulsera donde está ubicado el sensor oxímetro para medir el ritmo cardiaco y nivel de oxígeno en la sangre, y la temperatura corporal es medida por un sensor ubicado en la parte superior de la muñeca o inferior de la pulsera, el sensor del oxímetro está basado en la pulsioximetría que es un método no invasivo que emite luz y a su vez tiene un receptor que mide la cantidad de luz reflejada por el dedo del paciente, la luz que es detectada por el sensor varía de acuerdo a la concentración de oxígeno en la sangre, cuando la sangre tiene más oxígeno absorbe mayor cantidad de luz infrarroja y cuando la sangre está poco oxigenada absorbe mayor luz roja, este sensor está ubicado en un dedal externo a la pulsera pero que siempre debe estar conectado.

La pulsera se encuentra construida por un microcontrolador atmega 1284p smd para recibir, procesar y enviar los datos necesarios a la pantalla y al micro sd, al momento de recibir los datos necesarios del oxímetro este entra en un estado de aceptación de datos los cuales tienen que ser enviados por al menos 40 segundos en su primera medida para poder obtener un valor correcto, el sensor de temperatura funciona por medio de resistencia, el cambio de temperatura varía dependiendo la cantidad de resistencia que el sensor en el momento de la medición adquiera, los datos de la medición del oxímetro son enviados cada segundo, se tendrá una medida de 40 datos y se realizará un cálculo para obtener el promedio, los datos de sensor de temperatura son exactos y mostrados en tiempo real.

La pulsera inteligente contiene en su interior una batería de 250 mA la cual es recargable, se diseñó un microcargador para poder cargar el reloj sin necesidad de sacar a la batería de su sitio, se lo puede cargar un cable USB 2.0, el cargador se encarga de dar un aviso con una luz roja cuando se está cargando y una luz azul cuando ya se ha cargado la batería.

La estructura de la pulsera está hecha con 2 materiales, para la carcasa donde ira la pantalla está hecha con material ABS y para la correa esta con caucho estándar de un reloj deportivo comercial, la estructura se realizó en la impresora 3D

El segundo subsistema es el tensiómetro, este medirá la presión cuando el corazón bombea sangre y la presión cuando el corazón está en reposo, estas presiones son también llamadas sistólicas y diastólicas, dichas presiones serán mostradas en la pantalla del tensiómetro, así como en la pantalla de la pulsera inteligente, el inicio y el paro del medidor de presión se lo puede controlar mediante la pulsera o también mediante el mismo tensiómetro.

3.4. Resumen

Con el fin de cumplir los requerimientos que se plantearon al iniciar el proyecto se realizó un análisis de diseño de cada subsistema donde se contempló alternativas de instrumentación y posibles materiales que puedan ser usados para su implementación. Se contemplo la metodología de diseño necesaria para nuestro proyecto la cual es el diseño y desarrollo de productos propuesta por Karl T. Ulrich.

También se identificó las necesidades del producto los cuales iban enfocados en el sector militar y administrativo del CICTE, necesidades del cliente o personal a usar la pulsera, las

especificaciones técnicas del prototipo, también para poder organizar las necesidades se hizo uso práctico de la matriz QFD del prototipo.

Se propusieron algunos medidores de temperatura para medir la temperatura corporal para considerando las características físicas del personal a usar la pulsera inteligente.

Se crearon y propusieron algoritmos de control para obtención de datos en los sistemas, se realizó secuencias de la obtención de datos para tener una medición continua del ritmo cardiaco.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN E IMPLIMENTACIÓN

El capítulo a continuación detalla la implementación de cada componente del prototipo que forma parte del sistema en general. Se realiza la integración de los sistemas embebidos con sus respectivos sistemas de control, estructura mecánica y algoritmos de programación. Para finalizar se realiza la implementación y pruebas de funcionamiento del prototipo en conjunto analizando y comparando los resultados de cada una de las variables fisiológicas obtenidas en las mediciones.

4.1. Sistema 1 - Pulsera Inteligente

La pulsera inteligente es un prototipo de dispositivo móvil formado por varios sistemas de instrumentación. El proceso de manufactura esta descrito en la Figura 25 el cual inicia con el diseño mecánico de todos los sistemas y subsistemas que van a formar parte del prototipo utilizando la tecnología DLT (Digital Light Processing/ Procesamiento de luz digital) que corresponde a la impresión 3D. Se establece que los circuitos de control deben ser realizados con la tecnología basada en microelectrónica para hacer del prototipo lo más compacto posible. Finalmente se implementa un control interno sobre un tensiómetro de tipo digital que nos permite integrar dos sistemas embebidos en el prototipo.

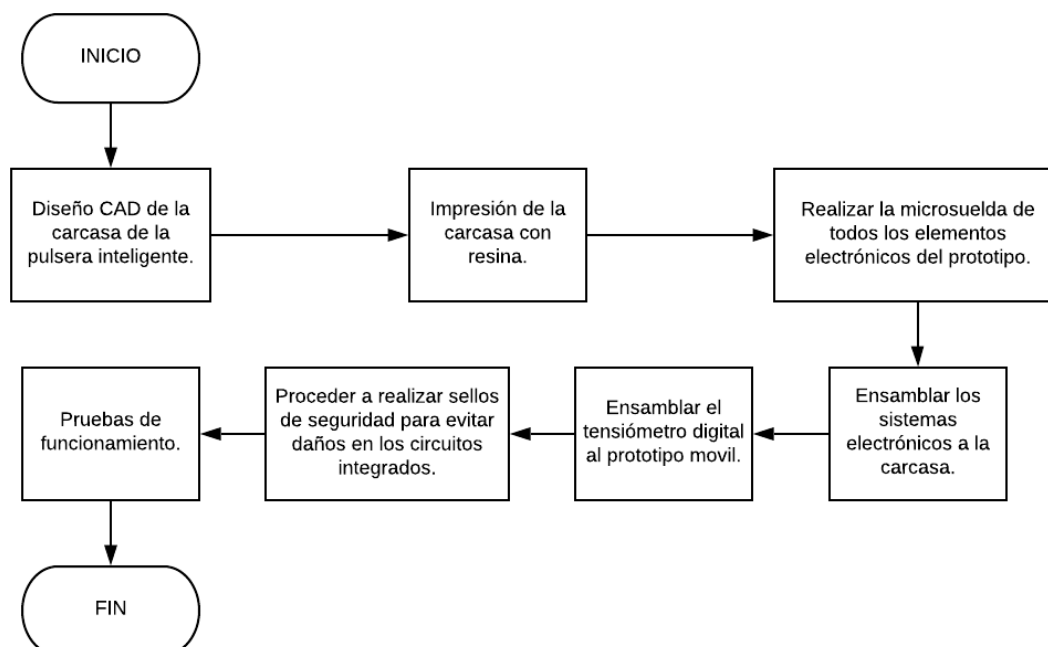


Figura 25. Diagrama del proceso de manufactura del sistema general

4.1.1. Circuito de control de la pulsera inteligente.

Para adquirir los datos de los parámetros fisiológicos se diseña un circuito de control y se comprueba su funcionamiento como se muestra en la Figura 26, de tal forma que este circuito permita monitorear los datos fisiológicos en tiempo real.

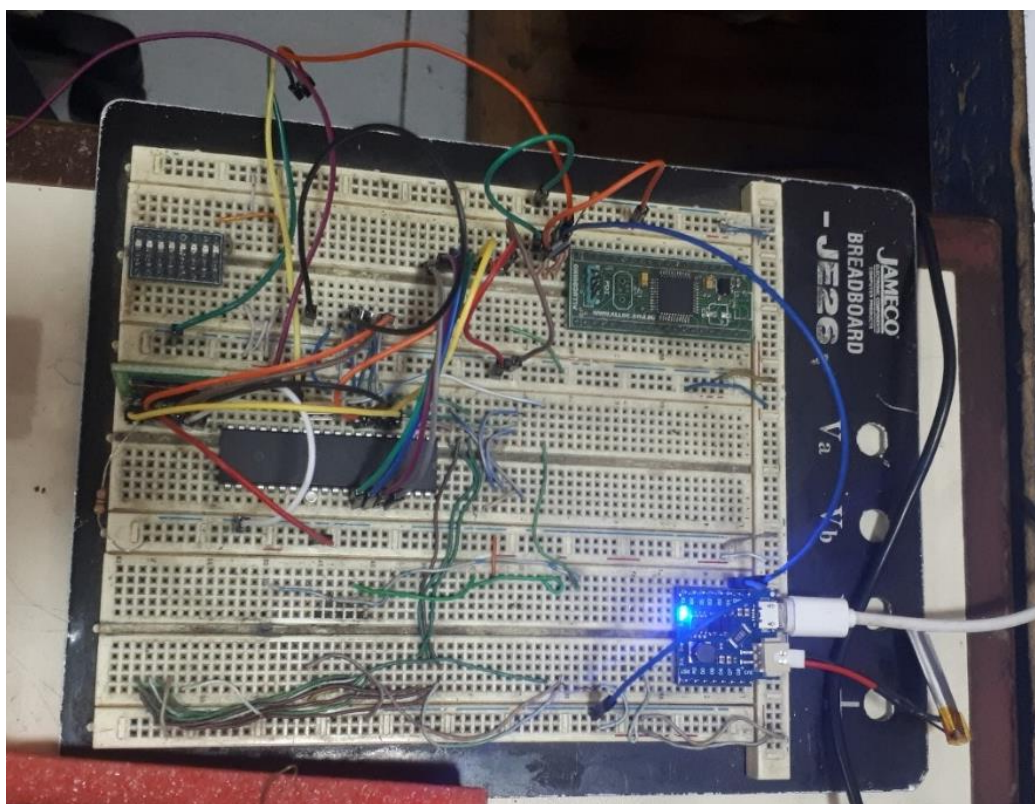


Figura 26. Circuito de control a escala normal

Cada sensor debe estar correctamente calibrado y seteado con los valores y unidades específicas dependiendo del parámetro fisiológico. Una vez comprobado el funcionamiento de todo el circuito de control se procede a realizar el PCB tomando en cuenta el proceso de miniaturización de todos sus componentes.

La placa base de la pulsera debe estar totalmente delimitada en un tamaño estándar que permita el correcto acople de control de todos los componentes electrónicos y mecánicos del sistema como se muestra en la Figura 27.



