



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: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
ROBÓTICO DE MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE
SIGNOS VITALES DE PERSONAS DE EDAD AVANZADA
BASADO EN OPENHAB"**

**AUTORES: AGUILAR CRUZ, RICARDO SEBASTIÁN
ORTÍ MALDONADO, CARLOS ALBERTO**

DIRECTOR: MSc. LOZA MATOVELLE, DAVID CÉSAR

SANGOLQUÍ 2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Ing. David César Loza Matovelle, MSc.

CERTIFICA

Que el trabajo titulado " DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO DE MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE SIGNOS VITALES DE PERSONAS DE EDAD AVANZADA BASADO EN OPENHAB.", realizado por: Sr. Ricardo Sebastián Aguilar Cruz y el Sr. Carlos Alberto Ortí Maldonado , ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple en su totalidad con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por lo que me permito acreditarlo y autorizar su sustentación y publicación.

Sangolquí, 8 de agosto del 2017.



Ing. David César Loza Matovelle.

Director del trabajo de titulación



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Nosotros,
Ricardo Sebastián Aguilar Cruz y
Carlos Alberto Ortí Maldonado

DECLARAMOS QUE:

Que el trabajo titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO DE MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE SIGNOS VITALES DE PERSONAS DE EDAD AVANZADA BASADO EN OPENHAB", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las referencias cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de titulación en mención.

Sangolquí, 8 de agosto del 2017.

Ricardo Sebastián Aguilar Cruz

Carlos Alberto Ortí Maldonado



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Nosotros,
Ricardo Sebastián Aguilar Cruz y
Carlos Alberto Ortí Maldonado

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO DE MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE SIGNOS VITALES DE PERSONAS DE EDAD AVANZADA BASADO EN OPENHAB", cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 8 de agosto del 2017.

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Ricardo Sebastián Aguilar Cruz'.

Ricardo Sebastián Aguilar Cruz

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Carlos Alberto Ortí Maldonado'.

Carlos Alberto Ortí Maldonado

DEDICATORIA

Dedicado a mis abuelitos Marco e Irma, mi tía Lilia, quienes han sido el pilar más importante de mi vida al haber dedicado la suya en hacer de mí una persona de bien, por haberme enseñado el significado de las palabras amor, lealtad, responsabilidad y honestidad. Por siempre haber tenido una palabra de apoyo, una enseñanza, una anécdota, un abrazo sincero y una mirada de amor incondicional. Por ser la inspiración de este proyecto.

A mis padres Álvaro y Verónica, que han estado presentes en cada instante de mi vida, por su lucha constante para salir adelante y ayudarme a cumplir mis sueños, por su protección, dedicación y esfuerzo pues son mi ejemplo y mi fuerza para culminar esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Álvaro y Marco por confiar en mí, brindarme su cariño y permitirme ser su ejemplo como persona, estudiante y profesional.

Carlos Alberto Ortí Maldonado

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de culminar una meta más en la vida y permitirme superar todos los obstáculos que se han presentado en ella.

A mi padre, que con su ejemplo ha sido de mucha importancia para demostrarme que con constancia y dedicación se puede llegar muy lejos, superando cualquier adversidad, trabajando día a día.

A mi madre, ejemplo de honestidad y entusiasmo que con todo su cariño me ha enseñado a ser mejor persona, y a tomar mejores decisiones para lograr mis propósitos.

A mi abuelita, Sonia, sinónimo de esfuerzo y superación, siempre presente con su apoyo incondicional y sus consejos tanto en logros como en contratiempos a lo largo de mi vida.

Ricardo Sebastián Aguilar Cruz.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y abuelos por su tiempo y esfuerzo enfocado a mi formación en todos los aspectos, como persona, como estudiante y como profesional. Con su ayuda he logrado superar los obstáculos que se han presentado en mi vida y de igual manera juntos hemos celebrado cada logro alcanzado.

A mis hermanos, con quienes he compartido muchos momentos felices e inolvidables y son el impulso que me lleva a tratar de ser mejor cada día en lo que me propongo.

A mis amigos, quienes tomaron rumbos académicos distintos, pero se han hecho presentes en cada etapa de mi vida, con cada conversación, cada celebración y cada momento que ha llenado profundamente mi corazón.

A mi Universidad y mis profesores que compartieron grandes enseñanzas y sobre todo a aquellos que depositaron su confianza en mí y se transformaron en amigos.

Al Ingeniero David Loza, por haberse aventurado a llevar a cabo esta idea que nació de un viaje que nos ayudaría a conocerlo más como ser humano, como amigo, aprender del mundo y a sentir más aprecio por la ciencia.

Carlos Alberto Ortí Maldonado

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por todo el esfuerzo y sacrificio que hicieron en conjunto para darme la oportunidad de realizar mis estudios, por todo su apoyo, paciencia y amor incondicional.

A mis abuelitos, por su aliento y cariño en cada instante mostrado, siempre pendientes de mi camino.

A mi novia, compañera presente en toda esta etapa, por su apoyo absoluto en cada paso y su lealtad en todas las decisiones tomadas a lo largo de estos años.

A mis primos Dani y Vero, por su ejemplo de emprendimiento, sus consejos y apoyo de gran valor para la culminación de este trabajo.

A mi hermano, por demostrarme la pasión que se puede tener en sus estudios universitarios y ser feliz con ellos.

A mis familiares y amigos que formaron parte esencial durante el estudio y culminación de mi carrera universitaria.

Ricardo Sebastián Aguilar Cruz.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TESIS.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	xvi
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xviii
CAPÍTULO 1	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Situación sociodemográfica y salud de adultos mayores	1
1.2. Justificación e Importancia.....	4
1.3. Alcance	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Estructura del Documento.....	6
CAPÍTULO 2	9
2.1 Técnicas de monitoreo de signos vitales.....	9
2.1.1 Ritmo cardíaco	9
2.1.2 Temperatura corporal.....	11
2.1.3 Detección de caídas.....	14
2.2 Sistemas de monitoreo de signos vitales a nivel nacional	18
2.3 Pulseras inteligentes basadas en software libre	20
2.4 Pulseras inteligentes comerciales.....	22
2.5 Sistemas robóticos de asistencia médica y vigilancia.....	24
2.5.1 Robots de asistencia médica	24
2.5.2 Robots de vigilancia.....	26

2.6	Resumen.....	28
CAPÍTULO 3		30
3.1	Metodología de Diseño	30
3.1.1	Identificación de necesidades	31
3.1.1.1	Matriz de calidad.....	31
3.2	Diseño de Sistemas y Subsistemas	35
3.2.1	Sistema 1: Brazaletes Inteligentes.....	35
3.2.1.1	Alternativas de diseño y evaluación	36
3.2.1.2	Diseño final del Sistema 1: Brazaletes Inteligentes	51
3.2.2	Sistema 2: Robot de Videovigilancia.....	60
3.2.2.1	Alternativas de diseño y evaluación	61
3.2.2.2	Diseño final del subsistema 2: Robot de video vigilancia	71
3.2.2.2.1	Robot de Video Vigilancia.....	71
3.2.2.2.2	Control Remoto Inalámbrico	83
3.2.3	Sistema 3: Interfaz de Usuario	90
3.2.3.1	Evaluación y selección de alternativas	91
3.2.3.2	Diseño final del subsistema 3	93
3.3	Concepto Final	96
3.4	Resumen.....	101
CAPÍTULO 4		103
4.1	Brazaletes Inteligentes	103
4.1.1	Circuito de control del brazalete	104
4.1.2	Manufactura de la Estructura	105
4.1.3	Ensamble final de los componentes	106
4.1.4	Algoritmo de funcionamiento	107
4.1.5	Pruebas y resultados de la implementación del Brazaletes Inteligentes ..	108
4.1.5.1	Pruebas del funcionamiento de los sensores	108
4.1.5.1.1	Pruebas de medición de temperatura	109
	a) Exactitud.....	109
	b) Precisión	109
	c) Rapidez de respuesta	110
4.1.5.1.2	Resultados de medición de temperatura	111

a) Exactitud.....	111
b) Precisión	112
c) Rápidez de respuesta	113
4.1.5.1.3 Pruebas y resultados de medición de ritmo cardíaco	114
4.1.5.1.4 Pruebas de detección de caídas	115
a) Calibración de movimientos.....	115
b) Detección de caídas	120
4.1.5.1.5 Resultados de detección de caídas	121
4.1.5.1.6 Pruebas y resultados de ergonomía.....	122
4.2 Robot de Video Vigilancia.....	123
4.2.1 Circuitos del control.....	124
4.2.2 Manufactura de la estructura.....	127
4.2.3 Ensamble final de los componentes	129
4.2.4 Algoritmo de funcionamiento	131
4.2.5 Pruebas de la implementación del Robot de video vigilancia	133
4.2.5.1 Pruebas y resultados de funcionamiento y comunicación	133
4.2.5.2 Pruebas y resultados de autonomía	134
4.3 Interfaz de Usuario.....	135
4.3.1 Desarrollo e implementación	135
4.3.2 Algoritmo de funcionamiento.....	138
4.3.3 Pruebas y resultados Interfaz de Usuario e Integración del Sistema	139
4.3.3.1 Pruebas de recepción de alertas	139
4.3.4 Resultados de funcionamiento del sistema robótico	142
4.4 Análisis económico de implementación	143
4.5 Algoritmo de funcionamiento del sistema robótico.....	145
4.6 Resumen.....	146
CAPÍTULO 5	147
5.1 Conclusiones	147
5.2 Recomendaciones y Trabajos Futuros	149
BIBLIOGRAFÍA	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dispositivos para medir la temperatura	12
Tabla 2 Dispositivos detectores de caídas.....	14
Tabla 3 Características de pulseras comerciales del 2017	22
Tabla 4 Identificación de necesidades de los clientes	32
Tabla 5 Especificaciones técnicas del proyecto	32
Tabla 6 Matriz QFD del sistema robótico.....	33
Tabla 7 Resultados de especificaciones técnicas de la matriz QFD	34
Tabla 8 Definición de sistemas y subsistemas del proyecto	34
Tabla 9 Alternativas de sensores de temperatura.....	36
Tabla 10 Ponderación de criterios de evaluación del sensor de temperatura.....	37
Tabla 11 Ponderación del tamaño del sensor de temperatura	37
Tabla 12 Ponderación de la resolución del sensor de temperatura	38
Tabla 13 Ponderación del principio del sensor de temperatura	38
Tabla 14 Conclusión de la selección del sensor de temperatura.....	38
Tabla 15 Alternativas de sensor de ritmo cardíaco	39
Tabla 16 Ponderación de los criterios de evaluación del sensor de ritmo cardíaco... 40	
Tabla 17 Ponderación del tamaño del sensor de ritmo cardíaco	40
Tabla 18 Ponderación de ruido del sensor de ritmo cardíaco	41
Tabla 19 Ponderación sensor de ritmo cardíaco	41
Tabla 20 Conclusión de la selección sensor de ritmo cardíaco.....	41
Tabla 21 Alternativas de botón de emergencia	42
Tabla 22 Ponderación del botón de emergencia	43
Tabla 23 Ponderación del tamaño del botón de emergencia.....	43
Tabla 24 Ponderación del costo del botón de emergencia	43
Tabla 25 Ponderación del principio físico del botón de emergencia	43
Tabla 26 Conclusión de la selección del botón de emergencia.....	43
Tabla 27 Alternativas de sensores para detección de caídas.....	44
Tabla 28 Ponderación del sensor para detección de caídas.....	45
Tabla 29 Ponderación del tamaño del sensor para detección de caídas	45
Tabla 30 Ponderación del número de pines del sensor para detección de caídas	45
Tabla 31 Ponderación de los grados de libertad del sensor	46
Tabla 32 Conclusión de la selección del sensor para detección de caídas.....	46
Tabla 33 Alternativas de microcontroladores	46
Tabla 34 Ponderación de los criterios de evaluación del microcontrolador	47
Tabla 35 Ponderación del tamaño del microcontrolador	47
Tabla 36 Ponderación de la capacidad de memoria del microcontrolador	48
Tabla 37 Ponderación de la memoria RAM del microcontrolador	48
Tabla 38 Conclusión de la selección del microcontrolador	48
Tabla 39 Alternativas de material estructural	50
Tabla 40 Ponderación de los criterios de evaluación del material estructural	50
Tabla 41 Ponderación del costo del material estructural	51
Tabla 42 Ponderación de la maquinabilidad del material estructural	51
Tabla 43 Ponderación de la resistencia del material estructural	51
Tabla 44 Conclusión para selección del material estructural.....	51
Tabla 45 Consumo máximo de corriente en el subsistema 1	52
Tabla 46 Alternativas de baterías	54

Tabla 47 Ponderación de los criterios de evaluación de la batería	55
Tabla 48 Ponderación de la capacidad de la batería	55
Tabla 49 Ponderación de la capacidad de recargar la batería	55
Tabla 50 Ponderación del tamaño de la batería	55
Tabla 51 Conclusión para selección de la batería	55
Tabla 52 Tipos de robots móviles	61
Tabla 53 Ponderación de los criterios de selección del tipo de robot	62
Tabla 54 Ponderación de la facilidad de desplazamiento del robot	62
Tabla 55 Ponderación de la complejidad de la arquitectura del robot	63
Tabla 56 Ponderación del tamaño de la estructura del robot	63
Tabla 57 Conclusión de la selección del tipo de robot	63
Tabla 58 Alternativas de material estructural	64
Tabla 59 Ponderación de los criterios de selección de la cámara	64
Tabla 60 Ponderación del tipo de software de la cámara	64
Tabla 61 Ponderación de los grados de libertad de la cámara	65
Tabla 62 Ponderación del costo de la cámara	65
Tabla 63 Conclusión para selección de cámara	65
Tabla 64 Alternativas de microcontroladores	66
Tabla 65 Ponderación de los criterios de evaluación del microcontrolador	66
Tabla 66 Ponderación de los criterios de evaluación del microcontrolador	67
Tabla 67 Ponderación del número de entradas y salidas del microcontrolador	67
Tabla 68 Ponderación del costo del microcontrolador	67
Tabla 69 Conclusión para selección del microcontrolador	67
Tabla 70 Alternativas de comunicación inalámbrica	68
Tabla 71 Ponderación de los criterios de selección del receptor inalámbrico	69
Tabla 72 Ponderación del tamaño del receptor inalámbrico	69
Tabla 73 Ponderación del consumo de corriente del receptor inalámbrico	69
Tabla 74 Ponderación del costo del receptor inalámbrico	69
Tabla 75 Conclusión de la selección del receptor inalámbrico	69
Tabla 76 Selección de material estructural del robot	70
Tabla 77 Motores Mabuchi FC-280PA/SA	72
Tabla 78 Características del motor de “Mabuchi”	72
Tabla 79 Componentes del Robot de video vigilancia	74
Tabla 80 Características de la batería Lipo	75
Tabla 81 Resistencia del acrílico	79
Tabla 82 Propiedades mecánicas del PLA	81
Tabla 83 Componentes del control remoto	83
Tabla 84 Consumo de corriente del control remoto del control remoto	84
Tabla 85 Características de batería del control remoto	85
Tabla 86 Distribución de íconos, variables y direccionamiento	93
Tabla 87 Termómetro de mercurio y Brazaletes Inteligente en prueba de exactitud	109
Tabla 88 Prueba de precisión de los dispositivos	110
Tabla 89 Datos de temperatura-tiempo para prueba de rapidez de respuesta	111
Tabla 90 Rapidez de respuesta de medición de temperatura	113
Tabla 91 Dispositivo comercial y el Brazaletes Inteligente	115
Tabla 92 Código de color de las curvas de aceleración angular	116
Tabla 93 Identificación de caídas por el Brazaletes inteligente	120
Tabla 94 Error porcentual de caídas por el Brazaletes inteligente	122
Tabla 95 Resultados de la prueba de ergonomía del Brazaletes Inteligente	122
Tabla 96 Resultados de la prueba de ergonomía del Brazaletes Inteligente	123

Tabla 97 Resultados de la prueba de autonomía del Subsistema 2.....	134
Tabla 98 Resultados el envío y recepción de variables.....	142
Tabla 99 Error porcentual del envío y recepción de variables.....	142
Tabla 100 Error porcentual del envío y recepción de variables.....	143
Tabla 101 Error porcentual del envío y recepción de variables.....	144
Tabla 102 Error porcentual del envío y recepción de variables.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estadísticas de la población de adultos mayores en Ecuador.....	2
Figura 2 Sensor de oximetría.....	3
Figura 3 Arduino con módulo de comunicación "ZigBee".....	10
Figura 4 Curva del ritmo cardíaco en interfaz gráfica.....	11
Figura 5 Ejes del cuerpo humano para detección de caídas.....	15
Figura 6 Dispositivo portátil para detección automática de caídas.....	16
Figura 7 Dispositivo Kinect y sus componentes.....	16
Figura 8 Detección de una caída con Kinect.....	17
Figura 9 Algoritmo de detección de caídas.....	17
Figura 10 Monitorización de temperatura y ritmo cardíaco.....	19
Figura 11 Angel Health Sensor.....	20
Figura 12 Picktologo.....	21
Figura 13 Pulsera JewelBots.....	21
Figura 14 Dron Ambulancia.....	25
Figura 15 Robot PR-Vita.....	25
Figura 16 Esquema de conexión de sistema robótico.....	26
Figura 17 Interfaz de ROBO-SCRAPY II.....	27
Figura 18 Robot de Video vigilancia.....	28
Figura 19 Proceso genérico de desarrollo de productos.....	30
Figura 20 Proceso de desarrollo de conceptos.....	31
Figura 21 Sensor MLX906141.....	39
Figura 22 Transmisor RF F1000a.....	49
Figura 23 Diagrama electrónico del Subsistema 1.....	56
Figura 24 Simulación 3D del PCB del Subsistema 1.....	57
Figura 25 Estructura externa del Brazalete Inteligente.....	59
Figura 26 Vista explotada de la estructura del Brazalete Inteligente.....	59
Figura 27 Correa ergonómica del Brazalete Inteligente.....	60
Figura 28 Prototipo analítico del Subsistema 1.....	60
Figura 29 Motor Mabuchi.....	72
Figura 30 Batería Lipo 1.6Ah - 7.4V.....	75
Figura 31 Diagrama electrónico del Subsistema 2.....	77
Figura 32 PCB del robot diferencial de videovigilancia.....	78
Figura 33 Morfología del robot diferencial de videovigilancia.....	78
Figura 34 Vista explotada del robot diferencial de videovigilancia.....	79
Figura 35 Análisis de tensión en la plataforma.....	80
Figura 36 Factor de seguridad en la plataforma.....	80
Figura 37 Simulación de colisión.....	81
Figura 38 Análisis de tensiones en la estructura.....	82

Figura 39	Análisis de desplazamientos en la estructura.....	83
Figura 40	Batería Lipo Rinho	86
Figura 41	Diagrama electrónico del Control Remoto	88
Figura 42	PCB del Control Remoto	89
Figura 43	Diseño CAD del Control Remoto del Robot de video vigilancia.....	89
Figura 44	Vista explotada del Control Remoto	90
Figura 45	RaspberryPi	91
Figura 46	Receptor de radiofrecuencia RFXcom.....	92
Figura 47	Diseño esquemático de la pantalla principal del sistema.....	94
Figura 48	Diseño esquemático de las ventanas "Pacientes"	95
Figura 49	Diseño esquemático de la venta de control del Robot.....	95
Figura 50	Concepto final del Brazalete Inteligente.....	97
Figura 51	Concepto final del control remoto del robot.....	98
Figura 52	Concepto final del Robot de video vigilancia	99
Figura 53	Concepto final de la Interfaz de Usuario	100
Figura 54	Esquema de conexión del sistema robótico	101
Figura 55	Prototipo de prueba del Brazalete Inteligente.....	104
Figura 56	Construcción del PCB del Brazalete Inteligente	104
Figura 57	Soldadura de componentes del Brazalete Inteligente en el PCB.....	105
Figura 58	Componentes del Brazalete Inteligente integrados en el PCB	105
Figura 59	Manufactura del Brazalete Inteligente por impresión 3D.....	106
Figura 60	Manufactura de la correa ergonómica mediante impresión 3D.....	106
Figura 61	Componentes del Subsistema 1	107
Figura 62	Ensamble del Brazalete Inteligente	107
Figura 63	Resultado final de la construcción del Brazalete Inteligente.....	107
Figura 64	Termómetro de mercurio y el Brazalete Inteligente	112
Figura 65	Termómetro de mercurio y el Brazalete Inteligente	112
Figura 66	Medición temperatura en el Brazalete Inteligente	113
Figura 67	Medición del ritmo cardíaco.....	114
Figura 68	Inactividad del paciente [rads ² , s].....	116
Figura 69	Variación de la aceleración al "Sentarse-levantarse" [rads ² , s].....	117
Figura 70	Variación de la aceleración al "Acostarse-levantarse" [rads ² , s].....	117
Figura 71	Variación de la aceleración al "Mover las manos" [rads ² , s].....	118
Figura 72	Variación de la aceleración al "Vestirse-Desvestirse" [rads ² , s].....	118
Figura 73	Variación de la aceleración al "Caminar" [rads ² , s]	119
Figura 74	Variación de la aceleración en una "Caída Frontal" [rads ² , s].....	119
Figura 75	Variación de la aceleración en la "Caída hacia atrás" [rads ² , s]	120
Figura 76	Prueba de funcionamiento del circuito del Robot de Video vigilancia ...	125
Figura 77	Construcción del PCB del robot de video vigilancia.....	125
Figura 78	Prueba de funcionamiento del circuito Control Remoto	126
Figura 79	Construcción del PCB del Control Remoto.....	126
Figura 80	Integración de componentes en el PCB del control remoto	127
Figura 81	Manufactura de la estructura por impresión corte láser.....	127
Figura 82	Componentes bidimensionales de la estructura del Robot	128
Figura 83	Componentes bidimensionales de la estructura del Control Remoto	128
Figura 84	Manufactura de la estructura del robot mediante impresión 3D.....	129
Figura 85	Ensamble del robot de video vigilancia.....	129
Figura 86	Resultado final de la construcción del robot de video vigilancia	130
Figura 87	Ensamble del Control Remoto.....	130
Figura 88	Resultado final de la construcción del control remoto	131

Figura 89 Control remoto con la integración de un dispositivo móvil	131
Figura 90 Implementación del Subsistema 2 en modo diurno	133
Figura 91 Implementación del Subsistema 2 en modo nocturno	134
Figura 92 Pantalla de inicio de la Interfaz de Usuario	136
Figura 93 Pantalla de monitoreo de parámetro de la salud	137
Figura 94 Pantalla de control remoto del robot de video vigilancia	137
Figura 95 Activación de alertas de Temperatura y Ritmo Cardíaco Bajo	139
Figura 96 Activación de alertas de Temperatura y Ritmo Cardíaco Normal.....	140
Figura 97 Activación de alertas de Temperatura Alta y Paciente Caído	140
Figura 98 Activación de la alerta de Emergencia: El Paciente necesita atención....	141
Figura 99 Activación de los botones de control del Robot de Video vigilancia.....	141

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 a) Temperatura, b) Botón emergencia y ritmo cardíaco.....	58
Diagrama 2 Proceso de manufactura del Subsistema 1	103
Diagrama 3 Algoritmo de funcionamiento del Brazaletes Inteligente	108
Diagrama 4 Algoritmo para detección de caídas	121
Diagrama 5 Proceso de manufactura del Robot de video vigilancia	124
Diagrama 6 Proceso de manufactura del Control remoto	124
Diagrama 7 Algoritmo de funcionamiento del Subsistema 2	132
Diagrama 8 Proceso de implementación de la interfaz en Openhab.....	135
Diagrama 9 Algoritmo de funcionamiento de la interfaz de usuario	138
Diagrama 10 Algoritmo de funcionamiento del sistema robótico integrado	145

RESUMEN

El presente trabajo corresponde al diseño e implementación de un sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada basado en Openhab. El objetivo principal se centra en la implementación un sistema que permita monitorear los signos de vitales (Temperatura, ritmo cardíaco y detección de caídas) de personas de edad avanzada a través de una pulsera inteligente dotada de sensores no invasivos y altamente confiables que mediante algoritmos basados en software libre sea capaz de interpretarlos y transmitirlos inalámbricamente por radio frecuencia a una plataforma e interfaz de usuario HMI. Como parte del mismo sistema, el diseño e implementación de un robot diferencial teledirigido capaz de transmitir datos de video a la misma plataforma inalámbrica en tiempo real para monitorear el estado del adulto mayor. Se realiza un estudio comparativo con dispositivos comerciales para determinar la fiabilidad de los datos obtenidos de la medición de los signos vitales y velocidad de respuesta del sistema. Además, se muestra un estudio de la autonomía energética, ergonomía y costo de implementación.

PALABRAS CLAVES:

- **SISTEMA ROBÓTICO**
- **MONITOREO**
- **PULSERA INTELIGENTE**
- **ROBOT DIFERENCIAL**
- **SIGNOS VITALES**
- **SISTEMA INALÁMBRICO**
- **OPENHAB**

ABSTRACT

The present project corresponds to the design and implementation of a robotic system of monitoring and interpretation of vital signs of elderly people based on openhab. The main objective is to implement a system that allows the monitoring of vital signs (Temperature, heart rate and fall detection) of elderly people through a smart bracelet equipped with non-invasive and highly reliable sensors that using algorithms based on free software is Capable of interpreting and transmitting them wirelessly by radio frequency to a platform and HMI user interface. As part of the same system, the design and implementation of a remote-controlled differential robot capable of transmitting video data to the same wireless platform in real time to monitor the condition of the older adult. A comparative study with commercial devices is performed to determine the reliability of the data obtained from the measurement of vital signs and speed of response of the system. Also, it shows an study of the energy autonomy, ergonomics and cost of implementation.