Figura 27. Placa base del prototipo de pulsera inteligente

Todos los componentes electrónicos deben estar correctamente ensamblados y soldados a la placa base, utilizamos la tecnología de micro suelda conjuntamente con la suelda tradicional. En la figura 28 se observa cómo debe quedar la placa después de realizar dicho procedimiento de ensamble.



Figura 28. Ensamble final de los componentes electrónicos del prototipo

4.1.2. Manufactura de la Estructura

El diseño CAD de la estructura de la carcasa está diseñada para ser fabricada mediante la tecnología en 3D de tipo FMD utilizando como materia prima el plástico de tipo resina lo cual puede observarse en la Figura 29.

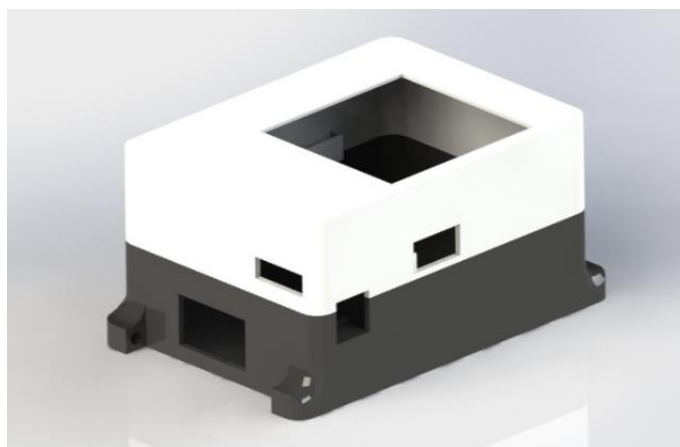


Figura 29. Diseño CAD de la estructura de la pulsera.

La correa de la pulsera es de tipo comercial cuyo material base es plástico totalmente flexible que permite ahorrar tiempo en diseño y construcción tal como se muestra en la Figura 30.



Figura 30. Correa plástica ergonómica

4.1.3. Ensamble final de los componentes

Los componentes electrónicos y mecánicos se muestran en la Figura 31. Una vez ya ensamblados todos los componentes del sistema llamado de la pulsera inteligente como se observa en la Figura 32. Se procede a realizar las pruebas de campo sobre el prototipo.

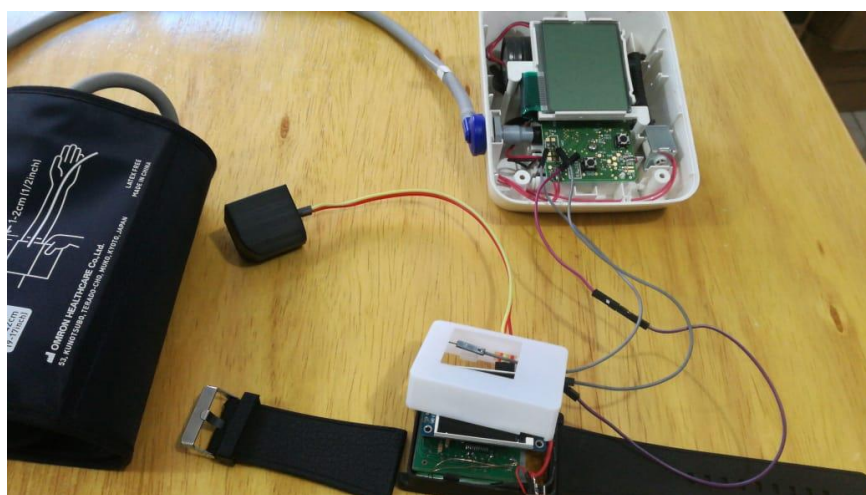


Figura 31. Componentes electrónicos y mecánicos del sistema

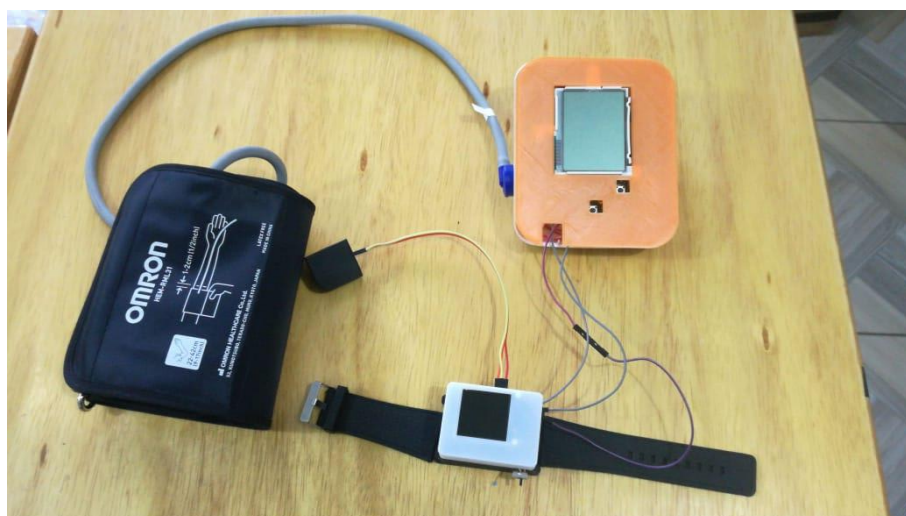


Figura 32. Ensamble final del prototipo

4.1.4. Algoritmo de Funcionamiento

El funcionamiento del prototipo de pulsera inteligente está diseñado mediante un algoritmo que integra la adquisición de 3 diferentes variables fisiológicas las cuales tienen que ser registradas y posteriormente respaldadas en una memoria microSD. La Figura 33 muestra la funcionalidad de todo el sistema embebido que tiene como objetivo registrar los datos fisiológicos de un individuo (Temperatura Corporal, Ritmo Cardíaco y Nivel de Oxígeno en la Sangre).

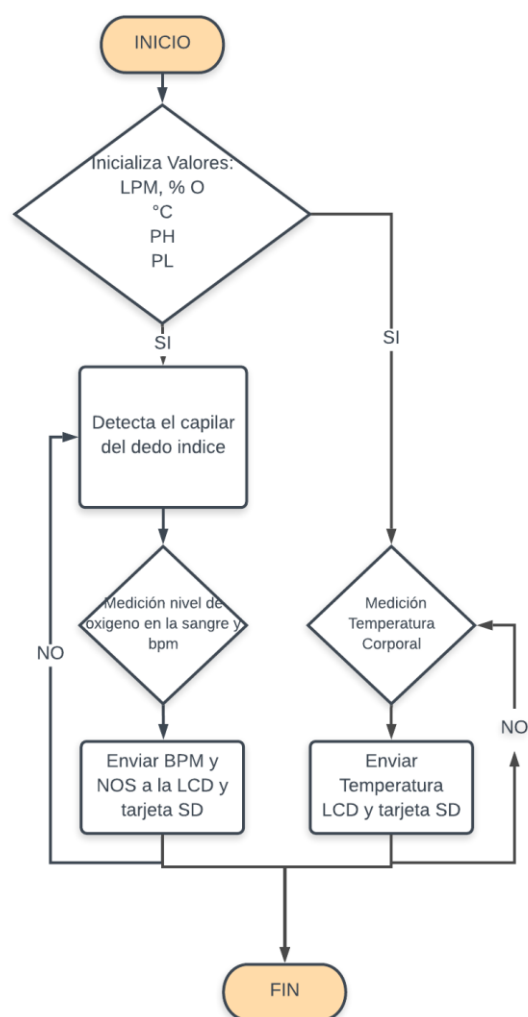


Figura 33. Algoritmo de funcionamiento del sistema 1 (prototipo inteligente)

4.1.5. Pruebas y Resultados de la Implementación de la pulsera

4.1.5.1. Pruebas del Funcionamiento de los sensores usados

Se realiza pruebas de funcionamiento sobre el sistema de prototipo móvil de una pulsera inteligente las cuales consisten en la comparación y medición de cada parámetro fisiológico frente a los valores que brindan ciertos dispositivos de tipo comercial. Para finalizar, se experimenta la funcionalidad del dispositivo sobre el personal militar al cual va enfocado el proyecto.

4.1.5.1.1. Pruebas de Medición de la temperatura

a) Exactitud

La prueba de exactitud consiste en obtener los datos de un dispositivo comercial (termómetro de mercurio) y compararlo con los datos obtenidos con el prototipo. Para realizar esta prueba es necesario realizar diferentes mediciones a diferentes temperaturas y comprobar los resultados de cada medición. Los resultados del error porcentual se muestran en la Tabla 53 la cual registra un error promedio de 0,94 % en sus mediciones.

Tabla 53.

Error porcentual en la prueba de exactitud (temperatura).

Nro.	Temperatura (°C)		Error (%)
	Termómetro Digital	Prototipo Inteligente	
1	20,3	20	1,48
2	22,2	22	0,90
3	26,7	27	1,12
4	29,4	29	1,36
5	31,5	32	1,59
6	33,8	34	0,59

CONTINÚA

7	36,9	37	0,27
8	37,6	38	1,06
9	39,3	39	0,76
10	40,1	40	0,25
Error Promedio (%)			0,94

b) Precisión

La prueba de precisión consiste en tomar la medida de temperatura corporal a un individuo utilizando los 2 dispositivos al mismo tiempo y en el mismo intervalo de tiempo, para que las medidas sean comparables y se pueda determinar el error porcentual en cada una de ellas. Los resultados del error porcentual se muestran en la Tabla 54 la cual registra un error promedio de 1,29 % en sus mediciones.

Tabla 54.
Error porcentual en la prueba de precisión (temperatura).

Temperatura (°C)			
Nro.	Termómetro Digital	Prototipo Inteligente	Error (%)
1	36,2	36	0,55
2	36,3	36	0,83
3	36,4	36	1,10
4	36,2	36	0,55
5	36,6	36	1,64
6	36,5	36	1,37
7	36,7	36	1,91
8	36,6	36	1,64
9	36,7	36	1,91
10	36,5	36	1,37
Error Promedio (%)			1,29

c) Rapidez de Respuesta

La prueba de rapidez de respuesta consiste en determinar el tiempo que se demora el prototipo en responder a los cambios de temperatura que pueden existir en un soldado. Para esto, realizamos una medición sobre una superficie en contacto con el ambiente al cual le sometemos a una variación superior de temperatura y con esto registramos los datos obtenidos en dicha prueba. Los valores registrados por el prototipo se muestran en la Tabla 55.

Tabla 55.

Datos de temperatura - tiempo en la prueba de rapidez de respuesta

Tiempo (s)	Temperatura (°C)
0	24
1	24
2	25
3	25
4	26
5	27
6	28
7	29
8	30
9	31
10	32
11	33
12	34
13	35
14	36
15	36

4.1.5.1.2. Resultados de Medición de la temperatura

El análisis de resultados se lo realiza calculando y comparando el error porcentual de las mediciones obtenidas con los dispositivos en las diferentes pruebas que se realizaron. Para finalizar

con el cálculo del error promedio alcanzado en cada una de las pruebas utilizando las siguientes ecuaciones:

$$Error(\%) = \frac{Valor\ medido - Valor\ real}{Valor\ medido} * 100$$

$$Error\ Promedio\ (\%) = \frac{\sum Mediciones}{\#total\ de\ mediciones}$$

a) Exactitud

En la Figura 34 se muestra los datos del termómetro digital y los registrados por el prototipo correspondientes a la prueba de exactitud. El termómetro digital trabaja con una sensibilidad de (0,1 °C) frente a la del sensor de temperatura de tipo transistor utilizado en el prototipo, el cual es un sensor de alta sensibilidad (0,01 °C).

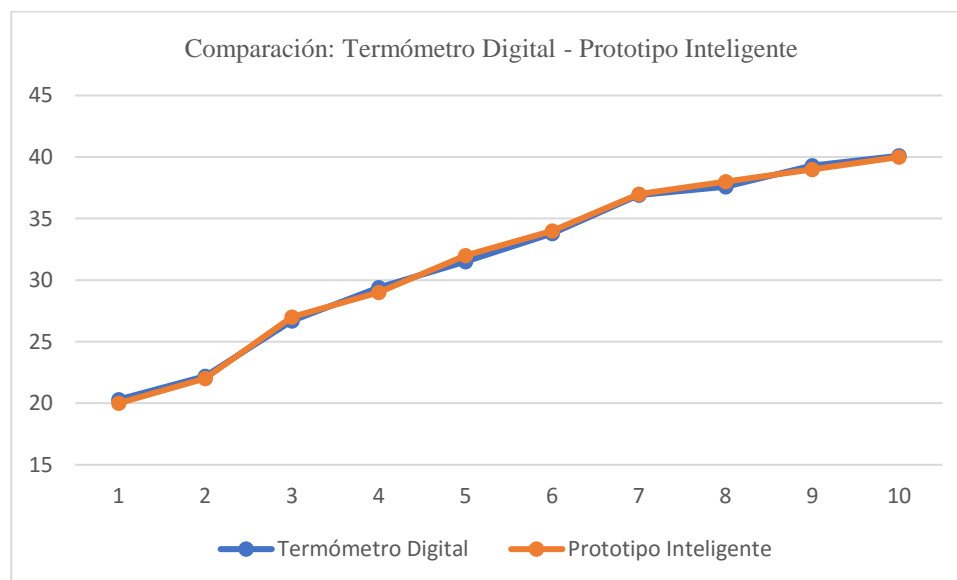


Figura 34. Gráfica comparativa de los datos de exactitud (temperatura).

b) Precisión

En la Figura 35 se muestra el comportamiento de los datos del termómetro digital con una pequeña desviación frente a los valores obtenidos por el prototipo cuyo valor es constante haciendo referencia a la temperatura corporal del individuo de prueba. Con la finalidad de mejorar la estabilidad de los datos de temperatura en el prototipo se realiza una aproximación decimal mediante un código de programación para que se muestren valores únicamente enteros y estables.

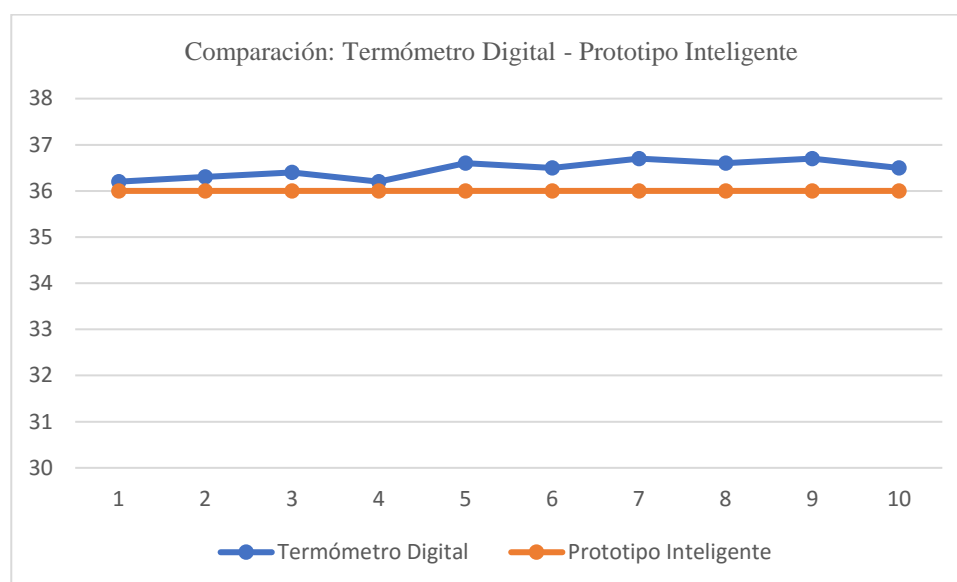


Figura 35. Gráfica comparativa de los datos de precisión (temperatura).

c) Rapidez de Respuesta

En la Figura 36 se observa el comportamiento de los datos de la temperatura con respecto al tiempo obtenidos con el prototipo. Mediante estos datos se procede a analizar y calcular la rapidez de respuesta del prototipo frente a los cambios de temperatura establecidos.

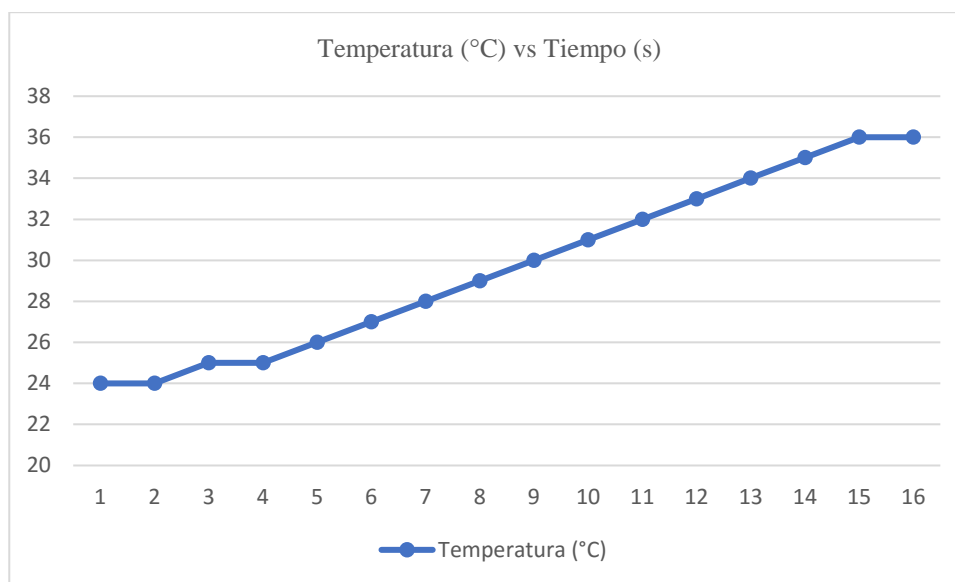


Figura 36. Gráfica de rapidez de respuesta utilizando la puslera inteligente

En la Tabla 56 se muestra los resultados para cada intervalo de tiempo de la velocidad puntual (1 seg). Finalmente se obtiene el valor de la velocidad promedio obtenida con el prototipo la cual es de: 0,8 (°C/s).

Tabla 56.

Rapidéz de respuesta en la medición de temperatura.

Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Velocidad (°C/s)
0	24	—
1	24	0
2	25	1
3	25	0
4	26	1
5	27	1
6	28	1
7	29	1

CONTINÚA

8	30	1
9	31	1
10	32	1
11	33	1
12	34	1
13	35	1
14	36	1
15	36	0
Velocidad Promedio		0,8

4.1.5.1.3. Pruebas de Medición del ritmo cardíaco

Las pruebas referentes al ritmo cardíaco se realizan al obtener los datos directamente del prototipo y compararlas con las muestras de datos de otro dispositivo comercial (reloj GARMIN – Forerunner 230). Para constatar el correcto funcionamiento del prototipo este se someterá a diferentes pruebas de campo descritas a continuación.

a) Exactitud

La prueba de exactitud consiste en obtener los datos de un dispositivo comercial (reloj GARMIN) y compararlo con los datos obtenidos con el prototipo. Para realizar esta prueba es necesario que el sujeto de prueba realice diferentes actividades como: Reposo, Sentarse – Levantarse, Caminar – Trotar. Para comparar los resultados el individuo debe utilizar ambos dispositivos al mismo tiempo para que los datos sean registrados en el mismo instante de realizar dichas actividades. Los resultados del error porcentual se muestran en la Tabla 57 la cual registra un error promedio de 1,97 % en sus mediciones.

Tabla 57.*Error porcentual en la prueba de exactitud (ritmo cardiaco).*

Ritmo Cardiaco (BPM)								
Genero	Edad (años)	Tipo de Actividad	Nro.	Reloj GARMIN	Prototipo Inteligente	Error (%)		
Masculino	30	Reposo	1	72	74	2,78		
			2	77	78	1,30		
			3	79	80	1,27		
		Sentarse - Levantarse	1	90	92	2,22		
			2	94	96	2,13		
			3	96	98	2,08		
		Caminar - Trotar	1	108	110	1,85		
			2	120	123	2,50		
			3	127	125	1,57		
		Error Promedio (%)						1,97

b) Precisión

La prueba de precisión consiste en tomar los datos del ritmo cardiaco a diferentes individuos utilizando los 2 dispositivos al mismo tiempo y en el mismo intervalo de tiempo, para que las medidas sean comparables y se pueda determinar el error porcentual en cada una de ellas. Los resultados del error porcentual se muestran en la Tabla 58 la cual registra un error promedio de 2,24 % en sus mediciones.