KEYWORDS:

- **ROBOTIC SYSTEM**
- **MONITORING**
- **SMART BRACELET**
- **DIFFERENTIAL ROBOT**
- **VITAL SIGNS**
- **WIRELESS SYSTEM**
- **OPENHAB**

Introducción

La población adulta mayor sufre un crecimiento poblacional considerable debido a que la esperanza de vida ha aumentado de 75 a 85 años (Andes, 2014).

La necesidad de asistencia a largo plazo está aumentando. Se pronostica que para el año 2050 la cantidad de ancianos que no pueden valerse por sí mismos se multiplicarán por cuatro en países en desarrollo. Muchos ancianos de edad muy avanzada pierden la capacidad de vivir independientemente porque padecen de limitaciones de movilidad, fragilidad u otros problemas físicos y mentales (OMS, 2017).

Los avances constantes en las redes inalámbricas, sensores médicos, y software de interoperabilidad crean posibilidades interesantes para mejorar la manera de proporcionar atención de emergencia a personas de edad avanzada (Gao, Greenspan, Welsh, Juang, Alm, 2005).

El proyecto propone una solución mediante el diseño e implementación de un prototipo de brazalete inteligente para monitorización de ritmo cardíaco, temperatura, botón de auxilio y estado del paciente a través de la utilización de la tecnología que se tiene al alcance. Se establece el diseño y construcción de un robot diferencial provisto de una cámara inalámbrica de dos grados de libertad para orientación cuya función es la de vigilancia e interacción.

Finalmente se pretende implementar un sistema inalámbrico basado en software libre y Openhab para la adquisición e interpretación de la información biométrica, visual y para el control del robot.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

El capítulo a continuación expone los antecedentes, alcance y objetivos del proyecto desarrollado. Se referencian estadísticas de los problemas que sufren las personas de edad avanzada en Ecuador y en el mundo. Son detalladas ampliamente las ventajas de la implementación de un sistema de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada como una solución tecnológica, confiable y económica para la vigilancia del estado de salud de una persona. Finalmente, se realiza una breve descripción del contenido de los capítulos siguientes.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Situación sociodemográfica y salud de adultos mayores

La población mundial está envejeciendo en proporciones significativas. En números absolutos, las personas de edad avanzada pasarán de 605 millones a 2000 millones en el transcurso de medio siglo y en el mundo existirán más personas octogenarias y nonagenarias que en años pasados. Se espera que entre 2000 y 2050 la cantidad de personas de 80 años o más aumentará casi cuatro veces hasta alcanzar los 395 millones (OMS, 2017).

La población de adultos mayores cada día incrementa su porcentaje en Ecuador y en todo el mundo. Según proyecciones, Ecuador habrá envejecido un 12% más que el índice actual en el año 2050. La aplicación de la tecnología para ofrecer servicios de supervisión y atención a distancia en el país reduciría la alta demanda que los hospitales registran actualmente (Chipuxi G., 2017).

En el Ecuador acorde con las cifras obtenidas del último censo existen 1'229.089 adultos mayores (personas de más de 60 años). El 11% de los adultos mayores viven solos, mientras que los adultos mayores que viven acompañados en

su mayoría viven con su hijo (49%), nieto (16%) y esposo o compañero (15%).

El INEC (2011), afirma que la satisfacción en la vida en el adulto mayor ecuatoriano aumenta considerablemente cuando vive acompañado en un 10%. El 89% de adultos mayores en el país viven acompañados, donde el 20% por lo general se atribuye a centros asistenciales. La distribución de la población adulta en el Ecuador se muestra en la Figura 1.

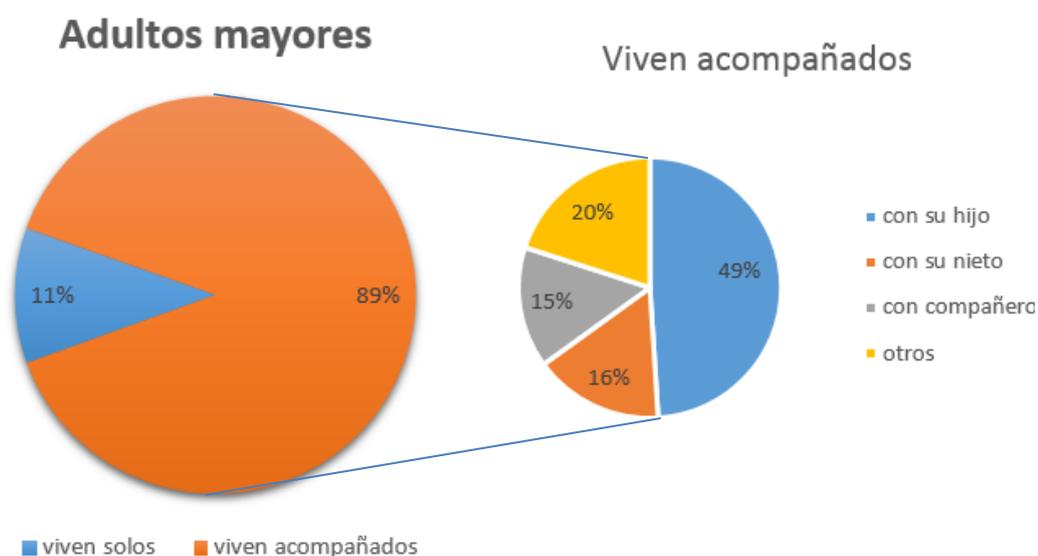


Figura 1 Estadísticas de la población de adultos mayores en Ecuador

Las enfermedades más comunes que se presentan en adultos mayores a 60 años en el área urbana son: osteoporosis (19%), diabetes (13%) y problemas del corazón (13%) (INEC, 2011). Las enfermedades del corazón son las que tienen el mayor número de muertes en el país, suman casi 12 000, el 51,68% de las víctimas son hombres, mientras que el 48,32% restantes son mujeres (INEC, 2016).

Andes (2014) menciona que: "De acuerdo con las cifras expuestas, entidades gubernamentales y privadas deben prepararse y trabajar para poder solventar las necesidades de la población de personas de edad avanzada que se espera se duplique hasta el año 2025". Las personas de edad avanzada tratan de llevar una buena calidad de vida, incluyéndose en el avance tecnológico que les permite tener más autonomía al realizar sus actividades (INE, 2016).

1.1.2. Soluciones tecnológicas para adultos mayores

La Domótica es una tecnología que desde hace unos años ha comenzado a conocerse ampliamente y extender su rango de aplicaciones. Entre sus aplicaciones esta en favorecer y potenciar la autonomía personal, independencia y calidad de vida de las personas que, por circunstancias, envejecimiento, discapacidad o enfermedad, requieren ayuda y cuidados para determinadas actividades de la vida diaria.

Se han realizado varias investigaciones, nacional e internacionalmente sobre temas relacionados con el monitoreo de signos vitales. En la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE se desarrolló un Módulo didáctico de un medidor de frecuencia cardíaca mediante foto pletismografía, para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica. Para medir constantemente la frecuencia cardíaca de una persona o paciente, consta un transductor de dos componentes, un emisor de luz y un foto detector, en forma de pinza, para ser situado en el dedo; Su funcionamiento se basa en la absorción diferencial de la luz reflejada desde los capilares del dedo hacia el foto detector (Chancusi, 2015).

En (Guano P, 2017), se implementó un sistema que recoge datos de diferentes variables biológicas del cuerpo humano tales como la temperatura, el nivel de oxígeno en la sangre, ritmo cardíaco, la posición del cuerpo, e incluso señales de un electrocardiograma. El prototipo emplea comunicación móvil (i.e., GSM GPRS) para enviar los datos a un servidor Web (Guano P, 2017). En la Figura 2 se muestra la implementación del sensor de oximetría del proyecto descrito.



Figura 2 Sensor de oximetría

Fuente: (Guano P, 2017)

En la misma institución se ha logrado desarrollar un dispositivo electrónico de adquisición y transmisión de señales de temperatura corporal, presión arterial, ritmo cardíaco y un electrocardiograma, utilizando tecnologías de transmisión inalámbrica (Bluetooth), con una interfaz de usuario en una central de monitoreo (Tablet), alineándose con el desarrollo permanente de nuevas tecnologías de soporte al diagnóstico y tratamiento de enfermedades (Gavilema J., Mullo E., 2014).

Por otra parte, en Universidad de Valladolid - UVa ha realizado investigaciones relacionadas a una instalación domótica basada en Openhab y Raspberry Pi orientado a personas de edad avanzada. Durante la investigación se desarrolló un sensor de cama capaz de interactuar con una interfaz diseñada para dispositivos inalámbricos y permiten determinar la posición de una persona (Vega, R., 2015).

Las investigaciones y trabajos desarrollados previamente, junto con los avances tecnológicos de software y hardware libre, han servido de punto de partida para el desarrollo del Proyecto de un Sistema robótico de monitoreo de signos vitales basados en Openhab.

1.2. Justificación e Importancia

Las emergencias de salud de personas de edad avanzada son muy frecuentes pero rara vez atendidas a tiempo debido a las limitaciones de las personas a cargo de su cuidado para estar permanentemente comunicadas con ellos. El uso de la tecnología facilita la comunicación entre los pacientes y las personas que se encuentran a cargo de su cuidado.

El cuidado de una persona de la tercera edad es una tarea laboriosa debido a las necesidades particulares que presenta, se requiere una constante vigilancia y monitoreo de su estado de salud, de las actividades que realiza y de los horarios que debe cumplir (Infogerontología, 2016). Actualmente existen dispositivos que permiten determinar parámetros de la salud en forma de relojes inteligentes y

brazaletes, cuyo costo es elevado y no ofrecen la opción de interpretar los datos.

Mediante la implementación del proyecto se busca monitorear los signos vitales en las personas tales como la temperatura corporal y ritmo cardiaco, también la posición del paciente. La utilización de un robot teledirigido servirá para la vigilancia a través de una cámara en caso de que se detecte comportamientos anormales de los signos vitales y la posición del paciente. Toda la información del paciente puede ser monitoreada mediante dispositivos móviles con aplicación Openhab. La implementación del Proyecto forma parte de las nuevas tecnologías al alcance y servicio de sectores vulnerables de la sociedad, cuya finalidad es brindar una solución innovadora y que permita ser un punto de partida para el desarrollo de sistemas similares.

1.3. Alcance

El presente proyecto tiene por objetivo el diseño e implementación de un sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada para edad avanzada basada en Openhab. El sistema contará de una pulsera ergonómica compuesta por sensores de temperatura y de ritmo cardíaco para monitorear dichos parámetros constantemente en el paciente que la porte y un robot provisto de una cámara y capaz de ser tele operada para poder visualizar en tiempo real la actividad del paciente a través de video.

El sistema robótico estará construido con componentes de hardware libre y su funcionamiento se verá regido por un algoritmo de programación capaz de interpretar y transmitir los datos, basado en software libre. Será contrastado con un sistema de monitoreo disponible comercialmente con la finalidad de validar su funcionamiento y emitir conclusiones cualitativas y cuantitativas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada basado en Openhab.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar, implementar y construir el prototipo mecatrónico de brazalete inteligente de bajo costo.
- Diseñar e implementar y construir un robot móvil diferencial teledirigido para la vigilancia del paciente.
- Implementar un sistema de monitorización para los dos dispositivos mediante una interfaz utilizando software libre y Openhab.
- Diseñar e implementar una interfaz humano-máquina (HMI) portátil para controlar y monitorear los dos dispositivos.

1.5. Estructura del Documento

El Capítulo 1 expone la descripción a gran escala del proyecto, los antecedentes desde puntos de vista estadísticos y descriptivos de trabajos relacionados con el tema del proyecto, la identificación de la problemática, justificación e importancia de la realización del proyecto, el alcance y los objetivos para lograr su desarrollo.

El Capítulo 2 contiene el estado del arte sobre temas relacionados con pulseras inteligentes comerciales y de ámbito investigativo realizadas mediante hardware y software libre (open source), métodos de medición de las variables que forman parte de los parámetros de la salud y sistemas inalámbricos de asistencia médica.

El Capítulo 3 abarca la metodología y diseño mecatrónico del sistema de monitoreo e interpretación de signos vitales a través del análisis de sistemas y

subsistemas formados por: Estructuras, diseño electrónico, software de programación, comunicación e interfaz de usuario.

El Capítulo 4 desarrolla el procedimiento implementado para la fabricación, manufactura, ensamble y la puesta en marcha de los sistemas para la integración dentro de un solo sistema mecatrónico. Posteriormente se muestran las pruebas realizadas y los resultados obtenidos producto de la experimentación, comparación de medición de variables y funcionamiento.

El Capítulo 5 menciona las conclusiones obtenidas por el desarrollo del proyecto y su implementación, las recomendaciones de su aplicación y los futuros trabajos que conlleva su desarrollo.

CAPÍTULO 2

Estado del Arte

El capítulo a continuación abarca el concepto de pulseras inteligentes y sistemas robóticos desarrollados comercialmente y con fines investigativos. Realiza una introducción a las aplicaciones más comunes y al funcionamiento de dispositivos y sistemas de monitoreo de signos vitales especialmente para personas de edad avanzada. Por último, se presenta proyectos desarrollados a nivel nacional e internacional fuentes de inspiración del proyecto y una breve descripción de los componentes más utilizados.

2.1 Técnicas de monitoreo de signos vitales

2.1.1 Ritmo cardíaco

La profundización en el manejo e implementación de sensores para monitorización de signos vitales han destacado en los últimos años como es el caso de la utilización foto pletismógrafos, pulsímetros y sensores no invasivos para medición parámetros de la salud. Se manejan actualmente diversas técnicas para captación de señales biométricas tales como el ritmo cardíaco y la temperatura corporal, entre las que se encuentran:

a. Manual

Para medir el pulso sin la ayuda de ningún aparato electrónico son necesarias técnicas donde mediante la colocación del dedo índice y medio en una arteria pase muy cerca de la piel. De esta manera se puede medir en el cuello (pulso carotideo), en la muñeca (pulso radial), en la ingle (pulso femoral), en la parte interna del codo (pulso cubital), en la parte posterior de la rodilla (pulso poplíteo), en la sien (pulso temporal) o en la cara interna del pie (pulso medio). Se mantienen presionadas las zonas mencionadas para poder contar las pulsaciones por minuto. El valor puede ser multiplicado por dos o mantener dos minutos la técnica (Rodríguez A., 2014).

b. Fotopletismográfico

Es un método por el que se mide la Presión Arterial a través de la opacidad y atenuación de radiación infrarroja. Se diseñó para ser usado en el dedo de la persona (como un oxímetro). Permite el monitoreo continuo de la Presión Arterial y también la visualización y registro de las curvas de presión (Andrade G., 2015).

El foto pletismógrafo es un instrumento para medir constantemente la frecuencia cardíaca de una persona o paciente formado por un transductor de dos componentes, un emisor de luz y un foto detector. Se coloca generalmente en el dedo índice. Su funcionamiento se basa en la captación de la luz reflejada por los capilares del dedo hacia el foto detector (Chancusi A., 2015).

La utilización del sensor antes expuesto dio paso al desarrollo e implementación de un módulo capaz de transmitir de manera inalámbrica la señal cardíaca a través del módulo "ZigBee" para Arduino que se muestran en la Figura 3.



Figura 3 Arduino con módulo de comunicación "ZigBee"

Fuente: (Chancusi A., 2015)

La utilización de un entorno gráfico para la visualización de la señal obtenida ha sido desarrollada mediante el software MATLAB y su interfaz de usuario GUI donde se muestra la curva del ritmo cardíaco obtenido inalámbricamente. La interfaz se observa en la Figura 4.

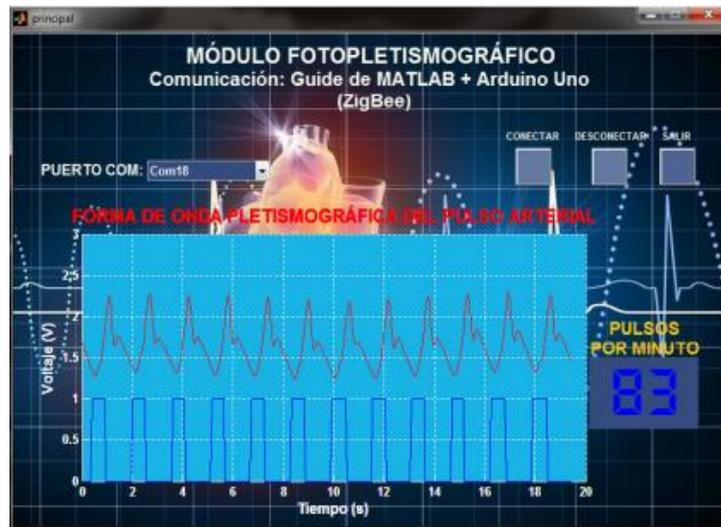


Figura 4 Curva del ritmo cardíaco en interfaz gráfica

Fuente: (Chancusi A., 2015)

c. Pulsometría

La frecuencia cardíaca puede ser monitoreada por sensores conocidos como pulsímetros, aunque su nombre correcto es el de frecuencímetro cardíaco. Los aparatos se componen de una cinta que se coloca a la altura del pectoral y que está conectado con un reloj que mide la frecuencia cardíaca.

El pulsímetro mide la presión cardíaca en reposo, el incremento de la frecuencia de los latidos hasta el punto máximo y la desaceleración durante la etapa de reposo. Por a su principio de funcionamiento se desarrolló un módulo capaz de adquirir la señal fisiológica mediante un sensor piezoeléctrico cuya señal es acondicionada con la finalidad de obtener la onda deseada. Una etapa posterior de tratamiento de la señal permite que sea enviada de forma inalámbrica mediante una comunicación Zigbee y por último ser visualizada mediante una Interfaz Gráfica realizada en el software de Labview (Andrade G., 2015).

2.1.2 Temperatura corporal

La medición de la temperatura es un método para tomar la temperatura de una persona y determinar si se encuentra o no dentro de un rango normal. Pueden presentarse dos eventos en el cuerpo humano, la hipertermia o incremento de

temperatura y la hipotermia o descenso de la temperatura corporal con respecto a su valor normal.

Actualmente existen dispositivos de diversos tipos para la medición de la temperatura que incluyen métodos invasivos y no invasivos entre los que podemos encontrar los mostrados en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1

Dispositivos para medir la temperatura

Descripción	Ilustración	Principio Físico
<p>Termómetro de mercurio Bulbo grueso. Utilizado para medir la temperatura rectal con escala de 35 a 42 grados centígrados.</p>	 <p>[Apuntes Auxiliar Enfermería. ,2015]</p>	<p>El depósito de mercurio en el vidrio se dilata cuando aumenta la temperatura del mismo. El aumento de volumen se ve reflejado en el tubo de vidrio, por lo que mientras más aumente el volumen más temperatura marcará el termómetro.</p>
<p>Termómetro de mercurio bulbo normal o fino Utilizado para medir temperatura bucal y axilar con escala de 35 a 42 grados centígrados.</p>	 <p>[Apuntes Auxiliar Enfermería. ,2015]</p>	<p>La punta del dispositivo toca la piel y circula una corriente que proviene de la fuente de energía. La temperatura del cuerpo interactúa</p>
<p>Digitales Utilizados para medir temperatura bucal, axilal o rectal</p>	 <p>[Apuntes Auxiliar Enfermería. ,2015]</p>	<p>La punta del dispositivo toca la piel y circula una corriente que proviene de la fuente de energía. La temperatura del cuerpo interactúa</p>

con la seisisencia cambiando su valor y el de la corriente que es conducida. Un circuito electrónico es capaz de detectar la tasa de cambio y de acuerdo al valor que registra se generan los valores en la pantalla.

Infrarrojos

Utilizado para medir la temperatura de personas mayores a 7 años, por el conducto auditivo u otras partes del cuerpo



[Apuntes Auxiliar Enfermería. ,2015]

Miden la temperatura utilizando la radiación emitida por los objetos. El dispositivo posee un lente por el cual se recibe la emisividad infrarroja del objeto. Dicha cantidad de energía es convertida a través de principios electrónicos en un valor que se genera en la pantalla del dispositivo.

2.1.3 Detección de caídas

Existen sistemas de detección de caídas de diferentes tipos y principios de funcionamiento. Pueden ser basados en dispositivos que censan el ambiente del paciente o compactos dispositivos móviles que son utilizados para monitorear la actividad, movimientos y posición continuamente (González R., Hernández R., Jiménez B., 2016).

La Revista Española de Geriátría y Gerontología (2006), establece que existen distintos tipos de detectores de caídas. Se contemplan dos grupos entre los sensores y actuadores que se utilizan, lo cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Dispositivos detectores de caídas

	Detección inmediata	Detección del comportamiento inusual
Aparatos portátiles	<ul style="list-style-type: none"> - Detección de caída y emisión de alarma - Tecnologías utilizadas: acelerómetros, sensores de posición e inclinación y algoritmos de control. 	<ul style="list-style-type: none"> - No detectan caída: Registran comportamientos inusuales que comparan con un patrón. - No envían la alarma de manera inmediata - Tecnologías utilizadas: sensores de ritmo cardíaco, sudoración, posición, etc.
Monitorización del entorno	<ul style="list-style-type: none"> - Detección de cambios en el entorno que pueden ser indicadores de una caída. - Tecnologías utilizadas: grabación de video, análisis de imágenes, sensores de choque, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitorización de la actividad de la persona. - Análisis de comportamientos. - Tecnologías utilizadas: sensores de contacto en puertas y ventanas.

Fuente: (Pérolle G., 2006)

Entre los dispositivos usados para la detección de caídas destaca el acelerómetro, el cual consiste en la comparación entre una masa suspendida dentro de él y la masa fijada al objeto en movimiento. Como explican [González R., Hernández R., Jiménez B., (2016), "la masa fijada se mueve con el objeto en movimiento, mientras que la otra masa se mantiene estática debido a su inercia o resistencia al cambio en su estado de reposo".

En la investigación del sistema de detección de caídas, Blanco y Hoyos (2010) menciona que: "Con el fin de detectar una caída por medio de una aceleración repentina hacia el suelo, se requiere diferenciar el Eje Vertical de los otros dos. La detección del Eje Vertical o Longitudinal se logra gracias a que el acelerómetro utilizado tiene una salida para cada eje. Se puede diferenciar el Eje Vertical si ubicamos el sensor de tal manera que los Ejes Mediolateral y Anteposterior registren $0g$, lo cual daría como resultado que el Eje Longitudinal registre $\pm 1g$."

Se pueden diferenciar las actividades comunes de una caída y para esto se toma como referencia el centro de gravedad del cuerpo humano como se muestra en la Figura 5.

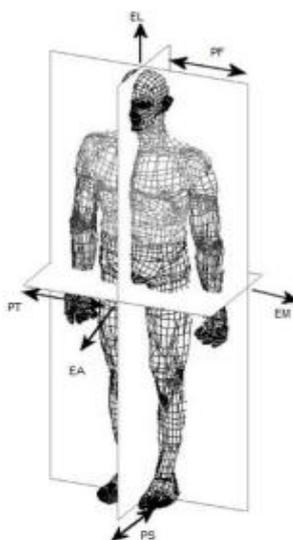


Figura 5 Ejes del cuerpo humano para detección de caídas

Fuente: (Thomas D., Heinz J., 2003)

La implementación del dispositivo se traduce en un aparato portátil correspondiente al de la Figura 6, el cual se utiliza en el cinturón o en la cintura del pantalón y es capaz de reconocer la caída. Su señal es transmitida a una plataforma móvil para su alerta.



Figura 6 Dispositivo portátil para detección automática de caídas

Fuente: (Pérolle G., 2006)

Otro sistema muy común corresponde al del uso de dispositivos infrarrojos para la detección de personas y la detección de caídas. El ejemplo corresponde al uso de la plataforma Kinect correspondiente a la Figura 7 el cual es el encargado de emitir una matriz de vectores infrarrojos capaces de detectar figuras, en este caso el cuerpo humano, o la silueta formada por la longitud de cada vector.



Figura 7 Dispositivo Kinect y sus componentes

A través de la programación de los patrones de dichas siluetas se puede determinar la posición de la persona, sea que este de pie o se encuentre caída como se muestra en la Figura 8.

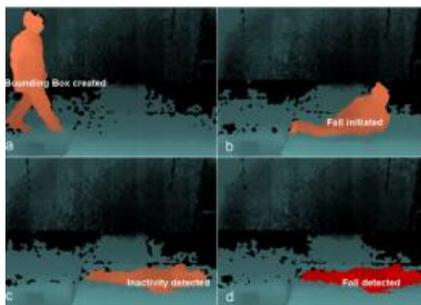


Figura 8 Detección de una caída con Kinect

Fuente: (Blanco R., Hoyos A.,2010)

El algoritmo de detección de caídas propuesto por Chia-Yeh Hsieh, Kai-Chun Liu , Chih-Ning Huang , Woei-Chyn Chu y Chia-Tai Chan. (2017). Muestra que existen varias etapas. La primera consiste en el preprocesamiento de las señales de aceleración angular obtenidas por la norma euclidiana triaxial. La clasificación del tipo de movimiento cesado a través de una delimitación por umbrales. Posteriormente se compara y se descarta los movimientos regulares del de una caída para pasar al post-procesamiento, interpretarla como tal e identificar la caída como se muestra en la Figura 9.