Tabla 58.*Error porcentual en la prueba de precisión (ritmo cardiaco).*

Ritmo Cardiaco (BPM)						
Sujeto de Prueba	Genero	Edad (años)	Nro.	Reloj GARMIN	Prototipo Inteligente	Error (%)
Individuo 1	Masculino	28	1	83	84	1,20
		28	2	82	83	1,22
		28	3	85	83	2,35
Individuo 2	Femenino	35	1	74	76	2,70
		35	2	76	78	2,63
		35	3	75	77	2,67
Individuo 3	Masculino	43	1	106	102	3,77
		43	2	110	108	1,82
		43	3	113	111	1,77
Error Promedio (%)						2,24

c) Rapidez de Respuesta

La prueba de rapidez de respuesta consiste en determinar el tiempo que se demora el prototipo en responder a los cambios de frecuencia cardiaca que pueden existir en un soldado mientras realiza alguna actividad física.

Para esto, realizamos una prueba de campo mediante un Test de Cooper que consiste en recorrer la mayor distancia posible en un tiempo estimado de 12 minutos. En la Tabla 59 se registrarán los valores adquiridos por ambos dispositivos en un intervalo de tiempo de 1 minuto para cada muestra.

Tabla 59.*Error porcentual en la prueba de rapidez de respuesta (ritmo cardiaco).*

Ritmo Cardiaco (BPM)						
Sujeto de Prueba	Genero	Edad (años)	Tiempo (minutos)	Reloj GARMIN	Prototipo Inteligente	Error (%)
1	Masculino	35	1	71	73	2,82
		35	2	78	75	3,85
		35	3	84	85	1,19
		35	4	95	98	3,16
		35	5	103	107	3,88
		35	6	119	116	2,52
		35	7	127	124	2,36
		35	8	132	136	3,03
		35	9	148	145	2,03
		35	10	152	155	1,97
		35	11	166	164	1,20
		35	12	175	178	1,71
2	Masculino	38	1	57	59	3,51
		38	2	66	68	3,03
		38	3	79	82	3,80
		38	4	90	89	1,11
		38	5	112	115	2,68
		38	6	126	129	2,38
		38	7	135	136	0,74
		38	8	149	144	3,36
		38	9	156	157	0,64
		38	10	163	167	2,45
		38	11	172	175	1,74
		38	12	187	190	1,60
Error Promedio (%)						2,37

4.1.5.1.4. Resultados de Medición del ritmo cardíaco

El numero de latidos por minuto o latidos cardiacos por minutos es la medición del ritmo cardiaco, o las veces que el corazón se contrae durante este tiempo. Los resultados de las pruebas referentes al ritmo cardiaco son analizados según la Tabla 60 que muestra el número de pulsaciones en reposo (o frecuencia cardíaca en reposo) varía dependiendo si es hombre o mujer y también varia dependiendo su edad.

Tabla 60.

Valores de referencia del ritmo cardiaco de acuerdo a rangos de edad y género.

HOMBRES: VALORES DE REFERENCIA PULSACIONES EN REPOSO POR MINUTO				
EDAD (AÑOS)	INADECUADO (PPM)	NORMAL (PPM)	BUENO(PPM)	EXCELENTE (PPM)
20 - 29	86 o más	70 - 84	62 - 68	60 o menos
30 - 39	86 o más	72 - 84	64 - 70	62 o menos
40 - 49	90 o más	74 - 88	66 - 72	64 o menos
50 o más	90 o más	76 - 88	68 - 74	66 o menos
MUJERES: VALORES DE REFERENCIA PULSACIONES EN REPOSO POR MINUTO				
EDAD (AÑOS)	INADECUADO (PPM)	NORMAL (PPM)	BUENO(PPM)	EXCELENTE (PPM)
20 - 29	96 o más	78 - 94	72 - 76	70 o menos
30 - 39	98 o más	80 - 96	72 - 78	70 o menos
40 - 49	100 o más	80 - 98	74 - 78	72 o menos
50 o más	104 o más	84 - 102	76 - 82	74 o menos

Fuente: (Cano, 2015)

a) Exactitud

En la Figura 37 se muestra los datos registrados por un dispositivo comercial (reloj GARMIN) y los registrados por el prototipo correspondientes a la prueba de exactitud. Los resultados que se muestra mediante los 3 cambios de estado propuestos (reposo, sentarse –

levantarse, caminar – trotar) permiten verificar el cambio que existe del ritmo cardiaco en el soldado dependiendo de la actividad que este realice.

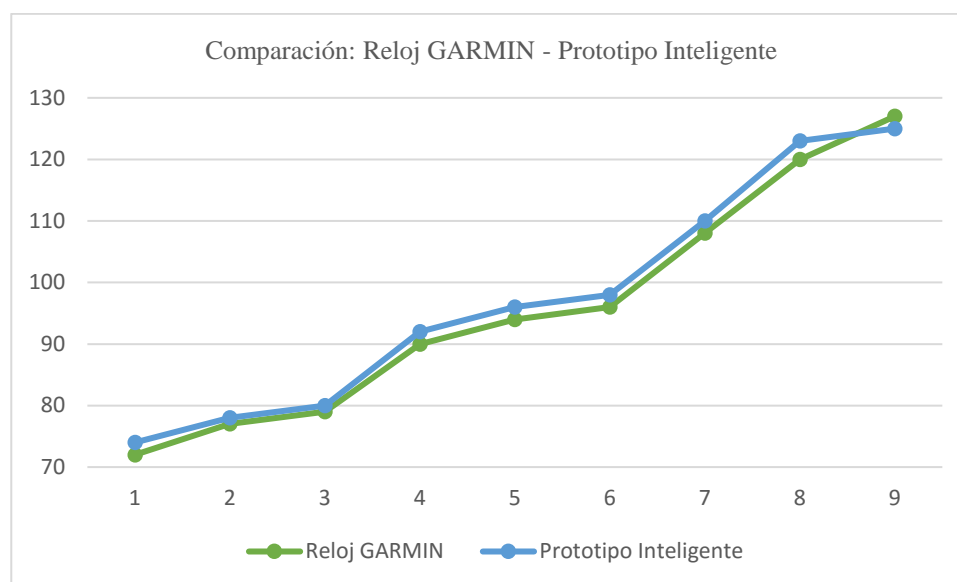


Figura 37. Gráfica comparativa de los datos de exactitud (ritmo cardiaco).

b) Precisión

En la Figura 38 se muestra los datos obtenidos por el dispositivo comercial (reloj GARMIN) digital con una pequeña desviación frente a los valores obtenidos por el prototipo cuyo valor es constante dependiendo del individuo de prueba. El ritmo cardiaco tiene una mínima variación y tiende a estabilizarse según el individuo de prueba.

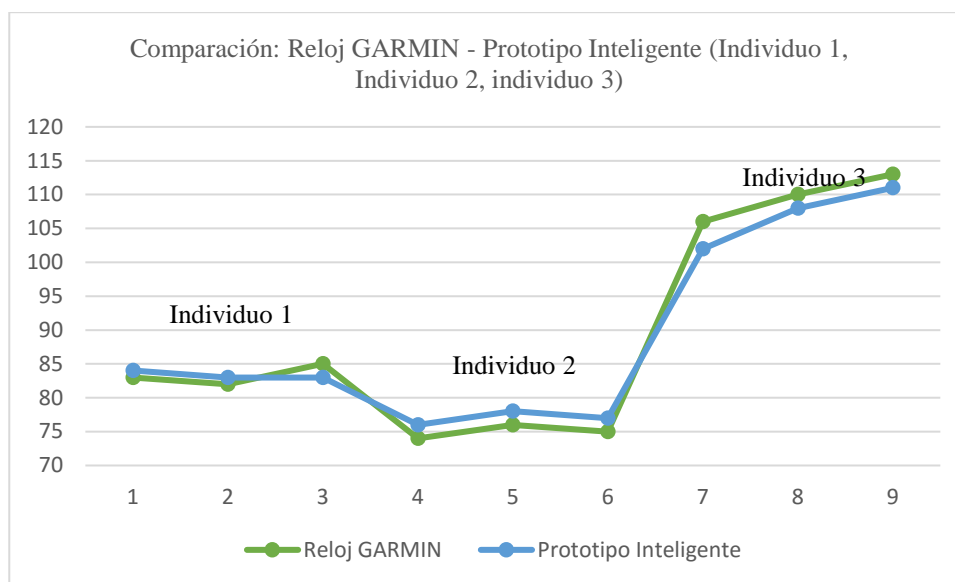


Figura 38. Gráfica comparativa de los datos de precisión (ritmo cardiaco).

c) Rapidez de Respuesta

En la Figura 39 se muestra la variación de los datos de ambos dispositivos al someter a 2 sujetos al test de Cooper; Esta prueba permite verificar la velocidad de respuesta de cada dispositivo frente a los cambios bruscos de la frecuencia cardiaca que ocurre mientras se realiza alguna actividad física.

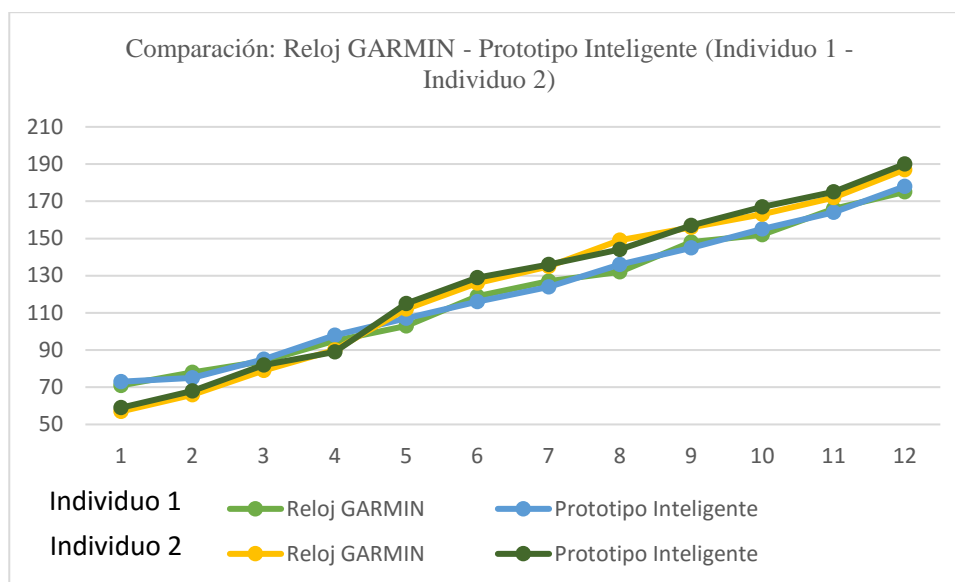


Figura 39. Gráfica de rapidez de respuesta con 2 sujetos de prueba (ritmo cardiaco).

4.1.5.1.5. Pruebas de Medición del Nivel de Oxígeno en la Sangre

El prototipo está diseñado para ser un artículo no invasivo que mide la cantidad de oxígeno en la sangre al emitir una luz infrarroja al capilar del dedo índice de la mano derecha. El porcentaje de oxígeno en la sangre es calculado mediante la comparación de luz que es absorbida por el tejido conectivo, piel, hueso y sangre venosa durante una onda pulsátil con respecto a la absorción en la sangre arterial que se produce con cada latido.

a) Precisión y Exactitud

Las pruebas de precisión y exactitud consisten en comparar las mediciones adquiridas entre dos dispositivos desarrollados como parte de proyectos científicos para el CICTE.

En la Tabla 61 se muestra los datos adquiridos de 5 sujetos de prueba diferentes entre hombres y mujeres, con la finalidad de analizar la precisión y la exactitud de los datos mostrados por el prototipo.

Tabla 61.

Error porcentual en la prueba de exactitud y precisión (oxígeno en la sangre).

Nivel de Oxígeno en la Sangre (%)						
Sujeto de Prueba	Genero	Edad (años)	Nro.	Brazalete Inteligente (%)	Prototipo Inteligente (%)	Error (%)
1	Masculino	30	1	96	97	1,03
			2	96	98	2,04
			3	96	98	2,04
			4	97	96	1,04
			5	96	95	1,05
2	Femenino	38	1	94	95	1,05
			2	93	95	2,11
			3	95	96	1,04
			4	93	92	1,09
			5	94	95	1,05
3	Masculino	28	1	96	95	1,05
			2	97	95	2,11
			3	96	96	0,00
			4	95	97	2,06
			5	96	95	1,05
4	Femenino	43	1	90	92	2,17
			2	90	92	2,17
			3	91	91	0,00
			4	90	91	1,10
			5	92	91	1,10
5	Masculino	45	1	93	93	0,00
			2	92	92	0,00
			3	92	93	1,08
			4	93	92	1,09
			5	93	93	0,00
Error Promedio (%)						1,14

4.1.5.1.6. Resultados de Medición del Nivel de Oxígeno en la Sangre

El nivel de saturación del oxígeno es medido por el nivel de oxígeno en la sangre.

Niveles de Saturación de oxígeno

- **95 – 99%** **Normal**
- **91 – 94 %** **Hipoxia leve**
- **86 – 90 %** **Hipoxia moderada**
- **< 86 %** **Hipoxia severa**

Figura 40. Niveles de Saturación de Oxígeno

Fuente: (Luna, 2017)

Saturación de oxígeno normal: Para que una persona tenga un nivel normal de oxígeno debe tener un rango que varía entre 80 y 100 milímetros de mercurio (mm Hg). Para un pulso de oxígeno medido normal su nivel de oxígeno en la sangre esta típicamente entre 95% y 100%. (Luna, 2017)

Saturación de oxígeno baja: Cuando un nivel de oxígeno en la sangre es bajo se denomina hipoxia. Si es mas bajo el nivel de oxígeno, más grave será la hipoxia lo cual puede llevar a complicaciones en el tejido y los órganos del cuerpo. (Luna, 2017)

Saturación de oxígeno alta: Cuando sus niveles de oxígeno son demasiados altos eso quiere decir que su respiración no es asistida. Cuando las personas usan oxígeno suplementario es cuando se da altos niveles. (Luna, 2017)

a) Precisión y Exactitud

En la Figura 41 se muestra los datos obtenidos del porcentaje de concentración de oxígeno en la sangre dependiendo de cada sujeto de prueba.

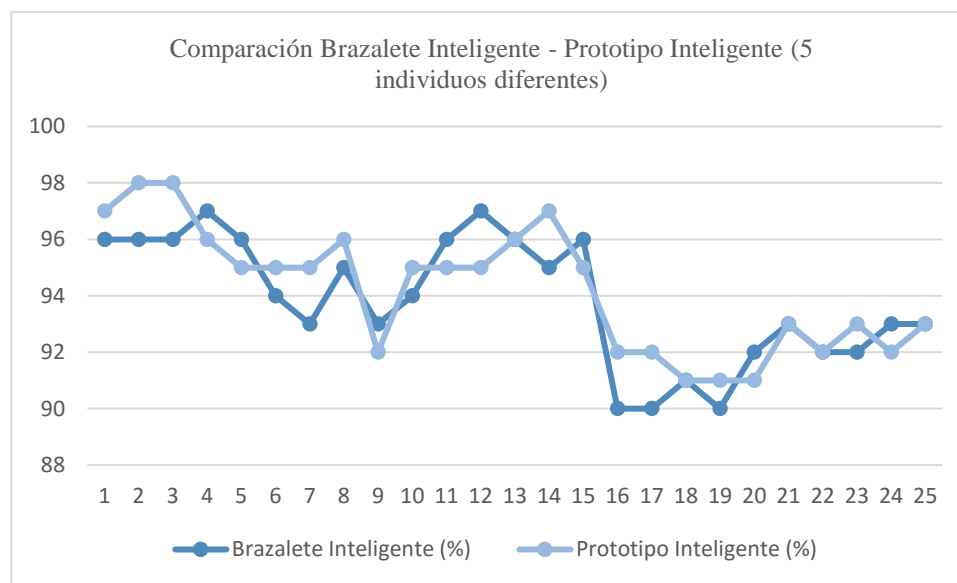


Figura 41. Gráfica comparativa de los datos de exactitud y precisión (nivel del oxígeno).

Las lecturas indican qué cantidad o porcentaje de su sangre está en saturación. Esta prueba tiene un error del ± 2 %. Esto significa que la lectura tiene un error menor y puede ser un 2 % más alta o más baja que su nivel real de oxígeno en la sangre.

4.2. Sistema 2 - Tensiómetro

El tensiómetro digital de la marca OMRON modelo (HEM-7113) permite la integración con el sistema del prototipo de pulsera inteligente mediante una comunicación de tipo serial. Con la finalidad de proporcionar un registro de datos sobre la Presión Arterial en un individuo.



Figura 42. Tensiómetro OMRON HEM-7113

Fuente: (OMRON, 2017)

4.2.1. Circuito de Control

Se diseña un circuito de control para que el tensiómetro comercial pueda ser controlado mediante el prototipo de pulsera inteligente con la finalidad de adaptar 2 tipos de sistemas embebidos en uno solo. Con la finalidad de mejorar su aplicabilidad y funcionalidad al tratarse de un prototipo móvil.

En la Figura 43 se muestra la placa electrónica que permite el control sobre el tensiómetro digital para después proceder a la soldadura y ensamble de sus componentes electrónicos como se observa en la Figura 44.