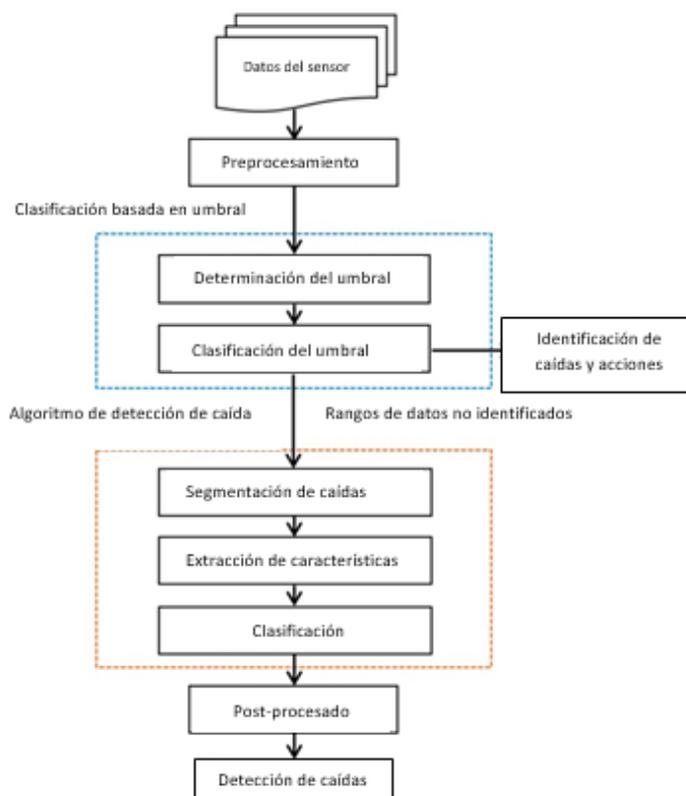


Figura 9 Algoritmo de detección de caídas

Fuente: (Hsieh, Liu, Huang , Woe, Chu.,2017)

2.2 Sistemas de monitoreo de signos vitales a nivel nacional

De acuerdo con los antecedentes expuestos y al avance tecnológico se han desarrollado a nivel nacional investigaciones y proyectos relacionados con la implementación de sistemas de monitoreo de parámetros de la salud. Se ha logrado desarrollar como proyecto de investigación en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE extensión Latacunga-Ecuador un sistema capaz de recoger distintas variables biológicas del cuerpo humano tales como la temperatura, el nivel de oxígeno en la sangre, ritmo cardíaco, la posición del cuerpo. Este prototipo emplea comunicación para enviar los datos a un servidor, el mismo que contiene aplicaciones Web que permiten observar y monitorear los signos vitales del paciente desde cualquier lugar.

Se analiza en esta investigación en la veracidad de las lecturas y la fiabilidad, los promedios muestreados por los sensores, y la cantidad de mensajes enviados por la red. De esta manera, se busca mejorar la calidad de vida de los ancianos y prevenir emergencias cuyas consecuencias pueden ser mortales o peligrosas para su salud e integridad (Chipuxi G., 2017).

Otra investigación desarrollada consiste en un sistema basado en un dispositivo electrónico de adquisición y transmisión de señales de temperatura corporal, presión arterial, ritmo cardíaco y un electrocardiograma, utilizando tecnologías de transmisión inalámbrica. Se utilizó una interfaz en un dispositivo móvil como central del sistema para estar en permanente monitoreo y diagnóstico de emergencias. Fueron analizadas las mediciones realizadas y las alertas obtenidas para comprobar su desempeño, la calidad de conexión y sobre todo la veracidad de las mediciones. De esta manera se busca implementar a futuro sistemas vinculados servicios de salud (Gavilema J., Mullo E., 2014). Los componentes del sistema y su funcionamiento se muestran en la Figura 10.

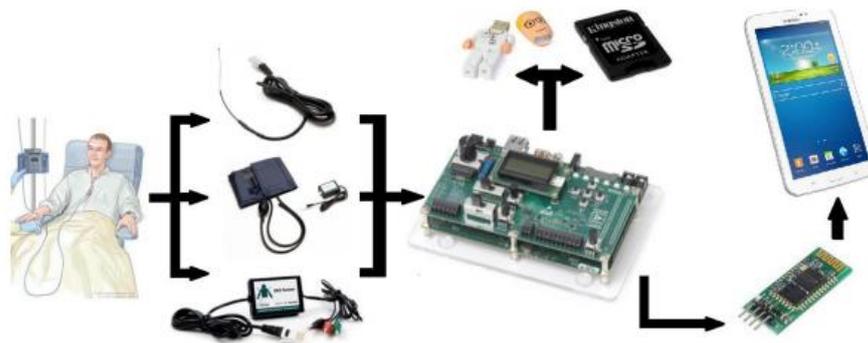


Figura 10 Monitorización de temperatura y ritmo cardíaco

Fuente: (Gavilema J., Mullo E., 2014)

Pulseras inteligentes

Las pulseras inteligentes son dispositivos electrónicos parte de la tendencia de “woreables” o “computadoras corporales” que cuentan con la tecnología más avanzada al servicio del usuario y se los usan como parte de la indumentaria diaria. Son bandas al estilo de pulseras o relojes cuyo objetivo principal es recopilar información del usuario como calorías quemadas, número de pasos, ritmo cardíaco, tiempo de actividad física realizada e incluso brindar la capacidad de leer mensajes de texto, contestar llamadas o usar una cámara fotográfica

Nadal (2016) menciona que “Las marcas líderes se hicieron eco de esta innovación y ya han elaborado distintos modelos que superan exponencialmente a sus antecesoras, destacándose cada día en cuanto a diseños y prestaciones para satisfacer a un público más exigente y un mercado más competitivo”.

2.3 Pulseras inteligentes basadas en software libre

2.3.1 Ángel

En (Indiegogo, 2017), se muestra una pulsera de código abierto diseñada para monitorear y analizar el rendimiento de atletas. Entre los componentes físicos posee sensores como acelerómetro para medir el número de pasos y otras actividades, sensores ópticos y acústicos para medir la frecuencia cardíaca, un oxímetro para medir la cantidad de oxígeno en la sangre y un termómetro. Según el portal el dispositivo posee bajo consumo energético y es capaz de conectarse mediante bluetooth a dispositivos Android y iOS.

El proyecto nació en el año 2013 y fue desarrollado en Israel con componentes de software libre, lo que permite que cualquier desarrollador o interesado que adquiera la pulsera podrá acceder al diseño de la arquitectura y programación. Su precio empieza en USD \$135 y su apariencia es la mostrada en la Figura 11.



Figura 11 Angel Health Sensor

Fuente: (Indiegogo, 2017)

2.3.2 Piktoligo

Picktoligo es una pulsera ideada por la compañía QantiQ, fundada por Yannick Lille y Dimitri Degryse Dassonneville. Posee pictogramas como los que se muestra en la Figura 12 para la utilización de varias funciones tales como el manejo de música, conexión NFC, BLE (Bluetooth low energy), activación de cámara e captar emisiones vocales para realizar búsquedas mediante Siri para iOS o Cortana para Android. Puede conectarse con objetos conectados como calefactores, termostatos para control domótico (Nalaweb, 2016).



Figura 12 Picktologo

Fuente: (Nalaweb, 2016)

2.3.3 JewelBots

En (JewelBots, 2017), se desarrolló un proyecto desarrollado en Estados Unidos y enfocado a niñas con el fin de introducir las en el entorno de programación por computador.

Tras la incursión del género femenino en el entorno de programación, la empresa diseñadora de la pulsera JewelBots abre las puertas para que se introduzcan y familiaricen con el entorno de programación mediante códigos de programación que permiten personalizar la pulsera mediante una aplicación dedicada (JewelBots, 2017).

La pulsera, que se observa en la Figura 13, posee luces led que se configuran de acuerdo a la programación implementada por el usuario. Su costo oscila entre USD \$69 y \$139 en la página oficial del producto.



Figura 13 Pulsera JewelBots

Fuente: (JewelBots, 2017)

2.4 Pulseras inteligentes comerciales

Comercialmente, las principales marcas tecnológicas han desarrollado dispositivos conocidos como "Smartwatch" y "Smart band" adaptables a teléfonos inteligentes y con distintas funciones que han de hacer de nuestras actividades cotidianas más interesantes.

El mercado de "Smartwatch" o relojes inteligentes es muy similar pues todos poseen características similares como la posibilidad de conexión con teléfonos inteligentes, pantallas táctiles, contestador de llamadas, etc. Por otra parte, las "Smart band" o pulseras inteligentes están compuestas por una gama más amplia cuyo principal diferenciador es el precio. Evidentemente no todas ofrecen las mismas prestaciones, como afirma Álvarez (2016) "hay pulseras básicas que no poseen pantalla, pero pueden monitorear el pulso cardíaco y otras más complejas que incluyen GPS, pulsómetro, pantalla e incluso diseños más elaborados que las enmarcan dentro de una categoría premium".

En la Tabla 3 se muestran algunas de las "Smart Band" que han tenido más relevancia por su relación prestaciones precio en lo que va del 2017 (Techradar, 2017). Sus principales características se muestran a continuación:

Tabla 3

Características de pulseras comerciales del 2017

Dispositivo	Características
<p data-bbox="435 1624 655 1653">MOOVE NOW</p>  <p data-bbox="448 1906 691 1935">(Techradar,2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="815 1624 1070 1653">Seguimiento de pasos <li data-bbox="815 1675 1054 1704">Contador de calorías <li data-bbox="815 1727 1174 1756">GPS vinculado con el teléfono <li data-bbox="815 1778 1027 1807">Resistente al agua <li data-bbox="815 1830 1150 1859">Duración de batería 6 meses <li data-bbox="815 1881 1027 1910">No posee pantalla <li data-bbox="815 1933 1043 1962">Precio USD \$59.99

SAMSUNG GEAR FIT 2

(Techradar,2017)

Pantalla de 1,5 plg
 Medidor de frecuencia cardíaca
 Seguidor de actividades
 Contador de calorías
 Resistente al agua
 Duración de batería 3 días
 Compatibilidad iOS y Android
 GPS a través del teléfono
 Precio USD \$129.99

GARMIN VIVOSMART HR+

(Techradar,2017)

Pantalla monocromática
 Medidor de frecuencia cardíaca
 Resistente al agua
 GPS Integrado
 Compatible con iOS y Android
 Duración de batería 6 días
 Precio USD\$132.99

TOMTOM SPARK3

(Techradar,2017)

Reproductor de música
 Parlantes incluidos
 Navegación GPS
 Pantalla monocromática
 Medidor de frecuencia cardíaca
 Resistente al agua
 Compatibilidad iOS y Android
 Precio USD\$100

GARMIN VIVOFIT 3

Pantalla LCD
 Resistente al agua
 Contador de calorías
 Duración de batería 1 año
 Precio USD \$69.01

(Techradar,2017)

QUIJADA UP3



(Techradar,2017)

Monitoreo del sueño

Monitoreo del ritmo cardíaco

Duración de batería 7 días

Precio USD \$64.99

Como se muestra en la Tabla 3, comercialmente existen diversos tipos de pulseras y bandas inteligentes para propósitos deportivos, recreativos y de monitorización del sueño. Se pudo notar también la variación del precio conforme con sus funcionalidades y componentes entre los que se encuentran pantallas a color, táctiles o monocromáticas, GPS, reproductores de música y duración de batería.

2.5 Sistemas robóticos de asistencia médica y vigilancia

2.5.1 Robots de asistencia médica

En octubre del 2014, Alec Momont desarrolló un prototipo de sistema de asistencia tele operado que se basa en la utilización de un dron como vehículo para acudir con insumos médicos como un desfibrilador y medicina en caso de que alguna transeúnte en la calle sufra un ataque cardíaco.

El dron es guiado por GPS mediante una aplicación móvil y posee audio y video en tiempo real para que personal de emergencia pueda comunicarse con el paciente y provea instrucciones para el uso de los medicamentos ya quien se encuentre presente para el uso del desfibrilador como se muestra en la Figura 14 (Xataka, 2014). El proyecto busca ser aplicado en Estados Unidos pues una de las principales causas de muerte es el ataque cardíaco, cobrando un estimado de 600 mil vidas cada año.



Figura 14 Dron Ambulancia

Fuente: (Xataka, 2014)

También en los últimos meses se ha aprobado en EE. UU el uso de robots en hospitales que permiten que un médico pase consulta a distancia. Es el caso del PR-Vita que se observa en la Figura 15, creado por InTouch Health y iRobot, un robot cuya “cara” es una pantalla en la que aparecerá el médico para atender al paciente esté donde esté. Según Marcio Macedo, jefe de producto de unidades de control remoto de iRobot: “Esta máquina no está diseñada para sustituir a los médicos, enfermeras y otro personal médico sino para ayudarles a ser más eficaces” (QUO, 2016).



Figura 15 Robot PR-Vita

Fuente: (González J., 2012)

En EE. UU., a través de la práctica del denominado Obamacare (el nuevo plan de atención sanitaria), se plantea que con estas nuevas herramientas puedan ejercer otro tipo de profesionales sanitarios que atiendan a los pacientes sin ser médicos. Las personas podrían ser asesoradas a través de máquinas y adquirir destrezas producto de su utilización. Un estudio de la Universidad de Texas demostró que estudiantes habituados al uso de consolas y de máquinas como las analizadas poseen más destrezas en la utilización de herramientas robóticas para cirugías en comparación a cirujanos profesionales.

2.5.2 Robots de vigilancia

Los robots de vigilancia generalmente son plataformas móviles equipadas con cámaras inalámbricas capaces de orientar su posición para la captación de imagen y son manejados remotamente.

Los componentes de los robots de vigilancia generalmente son una plataforma móvil encargada del movimiento, una cámara inalámbrica para transmitir video en vivo, un teach pendant o mando inalámbrico, una interfaz de control y un router para manejar la conexión inalámbrica. El esquema de conexión de los elementos mencionados es mostrado en la Figura 16.



Figura 16 Esquema de conexión de sistema robótico

Fuente: (Chaglla F., Revelo H., 2013)

Un claro ejemplo es el prototipo de robot "ROBO-SCRAPY II" desarrollado por Nelson Bastidas y Oswaldo Sánchez (2011) en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, el cual se pone en marcha y mediante sensores reconoce obstáculos en escenarios para el cual ha sido definida su programación. Este robot móvil sirve para la experimentación e investigación en ambientes reales, ya que posee características similares a los robots de aplicación industrial o comercial. Tiene tres modos de operación como:

- a. Robot autónomo sumo
- b. Robot autónomo explorador
- c. Controlado por Radiofrecuencia

Se encuentra equipado con una cámara web la cual permite captar imágenes en tiempo real y transmitir las a una interfaz de usuario. El esquema de funcionamiento se muestra en la Figura 17.



Figura 17 Interfaz de ROBO-SCRAPY II

Fuente: (Bastidas N., Sánchez O., 2011)

Otro ejemplo es el trabajo un autómata móvil de vigilancia remota y monitoreo en tiempo real bajo la Plataforma Robótica de Enseñanza, Investigación y Desarrollo de Prototipos sobre el robot móvil Labview Robotics sbRIO Starter Kit 2.0, el cual está basado en una tarjeta sbRIO-9632 con arquitectura abierta y tecnología FPGA. Está programado en base a diferentes rutinas como son acciones frente a obstáculos, detección de personas, comunicación y modos de trabajo automático y manual. (Chaglla F., Revelo H., 2013)

A nivel mundial, se han desarrollado sistemas de videovigilancia basada en robot y en el internet de las cosas. Hemang Pandhi (2017) en su trabajo Robot de vigilancia de video inalámbrico basado en Iot desarrolla un robot capaz de ser manipulado a través de una interfaz de usuario. Posee un algoritmo de control y arquitectura que permite la transmisión en vivo utilizando internet de alta velocidad. El robot está equipado con una cámara como se muestra en la Figura 18, donde se muestra también el diagrama de conexión y funcionamiento.

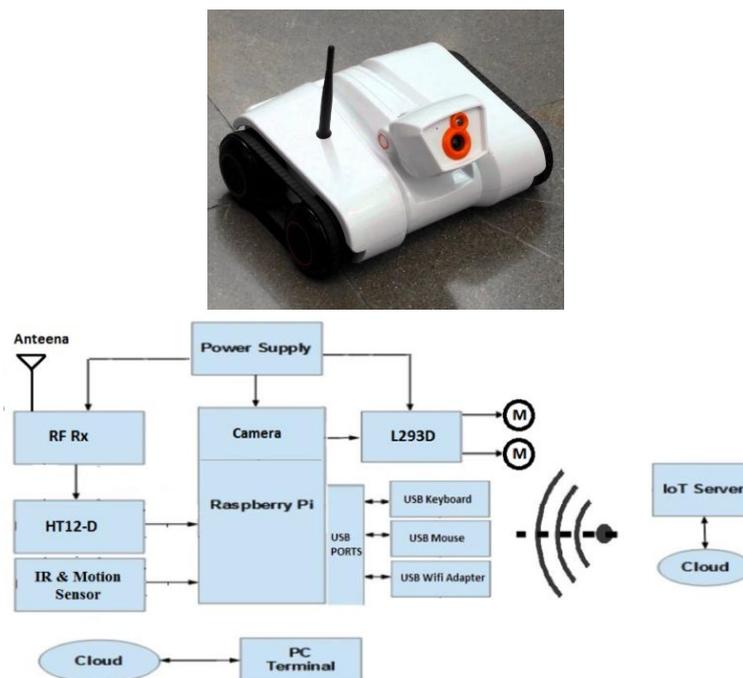


Figura 18 Robot de Video vigilancia

Fuente: (Hemang Pandhi, 2017)

2.6 Resumen

La medición de parámetros de la salud es una práctica médica muy común pues es una manera de monitorear la actividad corporal, su desarrollo y correcto desempeño. Entre las variables que son consideradas se encuentran la medición de la temperatura pues en rangos superiores o inferiores al valor normal pueden ser causantes de enfermedades y desencadenadores de escenarios crónicos, al igual que la actividad cardíaca. Con el pasar de los años, la instrumentación médica ha ido desarrollando técnicas menos invasivas y utilizando materiales que no contengan elementos tóxicos como es el caso del mercurio con el fin de reducir el impacto sobre el paciente.

La investigación sobre detección de caídas, los tipos de sensores y dispositivos son una tecnología desarrollada para monitorear el estado de pacientes en estado vulnerable como los adultos mayores. Actualmente se han desarrollado dispositivos que detectan caídas comparando el estado del entorno. Mediante la utilización de cámaras infrarrojas y un algoritmo de su actividad se puede determinar la posición del cuerpo humano frente a ella. Otra forma es la de colocar dispositivos capaces de

detectar la posición del cuerpo a través de sensores acelerómetros o giroscopios que detectan el cambio de la inclinación del paciente pues son colocados en centros del cuerpo humano tales como la cintura o el pecho.

Las pulseras inteligentes son dispositivos tecnológicos denominados "woreables" los cuales son portados en nuestro cuerpo como una prenda de vestir. Su uso ha sido creciente en los últimos años por las funcionalidades de monitoreo de actividades como condición física, calorías quemadas, actividad del sueño entre otras. Existen dispositivos comerciales cuyo software y hardware son de tipo propietario por lo que no se pueden explotar las características de sus componentes. Hay otros basados en software libre que son utilizados con fines investigativos, de desarrollo de nuevas tecnologías y cuyo costo es menor en comparación a los de reconocidas marcas en el mercado.

Los robots han tenido aplicación en el campo de la medicina al ser soluciones tanto de asistencia médica como de vigilancia. Entre los casos más notables se encuentran robots tipo drones de asistencia con equipo médico de primeros auxilios usado para llegar con gran rapidez al sitio de emergencia, el cual ha sido considerado como una solución de salud pública para Estados Unidos.

El desarrollo de robots de vigilancia a través de investigaciones como es el caso de proyectos de titulación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ha permitido explorar la composición, utilidad y funcionalidades que presentan. Plataformas robóticas tele operadas equipadas con cámaras de video y tecnología capaz de transmitir datos en tiempo real permiten ingresar en ambientes de difícil acceso, realizar tareas de inspección y poder obtener datos sin la necesidad de interactuar o afectar al medio donde se desenvuelven.

CAPÍTULO 3

Metodología y Diseño Mecatrónico de Subsistemas

En el presente capítulo se documenta todas las fases de diseño del sistema robótico para monitoreo de signos vitales de adultos mayores basado en Openhab. Se parte por la identificación de las necesidades, selección de sensores y actuadores. Posteriormente se realiza una fase de desarrollo y selección de conceptos a través de los cuales obtenemos la arquitectura mecánica y electrónica del sistema. Se realizan prototipos con la ayuda de diseño asistido por computador CAD, se implementa el sistema y se desarrollan las pruebas para verificar su funcionamiento e inmediatamente hacer un análisis de los resultados.

3.1 Metodología de Diseño

La metodología de diseño a utilizar en el desarrollo del proyecto corresponde a definido para el diseño y desarrollo de productos propuesto por (Ulrich K., Eppinger S., 2013), el mismo que establece un procedimiento genérico para partir desde las necesidades hasta la obtención del producto final. El sistema robótico propuesto se ha desarrollado siguiendo los lineamientos del diagrama de bloques mostrado en la Figura 19 y el desarrollo de concepto.

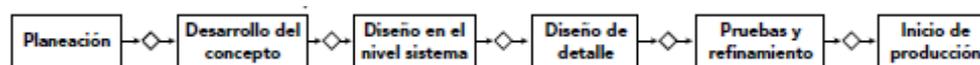


Figura 19 Proceso genérico de desarrollo de productos

Fuente: (Ulrich K., Eppinger S., 2013)

Las fases que componen al desarrollo de conceptos se muestran en la Figura 20, donde se parte de la identificación de necesidades que permiten establecer las especificaciones objetivo. De esta manera se pueden generar conceptos más fácilmente y posteriormente filtrarlos y seleccionarlos a través de matrices de conveniencia antes de ponerlos a prueba y planificar su desarrollo.

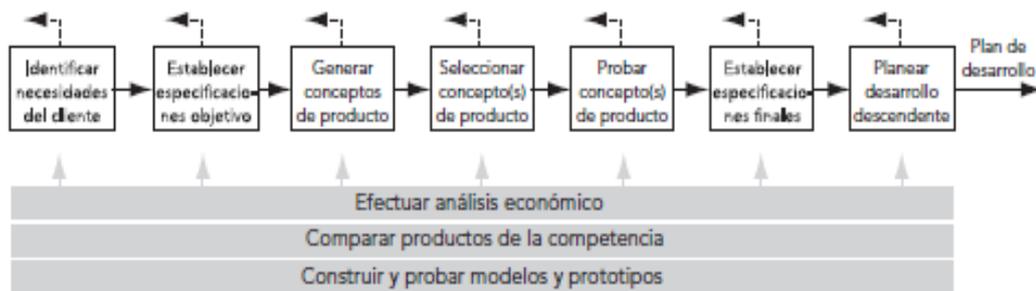


Figura 20 Proceso de desarrollo de conceptos

Fuente: (Ulrich K., Eppinger S., 2013)

3.1.1 Identificación de necesidades

El sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada es desarrollado en base a las necesidades de un sector vulnerable de la sociedad como es el de adultos mayores. También se basa en los requerimientos propuestos por catedráticos de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE (Sangolquí, Ecuador) y la Universidad de Valladolid-UVa (Valladolid, España) así como de adultos mayores que colaboran con el proyecto.

3.1.1.1 Matriz de calidad

Las necesidades del proyecto son las características y requerimientos planteados por los usuarios para solucionar el problema. Posteriormente a la interpretación de las necesidades, se pueden establecer especificaciones técnicas y funcionales que permitan solucionarlas y realizar un diseño adecuado. Para el proyecto serán analizadas las necesidades por sistemas y subsistemas pues el proyecto es un suprasistema formado por la integración de varios dispositivos que funcionan sinérgicamente gracias a la mecatrónica. En la Tabla 4 se exponen las necesidades de los clientes clasificados por sistemas y subsistemas.

Tabla 4

Identificación de necesidades de los clientes

No.	Sistemas	Requerimientos
1	Sistema 1. Brazaletes Inteligente	Medir signos vitales
2		Detectar caídas del paciente
3		No invasivo
4		Funcionamiento en tiempo real
5		Cómodo de usar
6		Tener baterías recargables
7	Sistema 2. Robot de videovigilancia	Imágenes de buena calidad
8		Transmisión en vivo
9		Pequeño
10		Resistente a impactos
11		Control a distancia
12	Sistema 3. Interfaz de usuario	Fácil de utilizar
13		Manejar los dispositivos
14	Sistema Robótico	Precio económico

Las necesidades del cliente y sus requerimientos son solucionadas a través de las especificaciones técnicas para cada una. En la Tabla 5 se exponen las especificaciones técnicas que han sido vinculadas a las necesidades antes mencionadas.