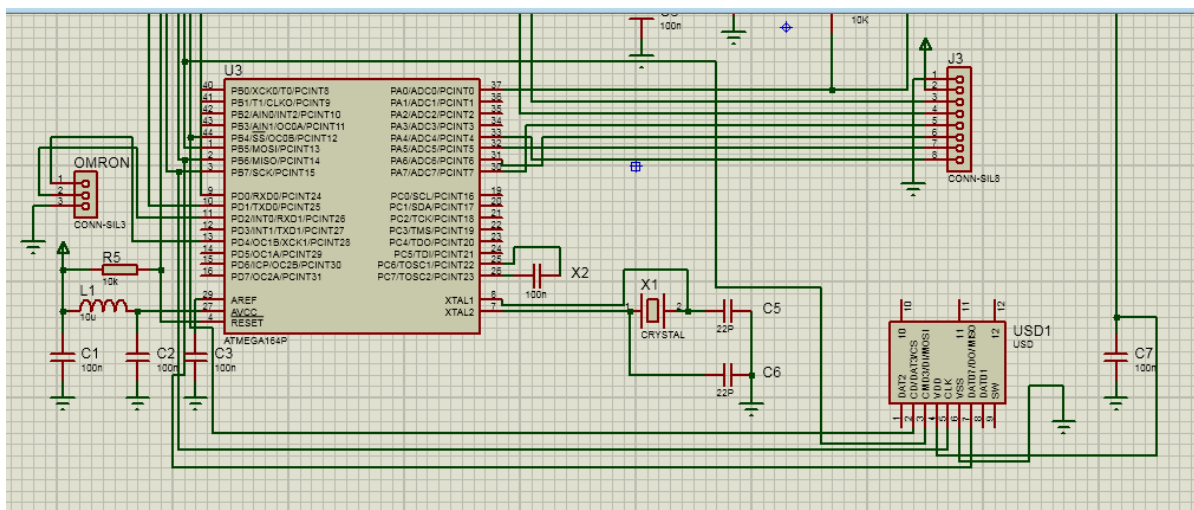


Figura 43. Circuito electrónico del tensiómetro

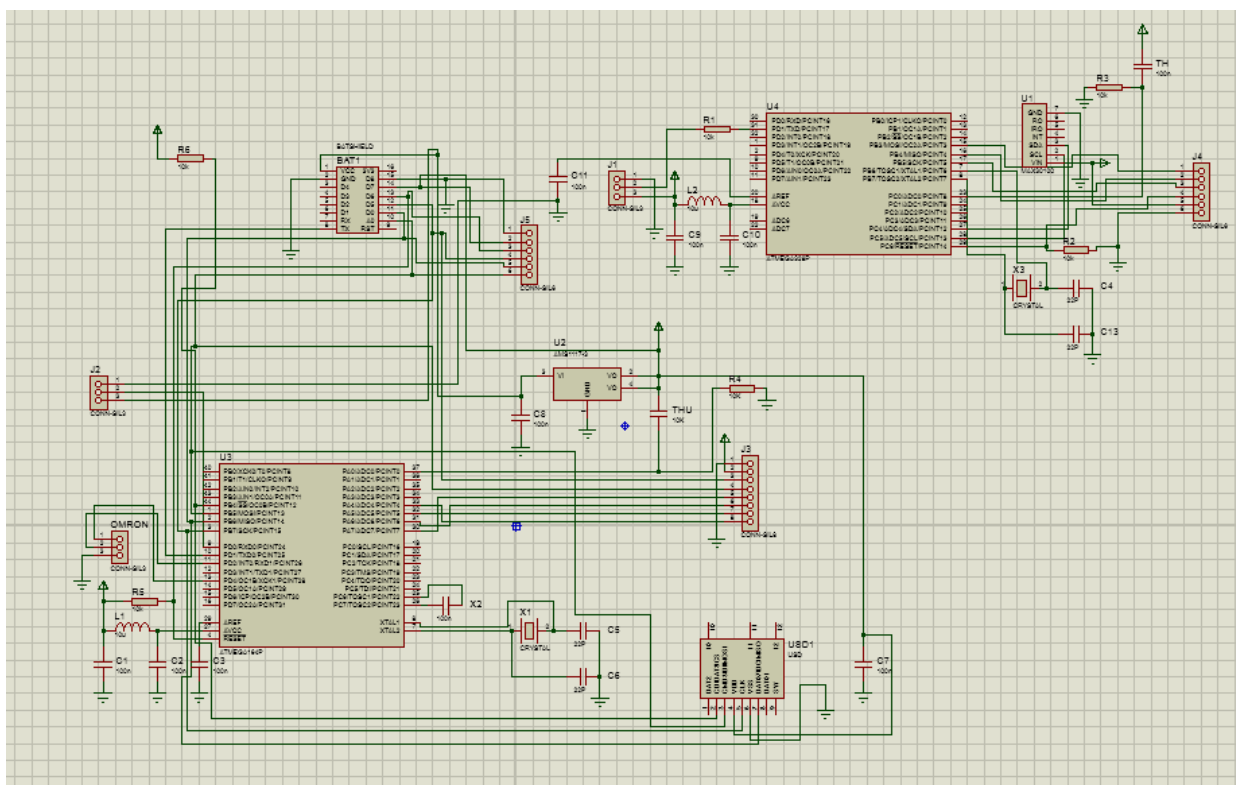


Figura 44. Circuito ensamblado

4.2.2. Manufactura de la Estructura

Se procede al diseño y elaboración de una estructura para el tensiómetro digital de tal manera que el dispositivo no quede expuesto a la superficie y pueda conservarse en perfectas condiciones de funcionamiento.

En la Figura 45 se muestra la elaboración de la estructura utilizando como materia prima PLA en la impresión 3D. Para finalizar la estructura debe quedar totalmente acoplada al tensiómetro digital como se muestra en la Figura 46.



Figura 45. Impresión 3D de la estructura del tensiómetro

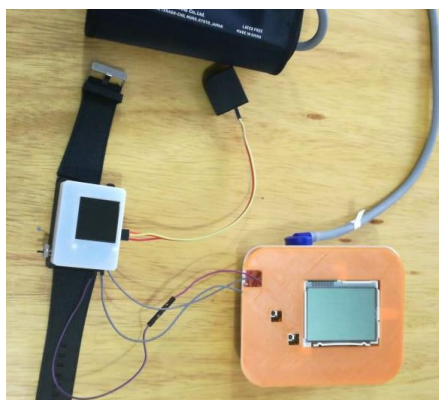


Figura 46. Ensamble de los componentes de la estructura del tensiómetro

4.2.3. Ensamble final de los componentes

Todo el sistema mecánico y electrónico debe quedar perfectamente ensamblado y protegido como se observa en la Figura 47. Para continuar con el procedimiento de pruebas y resultados del sistema.

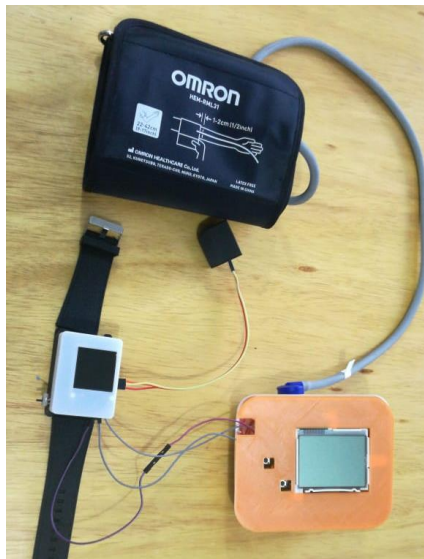


Figura 47. Ensamble electrónico y mecánico del tensiómetro

4.2.4. Algoritmo de Funcionamiento

El algoritmo de funcionamiento para el tensiómetro digital permite que este funcione ya sea de manera independiente del sistema del prototipo inteligente o conjuntamente con el prototipo inteligente.

En la Figura 48 se muestra como el sistema del tensiómetro puede ser inicializado de forma independiente al sistema del prototipo inteligente dependiendo de la funcionalidad del sistema los

datos pueden ser visualizarse tanto en al display del tensiómetro como en el display del prototipo inteligente.

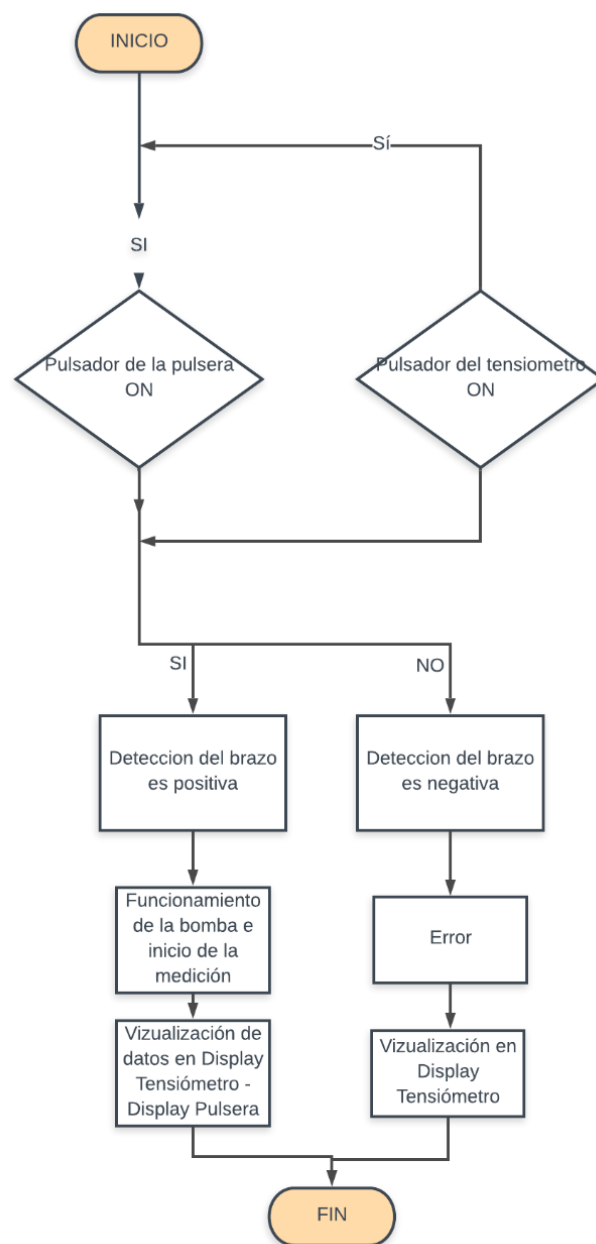


Figura 48. Algoritmo de funcionamiento del sistema 2 (tensiómetro digital)

4.2.5. Pruebas y Resultados del funcionamiento del Tensiómetro.

El tensiómetro digital establece dos cifras de medición correspondiendo la superior a la denominada sistólica o alta la cual mide la fuerza de la sangre cuando el corazón se contrae y la inferior a la diastólica o baja que mide la fuerza del corazón cuando el corazón se relaja.

El funcionamiento del dispositivo es muy sencillo, basta con colocar el brazalete alrededor del brazo (de preferencia en el lado izquierdo por estar más cerca del corazón), como se observa en la Figura 49. A continuación, pulsar el botón de inicio y el dispositivo hará la medición, deteniéndose y mostrando los valores exactos en la pantalla una vez haya terminado.

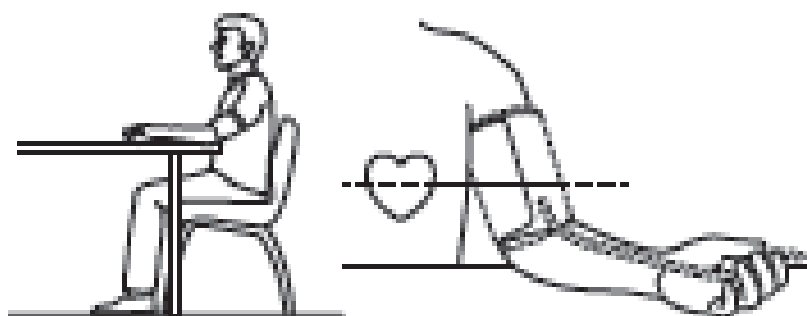


Figura 49. Posición y ubicación correcta del brazalete

4.2.5.1. Pruebas de Medición de la Presión Arterial

Para iniciar con las pruebas de funcionamiento del Sistema conjunto entre el tensiómetro digital y el prototipo inteligente se debe asegurar que todos los dispositivos se encuentren correctamente conectados y ensamblados como se observa en la Figura 50. Cada sistema debe tener su alimentación energética totalmente cargada para evitar problemas en las mediciones.



Figura 50. Pruebas de medición con el tensiómetro digital.

a) Precisión y Exactitud

En la Tabla 62 se muestra los datos adquiridos de 4 sujetos de prueba diferentes entre hombres y mujeres, con la finalidad de analizar la precisión y la exactitud de los datos mostrados tanto en el sistema conjunto del tensiómetro con el prototipo inteligente como también los datos obtenidos con el brazalete inteligente.