Tabla 5

Especificaciones técnicas del proyecto

No.	Sistemas	Requerimientos
1	Sistema 1. Brazaletes Inteligente	Sensores de temperatura, ritmo cardíaco y giroscopio
2		Algoritmo de detección de caídas
3		Instrumentación compacta y no invasiva
4		Transmisión inalámbrica de datos vía RF
5		Ergonómico
6		Baterías recargables de alta duración
7	Sistema 2. Robot de videovigilancia	Cámara HD de 720p
8		Comunicación en tiempo real
9		Compacto
10		Robusto
11		Control remoto
12	Sistema 3. Interfaz de usuario	Software HMI intuitivo
13		Interoperabilidad
14	Sistema Robótico	Utilización de hardware y software libre

Las necesidades mostradas en la Tabla 5 son organizadas en orden jerárquica según las ponderaciones obtenidas mediante la aplicación de la matriz QFD [Díaz,

2012] mostrada en la Tabla 6 conocida como "Función de Desarrollo de la Calidad". A partir de los resultados obtenidos se pueden priorizar los requerimientos del proyecto.

Tabla 6

Matriz QFD del sistema robótico

Características de calidad (HOW)		Necesidades de calidad (WHAT)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	5)
1	Medir signos vitales	9	1	9	3	3	1	1	3	1	3	1	9	3	9	5
2	Detectar Caídas	9	9	9	3	3	1	1	3	1	3	1	9	3	9	5
3	No invasivo	9	3	9	3	3	3	1	3	9	9	3	1	3	9	5
4	Funcionamiento en tiempo real	3	3	3	9	1	1	3	9	1	3	9	9	9	9	4
5	Cómodo de usar	3	1	9	1	9	1	1	3	9	3	1	1	1	1	4
6	Recargable	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1	1	1	3
7	Imágenes de buena calidad	1	1	1	1	1	1	9	9	1	1	1	9	1	1	4
8	Imágenes en vivo	1	1	1	1	1	1	9	9	1	1	1	9	1	9	4
9	Robot pequeño	1	1	9	1	9	1	1	1	9	9	1	1	1	1	3
10	Robot resistente a impactos	1	1	1	1	1	1	1	1	9	9	1	1	1	1	3
11	Control a distancia	1	1	1	9	1	1	1	9	1	1	9	9	9	1	5
12	Facilidad de uso	1	1	1	3	1	1	1	9	1	1	3	9	9	9	3
13	Manejo de dispositivos	1	1	1	9	1	1	9	9	1	1	9	9	9	9	4
14	Precio económico	3	1	3	1	3	1	3	1	3	3	3	1	1	9	3
DIFICULTAD (1 - 5)		4	5	4	3	4	1	2	4	3	3	2	2	4	5	
EVALUACIÓN	ABSOLUTA	788	565	980	585	588	89	330	1140	543	555	362	654	852	1595	
	RELATIVA (%)	8	6	10	8	8	1	5	19	9	14	9	16	35	65	
PRIORIDAD		5	9	3	8	7	14	13	2	11	10	12	6	4	1	

Los resultados de las características técnicas y su importancia obtenidos a través de la matriz QFD, son agrupados por sus características en subsistemas que delimitan una funcionalidad. Los sistemas y el conjunto de subsistemas conformarán finalmente el sistema robótico de interpretación y monitoreo de personas de edad avanzada.

Los resultados de las especificaciones técnicas en función de las necesidades del cliente son ordenados en orden de importancia. En la Tabla 7 se detallan las

especificaciones empezando desde la que posee mayor relevancia para el proyecto.

Tabla 7

Resultados de especificaciones técnicas de la matriz QFD

Hito	Especificaciones técnicas	Puntuación
1	Hardware y software libre	1595
2	Comunicación en tiempo real	1140
3	Instrumentación compacta no invasiva	980
4	Interoperabilidad	852
5	Sensores de medición de signos vitales y caídas	788
6	Software intuitivo	654
7	Ergonomía del brazalete	588
8	Transmisión inalámbrica de datos	585
9	Algoritmo de reconocimiento de caídas	565
10	Diseño robusto	555
11	Diseño compacto	543
12	Control remoto del robot	362
13	Cámara HD de 720p	330
14	Sistema de baterías recargables	89

El adecuado desarrollo del proyecto, así como su funcionamiento integral se verá respaldado por la definición de sistemas y subsistemas. Los sistemas permiten ser analizados primero individualmente en aspectos de diseño, desarrollo e implementación de subsistemas para su posterior integración en un solo suprasistema común que funciona sinérgicamente con sus componentes. En la Tabla 8 son definidos los sistemas y subsistemas con las funciones a desempeñar y los hitos a cumplir.

Tabla 8

Definición de sistemas y subsistemas del proyecto

No.	Sistemas	Subsistemas	Función	Hitos
1	Brazalete Inteligente	Parámetros de la salud	Monitoreo de Temperatura, Ritmo cardíaco y botón de pánico	1,2,3,4,5,7, 8,9,10,11, 12,14
		Detección de caídas	Detección de caídas	
		Comunicación	Transmisión de alarmas en	

2	Robot de Videovigilancia	Batería	tiempo real	
		Video	Suministro de energía	
		vigilancia	Transmisión de video en tiempo real	1,2,4,10,11,12,13,14
		Control remoto	Manejo inalámbrico del robot	
3	Interfaz de Usuario	Batería	Suministro de energía	
		Comunicación	Integración de dispositivos	1,2,3,4,6,8,12
		Pacientes	Recepción de Información	
		Robot	Emisión de mensajes de alarma Control remoto del robot Videovigilancia en tiempo real	

La integración en un suprasistema se basa en tres pilares. Un sistema denominado Brazalete Inteligente, cuyos subsistemas corresponden al monitoreo de parámetros de la salud, detección de caídas, transmisión inalámbrica y el almacenamiento de energía. El segundo sistema llamado Robot de video vigilancia posee varios subsistemas que cumplen la video vigilancia como tal en la transmisión de imágenes en tiempo real, el control remoto para su funcionamiento inalámbrico y el almacenamiento de energía por su batería. El tercero es la Interfaz de Usuario encargada de la integración mediante la comunicación inalámbrica, el monitoreo de pacientes a través de alertas y el control robot mediante HMI.

3.2 Diseño de Sistemas y Subsistemas

3.2.1 Sistema 1: Brazalete Inteligente

El sistema llamado "Brazalete Inteligente" hace referencia al dispositivo encargado de monitorear e interpretar los parámetros de la salud. A través de sus subsistemas es capaz de determinar la temperatura corporal, el ritmo cardíaco, una alerta de emergencia y la detección de caída de un paciente. Los datos obtenidos, organizados en rangos o niveles de acuerdo con cada una de las variables emiten alertas y las envía inalámbricamente para que el sistema "Interfaz de usuario" las reciba e interprete.

En el presente sistema se analizan las alternativas de diseño referidas a la selección de la instrumentación, material de construcción, tipo de comunicación,

algoritmos de control. La selección de los componentes es realizada siguiendo las especificaciones determinadas mediante la matriz QFD y los hitos a cumplirse.

3.2.1.1 Alternativas de diseño y evaluación

Monitoreo de signos vitales y emergencia

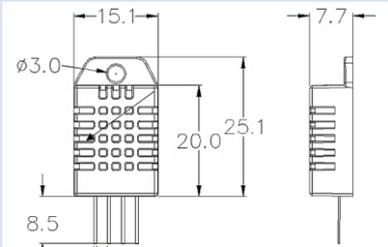
Los parámetros de la salud que van a ser monitoreados son la temperatura corporal y el ritmo cardíaco. Adicionalmente se busca implementar un botón de emergencia capaz de enviar alertas inmediatas de ser necesario.

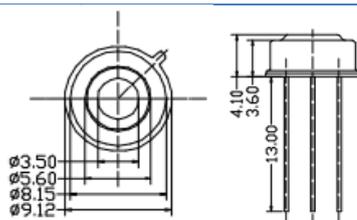
Las consideraciones de selección obtenidas mediante los hitos, resultado de la aplicación de la matriz QFD revelaron que las características deseables a cumplir son el de utilización de hardware y software libre (open source) y la utilización de instrumentación compacta y no invasiva.

Las alternativas consideradas dentro de la selección de la instrumentación para medir la variable de temperatura corporal basados en distintos principios físicos no invasivos son los mostrados en la Tabla 9 a continuación.

Tabla 9

Alternativas de sensores de temperatura

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	DHT22  (Sparkfun,2016)	<ul style="list-style-type: none"> -Sensor de temperatura y humedad -Señal digital calibrada -Elemento sensor: polímero capacitor -Rango de temperatura: -40°C a 80°C -Precisión: $< \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ -Tiempo de muestreo: 5s -Alimentación: 3.3-6V 1.5mA -Precio USD: \$9,99
B	MLX90614	-Sensor de temperatura de



(Melexis,2016)

superficies infrarrojo.

-Elemento sensor: Luz infrarroja

-Rango: -40°C a 125°C -Resolución: 0.02°C -Precisión (tipo médica): $<-0.3^{\circ}\text{C}$

-Alimentación: 3-5V 1.5mA

-Precio USD: \$11.99

-Termómetro digital.

-Interfaz de comunicación 1-Wire

-Elemento sensor: De contacto

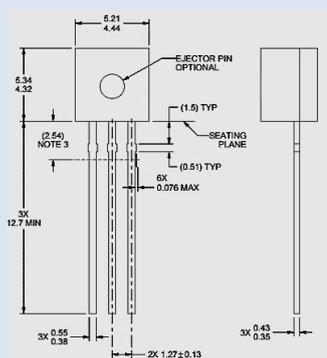
-Rango de temperatura: -55°C a 125°C -Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

-Alimentación: 3-5.5V 1.5mA

-Precio USD: \$5,95

C

DS18S20



(MAXIMINTEGRATED,2016)

Las soluciones propuestas para la instrumentación encargada de monitorear la temperatura corporal son evaluadas a través de los criterios de las Tablas 10, 11, 12, 13. Según los resultados obtenidos es seleccionada una mediante la Tabla 14.

Tabla 10

Ponderación de criterios de evaluación del sensor de temperatura

Criterio	Tamaño	Resolución	Principio Físico	$\sum+1$	Ponderación
Tamaño	-	0	2.5	3.5	0.19
Resolución	5	-	2.5	8.5	0.47
Principio Físico	2.5	2.5	-	6	0.33
Total				18	1

Tabla 11

Ponderación del tamaño del sensor de temperatura

Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0.06
Solución B	5	-	5	11	0.61
Solución C	5	0	-	6	0.33

Total	18	1
-------	----	---

Tabla 12

Ponderación de la resolución del sensor de temperatura

Resolución	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0	5	6	0.33
Solución B	5	-	5	11	0.61
Solución C	0	0	-	1	0.06
Total				18	1

Tabla 13

Ponderación del principio del sensor de temperatura

Principio Físico	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0.06
Solución B	5	-	5	11	0.61
Solución C	5	0	-	6	0.33
Total				18	1

Tabla 14

Conclusión de la selección del sensor de temperatura

Criterio	Tamaño	Resolución	Principio Físico	\sum	Prioridad
Solución A	0.01	0.16	0.02	0.19	19%
Solución B	0.12	0.29	0.20	0.61	61%
Solución C	0.06	0.03	0.11	0.20	20%
Total				1.00	100%

Mediante los resultados obtenidos del análisis de criterios de selección del sensor de la Tabla 14, se concluye que el sensor idóneo para el proyecto con 61% de prioridad de utilización es la solución B correspondiente al sensor infrarrojo MLX90614 mostrado en la Figura 21.

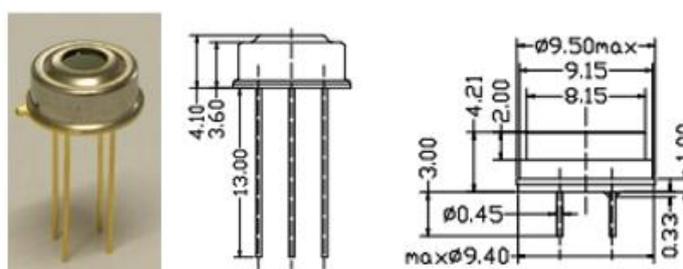


Figura 21 Sensor MLX906141

Fuente: (Melexis, 2016)

Otras características permiten su uso con total confianza debido a las características entre las cuales el fabricante Melexis (2016) menciona a continuación:

- Alta precisión y resolución gracias a su amplificador de bajo ruido
- Calibración digital y acondicionamiento integrado
- Voltaje de alimentación 5V
- Corriente en operación 1.5 mA
- Tiempo de respuesta de 1.024ms
- Histéresis sobre los 100°C
- Bajo costo

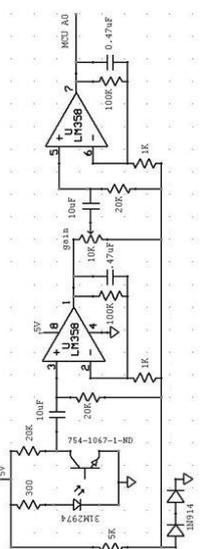
Sensor de ritmo cardíaco

En la Tabla 15 se detallan las características de las opciones de la instrumentación destinada al monitoreo de ritmo cardíaco disponibles y compatibles con software libre.