Tabla 62.*Error porcentual en la prueba de exactitud y precisión (presión arterial).*

Sujeto de Prueba	Genero	Edad (años)	Nro.	Presión Arterial (mmHg)				Error PD (%)	Error PS (%)
				Brazaletes Inteligente		Prototipo Inteligente			
				Presión Diastólica	Presión Sistólica	Presión Diastólica	Presión Sistólica		
1	Masculino	23	1	73	122	72	126	1,39	3,17
			2	74	126	73	127	1,37	0,79
			3	71	127	73	128	2,74	0,78
			4	72	130	70	126	2,86	3,17
			5	69	128	71	129	2,82	0,78
2	Femenino	26	1	76	116	79	117	3,80	0,85
			2	76	114	77	117	1,30	2,56
			3	77	115	76	116	1,32	0,86
			4	79	117	77	118	2,60	0,85
			5	80	114	83	117	3,61	2,56
3	Masculino	36	1	84	126	88	129	4,55	2,33
			2	83	127	86	128	3,49	0,78
			3	85	125	87	127	2,30	1,57
			4	82	126	85	127	3,53	0,79
			5	87	128	89	125	2,25	2,40
4	Femenino	34	1	79	119	77	120	2,60	0,83
			2	78	121	80	119	2,50	1,68
			3	75	122	79	120	5,06	1,67
			4	77	117	78	122	1,28	4,10
			5	78	120	77	121	1,30	0,83
Error Promedio (%)							2,63	1,67	

4.2.5.2. Resultados de Medición de la Presión Arterial.

La tensión arterial ideal es de 120/80 mm/Hg, pero el rango de normalidad es más amplio. Consideramos hipertensión arterial cifras superiores a 140/90 mm/Hg (es decir, 140 mm/Hg de presión sistólica y 90 mm/Hg de presión diastólica). (Luque, 2011)

En la tabla 63 se observa los niveles de tensión arterial normales, tanto sistólica como diastólica, varían según la edad y el sexo y están comprendidos entre las siguientes cifras:

Tabla 63.

Presiones sistólica y diastólica referenciales (hombre - mujer).

EDAD (AÑOS)	PRESIÓN SISTÓLICA		PRESIÓN DIASTÓLICA	
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
16 - 18	105 - 135	100 - 130	60 - 86	60 - 85
19 - 24	105 - 139	100 - 130	62 - 88	60 - 85
25 - 29	108 - 139	102 - 135	65 - 89	60 - 86
30 - 39	110 - 145	105 - 139	68 - 92	65 - 89
40 - 49	110 - 150	105 - 150	70 - 96	65 - 96
50 - 59	115 - 155	110 - 155	70 - 98	70 - 98
60 o más	115 - 160	115 - 160	70 - 100	70 - 100

Fuente: (Luque, 2011)

a) Precisión y Exactitud

En la Figura 51 se muestra el comportamiento de los datos obtenidos de la Presión Diastólica dependiendo de cada sujeto de prueba.

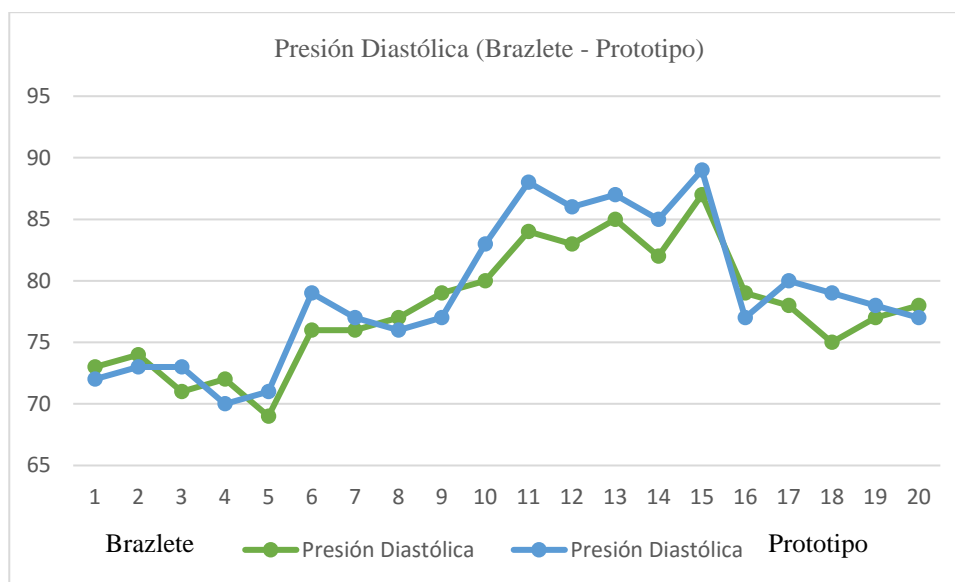


Figura 51. Gráfica comparativa de los datos de exactitud y precisión (presión diastólica).

En la Figura 52 se muestra el comportamiento de los datos obtenidos de la Presión Sistólica dependiendo de cada sujeto de prueba.

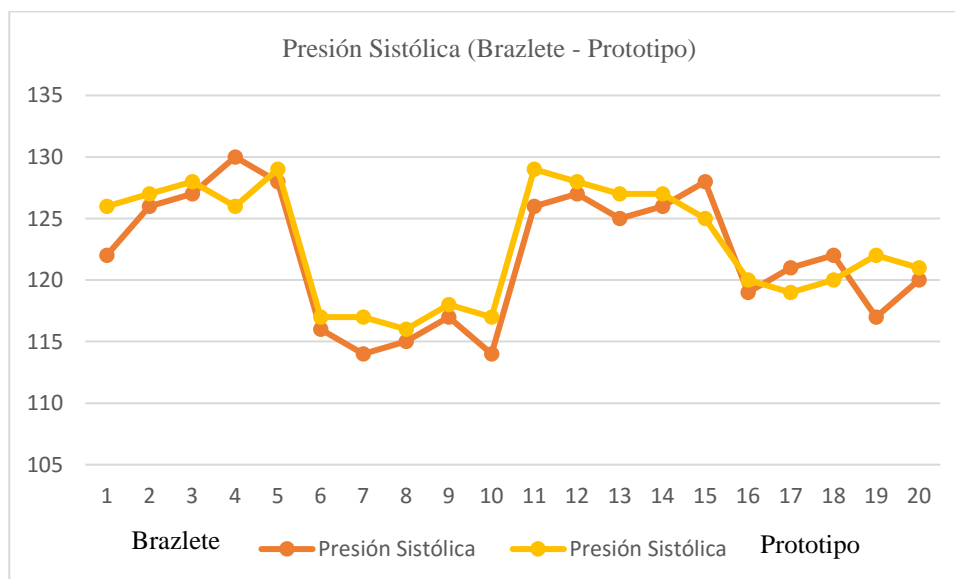


Figura 52. Gráfica comparativa de los datos de exactitud y precisión (presión sistólica).

4.3. Análisis Económico de implementación

El costo general de la implementación del prototipo dependerá de la disponibilidad de los recursos tecnológicos que se tenga a disposición por lo que es necesario la utilización de tecnologías micro. El precio unitario de los elementos electrónicos y complementarios se detallan en la Tabla 64.

Tabla 64.

Costos de los materiales

Item	Costo (\$)
MAX 30100	10
Atmega 1284p	15
Pantalla TFT LCD	32
Módulo cargador de batería	12
Sensor de temperatura	1.50
Batería Lipo	15
Tarjeta micro SD	20
Tensiómetro digital Omron	85
TOTAL	190.50\$

El costo general de la implementación del prototipo de pulsera inteligente esta establecido en \$190.50 USD.

4.4. Resumen

Se eligieron los sensores necesarios para el desarrollo del proyecto, el MAX 30101 que es el sensor encargado de medir el ritmo cardiaco y el nivel de oxígeno en la sangre, después se eligió un sensor de temperatura adecuado de tipo NTC y finalmente un tensiómetro OMRON para obtener los datos en forma serial, con los sensores completos el paso siguiente fue encontrar la manera de

obtener esos datos para después miniaturizarlos, el mejor método encontrado fue usar un microcontrolador atmega 1284P para la adquisición de los datos y envío de los mismos.

El microcontrolador es el mismo que se usa en los arduinos, sin embargo, para poder realizar la pulsera de una manera más pequeña se optó por usar directamente el microcontrolador y crear el sistema de acondicionamiento y procesamiento de los datos en la misma placa para así prescindir de un Arduino de cualquier tipo.

La placa consta del sistema de control para el tensiómetro, adquisición de datos para los sensores del oxímetro, la temperatura e incluso para el tensiómetro, dichos datos son enviados a una pantalla I2C para que se visualice el nivel de oxígeno en la sangre, los latidos por minuto, la temperatura corporal y la presión sistólica y diastólica, adicional los datos son almacenados en una memoria micro SD de 64 GB.

El sistema de control usado fue un ON-OFF para controlar desde la pulsera el tensiómetro que es un sistema externo a la pulsera, los datos de este tensiómetro son obtenidos mediante un sistema embebido del tensiómetro OMRON y son enviados de forma serial al microcontrolador donde este a su vez lo envía a la pantalla I2C para su monitoreo.

La medición del ritmo cardiaco y nivel de oxígeno en la sangre se lo realiza de forma externa a la pulsera igual que la medición del tensiómetro, este sensor está ubicado en un dedal y así el dedo índice sea insertado en dicho dedal, el sensor captara los datos necesarios y con la ayuda del programa de procesamiento, los datos obtenidos por el sensor son enviados al microcontrolador, analizados, procesados y finalmente visualizados.

La medición de la temperatura corporal está integrada en la misma pulsera y no hubo necesidad de hacer un sistema separado.

Usando herramientas CAD se diseñó el prototipo de la pulsera y el dedal con lo que se procedió a su fabricación. Las impresoras 3D permitieron llevar el diseño a la realidad, se imprimió tanto la pulsera como el dedal, las impresiones fueron realizadas en un material llamado ABS el cual resiste altas temperaturas y presiones, además que su uso permitió lograr un nivel de ergonomía aceptable para el uso en los soldados.

CAPÍTULO 5

Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros

En el presente capítulo se muestran las conclusiones, recomendaciones, y trabajos futuros que proponemos para la continuación de este prototipo.

5.1. Conclusiones

- Se construyó y diseñó un dispositivo móvil capaz de medir las señales fisiológicas de una persona, como ritmo cardíaco, nivel de oxígeno en la sangre y temperatura corporal, el dispositivo está orientado a monitorear dichas señales para un soldado ecuatoriano.
- El dispositivo móvil guarda los datos de la temperatura corporal, ritmo cardíaco, nivel de oxígeno en la sangre y presión sanguínea en una tarjeta de memoria micro SD, estos datos son almacenados en un archivo Excel ordenado por columnas convenientemente ubicadas para una extracción más sencilla, son visualizados en tiempo real en la pantalla I2C.
- Se diseñó el dispositivo móvil con tecnología XLP (xtreme low power), con el microcontrolador atmega 1284p, su consumo es mínimo y puede llegar a tener una autonomía de hasta 4 horas.
- Se diseñó un controlador y visualizador para el medidor de presión o tensiómetro de marca OMRON, el cual consta de una bomba con un manguito para inflarlo y registrar la presión sistólica y diastólica, el control se lo realiza por un pulsador ubicado en la pulsera, este

inicia la medición en el tensiómetro, registra los datos en la memoria SD y envía a la pantalla.

- Se diseño y fabrico una estructura de plástico resistente por medio de la impresora 3D, este plástico es llamado ABS el cual está hecho a base de petróleo, y lo vuelve perfecto para aplicaciones donde haya golpes y altas temperaturas.
- Se cargo la secuencia de inicio o bootloader al microcontrolador Atmega 1284P SMD desde el mismo Arduino para que el microcontrolador acepte todos los comandos de Arduino, lo cual conlleva que toda la programación sea realizada en la interfaz de madre de la Placa Arduino.
- Se realizaron mediciones de datos médicos y pruebas de funcionamiento de nuestra pulsera comparándola con dispositivos comerciales que miden la temperatura, nivel de oxígeno en la sangre y ritmo cardiaco, el error obtenido de la medición de ritmo cardiaco en comparación al dispositivo comercial GARMIN que es un smartwatch fue de 4%. La medición de nuestra pulsera inteligente en comparación con un termómetro de mercurio tuvo un error del 2% y una precisión de 0.5%, además de una velocidad de respuesta de 0.98°C/S.
- Se realizo un sistema de prototipo pequeño de la pulsera para hacer más cómoda la experiencia del soldado en una posible intervención en el campo.

5.2. Recomendaciones y Trabajos Futuros

- Es recomendable adaptar al prototipo de la pulsera inteligente una trama de datos para poder enviarlos por medio de un dispositivo bluetooth o GSM, la ventaja de este tipo de envío es que se puede monitorear al soldado desde una base en tiempo real y no esperar a que el soldado regrese de la intervención o cualquier actividad para recién obtener los datos médicos.
- Se recomienda realizar un estudio de eficiencia de energía, para así poder cambiar a una batería más pequeña y que le dé a la pulsera más tiempo de autonomía, esto ayudaría a que en actividades que requieran más tiempo la pulsera siga durando y enviando datos constantemente.
- Se recomienda implementar un sistema de rastreo satelital en la pulsera inteligente ya que se puede obtener mayor ventaja en el campo al conocer la posición de todos los activos militares.
- Para una mayor comodidad y ergonomía es recomendable realizar un estudio para poder calibrar la pulsera inteligente, así como intentar ubicar la pulsera en otra parte del cuerpo y que no sea una molestia para el soldado.
- Es recomendable investigar nuevos materiales para la pulsera aparte del ABS debido a que es un material rígido, a pesar que es un material que puede soportar altas temperaturas, presiones y golpes, un material más flexible sería lo ideal para que se pueda adaptar a la muñeca del soldado.

- El envío de datos por medio de la trama propuestos en una previa recomendación se puede complementar al crear un sistema web de adquisición de datos provenientes de las tramas de las pulseras, así con la previa autorización cualquier medico puede monitorear la salud del soldado en tiempo real y tomar decisiones en un tiempo mucho menor del que se toma en estos momentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, M. N. (2017). *Cognitive Computing and the Future of Health Care*. Virginia: IBM.
- BrikoGeek. (23 de Mayo de 2019). *BrikoGeek*. Obtenido de BrikoGeek: <https://tienda.bricogeek.com/descatalogado/334-pantalla-serial-lcd-128x64.html>
- Cano, J. (23 de Junio de 2015). *Muy en forma*. Obtenido de Muy en forma: <https://muyenforma.com/pulsaciones-en-reposo.html>
- Diagnostrum. (15 de Octubre de 2015). *Diagnostrum, simple mobile health*. Obtenido de <http://blog.diagnostrum.com/2015/10/15/top-10-empresas-que-impulsan-la-innovacion-en-salud-digital-parte-ii/>
- FFAA. (20 de Junio de 2019). *Ejército Ecuatoriano*. Obtenido de Ejército Ecuatoriano: <https://www.ejercitoecuadoriano.mil.ec/bienestar-militar/>
- Gupta, & Mukherjee. (2016). *Implementation of virtual sensors for building a sensor-cloud environment*. Glassboro: Consnets.
- HaiWAng, S. (25 de Junio de 2019). *Alibaba.com*. Obtenido de Alibaba.com: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/pir-sensor-lhi778-infrared-body-temperature-sensor-best-for-alarm-system-60469855693.html>
- Honeywell. (2015). *Adult Pediatric Infant Neonatal*. Wismar, Germany: Envitec.
- ITEXM, R. (14 de Enero de 2019). *AliExpress*. Obtenido de AliExpress: <https://es.aliexpress.com/item/5PCS-1-77-inch-TFT-LCD-screen-128-160-1-77-TFTSPI-TFT-color-screen-module/32810178736.html>
- Junguk, Mirzaei, Oberg, & Kastner. (2016). *FPGA Based Face Detection System Using Haar Classifiers*. California: San Diego.
- Jurik, & Weaver. (2008). *Remote Medical Monitoring*. Israel: Issue.
- Kim, Chan, & Feng. (2017). *Automatic Mobile Device Synchronization and Remote Control System for Hight - Perfomance Medical Applications*. Chicago: IEEE.
- Kimmel, & Anderberg. (2016). *Cluster Analysis for Applications*. New York: Academic.
- Kuetilek, Volf, Viteckova, & Smrcka. (2017). *Wearable Systems for Monitoring the Helath Conditions of Soldiers*. Moscú: International Journal of Science and Research.

- Libelium. (12 de Enero de 2017). *Cooking Hacks*. Obtenido de Cooking Hacks: www.cooking-hacks.com
- Llorente, A. (19 de Junio de 2017). Microcontroladores de 32 bit con tecnología XLP. *Diario Electronico Hoy*, págs. 1-2.
- Luna, D. (12 de Febrero de 2017). *Hipoxia*. Obtenido de Hipoxia: <https://www.hipoxias.org/saturacion-oxigeno/>
- Luque, J. (29 de Enero de 2011). *EnciclopediaSalud*. Obtenido de EnciclopediaSalud: <https://www.encyclopediasalud.com/categorias/corazon-y-sistema-cardiovascular/articulos/tension-arterial-niveles-normales-e-hipertension>
- MaximIntegrated. (15 de Enero de 2018). *Maxim Integrated*. Obtenido de Maxim Integrated: <https://www.maximintegrated.com/en.html>
- Mbientlab. (12 de Enero de 2017). *Sensing and Data Logging Platform*. Obtenido de Mbientlab: www.mbientlab.com
- Microchip. (10 de Enero de 2018). *Microchip Technology Inc.* Obtenido de Microchip Technology Inc.: <http://www.microchip.com/>
- Millasseau. (2016). *Noninvasive assesment of the digital volume pulse*. New York: IEEE.
- OMRON. (23 de Enero de 2017). *OMRON healthcare.inc.* Obtenido de OMRON healthcare.inc: www.omronhealthcare.com
- Pawel, N., Krzysztof, S., & Witold, P. (2016). *Precision Human Body Temperature Measurement Based on Thermistor Sensor*. Poland: Warsaw.
- Pérez, J. (23 de Junio de 2016). *Definición.de*. Obtenido de Definición.de: <https://definicion.de/tensiometro/>
- RelojAndroid. (25 de Enero de 2018). *Relojandroid.org*. Obtenido de Relojandroid.org: <https://www.relojandroid.org/>
- Samsung. (12 de Marzo de 2019). *Samsung*. Obtenido de Samsung: <https://www.samsung.com/es/memory-storage/memory-cards/>
- SanDisk. (12 de Marzo de 2019). *SanDisk*. Obtenido de SanDisk: <https://www.sandisk.es/>
- Santos, E. (13 de Febrero de 2017). *Consumer*. Obtenido de Consumer: <http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/hardware/2017/02/13/224960.php>
- Singh, & Turjman. (2016). *A Data Delivery Farework for Cognitive Information-Centric Sensor Networks in Smart Outdoor Monitoring*. Iran: Elsevier Computer Communications Journal.

- Taurus. (20 de Febrero de 2019). *Taurus*. Obtenido de Taurus: <https://taurus-home.com/cuidado-personal/bienestar/tensiometros>
- Technology, H. J. (12 de Junio de 2019). *Made in China.com*. Obtenido de Made in China.com: <https://jpsensor.en.made-in-china.com/product/pNMQDbHVnhck/China-Fast-Response-Ntc-Thermistor-Sensor.html>
- Turjman. (2017). *Towards Smart e Healt in the Ultra Large-scale Internet of Things Era*. Iran: IEEE.
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México: The McGraw-Hill Education.
- Vaz, Ubarretxena, Zalbide, & Pardo. (2010). *Full Passive UHF Tag With a Temperature Sensor Suitable for Human Boddy Temperature Monitoring*. Navarra: IEEE Trans. on Circuits Syst. II.
- Ventura, V. (07 de Marzo de 2015). *Polaridad*. Obtenido de Polaridad: <https://polaridad.es/monitorizacion-sensor-pulso-oximetro-frecuencia-cardiaca/>
- Villanueva, F. (15 de Febrero de 2017). *Virtual Instruments*. Obtenido de Virtual Instruments: <http://www.virtualinstruments.com.mx>
- Xataka. (26 de Noviembre de 2014). *www.xataka.com*. Obtenido de <https://www.xataka.com/medicina-y-salud/google-comienza-a-vender-las-cucharas-liftware-para-enfermos-de-parkinson>
- Ziguel, Cohen, & Katz. (2017). *The weight diagnostic distotion (WWD) measure for ECG signal compresion*. Boston: Biomedical Engineering.