Tabla 15

Alternativas de sensor de ritmo cardíaco

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	<p>Pulse Sensor</p>  <p>(PulseSensor,2017)</p>	<p>-Principio de funcionamiento: Fotopletismógrafo</p> <p>-Circuito de cancelación de ruido integrado.</p> <p>-Circuito amplificador de señal integrado.</p> <p>-Alimentación: 3-5V 4mA</p> <p>-Dimensiones: D14mm x 2mm</p>

		-Precio USD: \$11,99
B	Construcción de sensor de pulso infrarrojo	-Principio de funcionamiento: luz infrarroja reflejada por la sangre que circula por el interior -Componentes: Utiliza dos amplificadores operacionales consecutivos para establecer un punto de referencia estable para la señal, destacando los picos y filtrando el ruido. -Dimensiones: Desconocido -Alimentación: 5V. -Precio USD: \$10 aproximadamente
		
	(Guzmán M. ,2014)	

Los criterios de evaluación de selección del sensor de ritmo cardíaco son analizados en las Tablas 16, 17, 18, 19 y finalmente se concluye su selección en la Tabla 20.

Tabla 16

Ponderación de los criterios de evaluación del sensor de ritmo cardíaco

Criterio	Tamaño	Contra ruido	Principio Físico	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	-	0	2.5	3.5	0.19
Contra ruido	5	-	2.5	8.5	0.47
Principio Físico	2.5	2.5	-	6	0.33
Total				18	1

Tabla 17

Ponderación del tamaño del sensor de ritmo cardíaco

Tamaño	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	5	6	0.86
Solución B	0	-	1	0.14

Total	7	1
-------	---	---

Tabla 18

Ponderación de ruido del sensor de ritmo cardíaco

Contra ruido	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	5	6	0.86
Solución B	0	-	1	0.14
Total			7	1

Tabla 19

Ponderación sensor de ritmo cardíaco

Principio Físico	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	2.5	3.5	0.50
Solución B	2.5	-	3.5	0.50
Total			7	1

Tabla 20

Conclusión de la selección sensor de ritmo cardíaco

Criterio	Tamaño	Contra ruido	Principio Físico	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución A	0.17	0.40	0.17	0.74	74%
Solución B	0.03	0.07	0.17	0.26	26%
Total				1.00	100%

En la Tabla 20 se concluye sobre la selección de sensores para medición de ritmo cardíaco. La solución A correspondiente a "Pulse sensor" es la más adecuada con una aceptación del 74% para el proyecto.

Botón de Emergencia

El botón de emergencia es analizado de acuerdo a las alternativas cuyo principio de funcionamiento se ajuste al subsistema. Las opciones y sus características se encuentran en detallados en la Tabla 21.

Tabla 21

Alternativas de botón de emergencia

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	TTP223  (TonTek, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> -Detector Touch Pad capacitivo -Activación por contacto humano -Reemplaza a los switch tradicionales. -Tiempo de respuesta: 2ms -Auto calibración -Alimentación: 3-5.5V 3uA -Dimensiones: 24 x 24 x 1.5 mm -Precio USD: \$5,39
B	Pulsador mecánico  (Bigtrónica, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> -Switch mecánico -Activación mecánica por fuerza -Dimensiones: D18 x 39mm -Precio USD: \$1.00
C	Pulsador mecánico  (Bigtrónica, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> -Switch mecánico -Activación mecánica por fuerza -Dimensiones: 6x6x5 mm -Precio USD: \$0.30

En las Tablas 22, 23, 24, 25 se muestra la ponderación de los criterios de evaluación para las alternativas propuestas de botón de emergencia. Posteriormente se concluye la selección en la Tabla 26.

Tabla 22

Ponderación del botón de emergencia

Criterio	Tamaño	Costo	Principio Físico	$\sum+1$	Ponderación
Tamaño	-	5	2.5	8.5	0.47
Costo	0	-	0	1	0.06
Principio Físico	2.5	5	-	8.5	0.47
Total				18	1

Tabla 23

Ponderación del tamaño del botón de emergencia

Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	5	2.5	8.5	0.47
Solución B	0	-	0	1	0.06
Solución C	2.5	5	-	8.5	0.47
Total				18	1

Tabla 24

Ponderación del costo del botón de emergencia

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0.06
Solución B	5	-	0	6	0.33
Solución C	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 25

Ponderación del principio físico del botón de emergencia

Principio Físico	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	5	5	11	0.61
Solución B	0	-	2.5	3.5	0.19
Solución C	0	2.5	-	3.5	0.19
Total				18	1

Tabla 26

Conclusión de la selección del botón de emergencia

Criterio	Tamaño	Costo	Principio Físico	\sum	Prioridad
Solución A	0.22	0.00	0.29	0.51	51%
Solución B	0.03	0.02	0.09	0.14	14%
Solución C	0.22	0.03	0.09	0.35	35%
Total				1.00	100%

En la Tabla 26 se concluye que el dispositivo óptimo con prioridad del 51% para el proyecto es el panel táctil TTP223 como botón de emergencia.

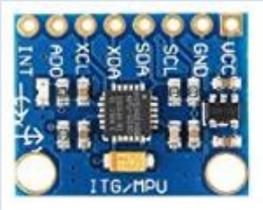
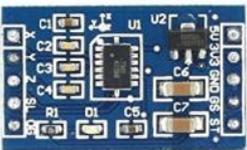
Detección de caídas

El componente encargado de la detección de caídas debe consistir en un sensor capaz de medir la velocidad angular y aceleración de un cuerpo para determinar el cambio brusco de posición. Al tomar como referencias los hitos a cumplirse en la selección, debe ser un componente compacto y no invasivo, basado en hardware y software libre para su vinculación al sistema, bajo costo y medición en tiempo real.

Las alternativas disponibles comercialmente son analizadas en la Tabla 27. Se exponen sus características principales, denominación técnica y de ser el caso las dimensiones físicas del mismo.

Tabla 27

Alternativas de sensores para detección de caídas

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	<p>GY-521</p>  <p>Dimensiones(mm): 14.35x13.15x1.45 (Haoyu Electronics,2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Giroscopio Acelerómetro de 6 GDL -Rangos de acelerómetro: +-2, +-4, +-8, +-16g -Rangos de giroscopio: Hasta 2000°s -Señal digital -Filtros digitales incorporados -Alimentación: 3.3-5V 3.6mA -Precio USD: \$6,93
B	<p>MMA7361LC</p>  <p>Dimensiones (mm):</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Acelerómetro de 3 grados de libertad -Rango: +-1.5, +-6g -Acondicionamiento de señal. -Alimentación: 2.2-3.6V 3mA -Arquitectura y código abierto

	29x17x1.45 (NXP,2011)	-Requiere 9 pines para su uso -Precio USD: \$6,99
C	ADXL335  Dimensiones(mm): 4x4x1.45 (Analog Devices, 2010)	-Acelerómetro de 3 grados de libertad -Rango: +-3g -Acondicionamiento de señal incorporado. -Alimentación: 1.8-3.6V 3.5mA -Requiere 6 pines para su uso -Precio USD: \$6,99

Las alternativas son evaluadas conforme a los requerimientos de tamaño reducido y sus prestaciones. El análisis de cada criterio a evaluar y su ponderación se desarrolla en las Tablas 28, 29, 30, 31.

Tabla 28

Ponderación del sensor para detección de caídas

Criterio	Tamaño	No. Pines	GDL	$\sum+1$	Ponderación
Tamaño	-	2.5	0	3.5	0.19
No. Pines	2.5	-	0	3.5	0.19
GDL	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 29

Ponderación del tamaño del sensor para detección de caídas

Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	5	0	6	0.33
Solución B	0	-	0	1	0.06
Solución C	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 30

Ponderación del número de pines del sensor para detección de caídas

No. Pines	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	5	2.5	8.5	0.47
Solución B	0	-	0	1	0.06
Solución C	2.5	5	-	8.5	0.47
Total				18	1

Tabla 31

Ponderación de los grados de libertad del sensor

GDL	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	5	5	11	0.61
Solución B	0	-	2.5	3.5	0.19
Solución C	0	2.5	-	3.5	0.19
			Total	18	1

Tabla 32

Conclusión de la selección del sensor para detección de caídas

Criterio	Tamaño	No. Pines	GDL	Σ	Prioridad
Solución A	0.06	0.09	0.37	0.53	53%
Solución B	0.01	0.01	0.12	0.14	14%
Solución C	0.12	0.09	0.12	0.33	33%
			Total	1.00	100%

La ponderación de las alternativas propuestas acorde con los criterios de selección es mostrada en la Tabla 32 La solución A correspondiente al giroscopio GY-521 obtuvo prioridad del 53% para utilización en el proyecto.

Microcontrolador

El microcontrolador es el componente encargado de captar e interpretar mediante algoritmos de programación la información recabada por los sensores para posteriormente enviarla inalámbricamente. Las alternativas son desarrolladas en la Tabla 33.

Tabla 33

Alternativas de microcontroladores

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	ATMega 88 A	-Entradas/Salidas: 23 -Memoria Flash:8Kb

	 <p>Dimensiones(mm):15.24x4.4x1.3 (Atmel,2015)</p>	<p>-Frecuencia:16MHz -RAM:1Kb -Costo USD: \$6.00</p>
B	<p>ATMega 168 A</p>  <p>Dimensiones(mm):15.24x4.4x1.3 (Atmel,2015)</p>	<p>-Entradas/Salidas: 23 -Memoria Flash:16Kb -Frecuencia:16MHz -RAM:1Kb -Costo USD: \$9.00</p>
C	<p>ATMega 328P</p>  <p>Dimensiones(mm):4.4x4.4x1.3 (Atmel,2015)</p>	<p>-Entradas/Salidas: 23 -Memoria Flash:32Kb -Frecuencia:20MHz -RAM:2Kb -Costo USD: \$11.00</p>

Las características de las alternativas propuestas son analizadas en las Tablas 34, 35, 36, 37. La selección de la alternativa más adecuada se realiza en torno a los resultados de la prioridad de utilización expuesta en la Tabla 38.

Tabla 34

Ponderación de los criterios de evaluación del microcontrolador

Criterio	Tamaño	Memoria	RAM	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	-	2.5	2.5	6	0.46
Memoria	2.5	-	0	3.5	0.27
RAM	2.5	0	-	3.5	0.27
			Total	13	1

Tabla 35

Ponderación del tamaño del microcontrolador

Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	2.5	0	3.5	0.19
Solución B	2.5	-	0	3.5	0.19
Solución C	5	5	-	11	0.61
			Total	18	1

Tabla 36

Ponderación de la capacidad de memoria del microcontrolador

Memoria	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0.06
Solución B	5	-	0	6	0.33
Solución C	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 37

Ponderación de la memoria RAM del microcontrolador

RAM	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	2.5	0	3.5	0.19
Solución B	2.5	-	0	3.5	0.19
Solución C	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 38

Conclusión de la selección del microcontrolador

Criterio	Tamaño	Memoria	RAM	Σ	Prioridad
Solución A	0.09	0.01	0.05	0.16	16%
Solución B	0.09	0.09	0.05	0.23	23%
Solución C	0.28	0.16	0.16	0.61	61%
Total				1.00	100%

Al analizar los resultados obtenidos, la solución C se ajusta de mejor manera a los requerimientos del proyecto. El microcontrolador ATMega328P obtuvo 61% en la prioridad de utilización, superior a las demás alternativas detalladas en la Tabla 38.

Transmisor inalámbrico

La información adquirida por los sensores, una vez interpretada debe ser transmitida a la central de monitoreo. El software Openhab permite recibir datos de diferentes tipos, de hardware especializado. La opción para software libre consiste en

un receptor de ondas de ciertas frecuencias cuya codificación o lenguaje corresponde a los protocolos HomeEasy, Cresta, X10, La Crosse, OWL, CoCo (KlikAanKlikUit), PT2262, Oregon.

El único componente electrónico basado en software libre compatible con el sistema robótico basado en Openhab es el FS1000A, el cual permite realizar la tarea antes expuesta mediante radiofrecuencia de 433,3 MHz. Es un pequeño dispositivo mostrado en la Figura 22, el cual es alimentado por 5V el cual transforma en ondas electromagnéticas un mensaje codificado y es capaz de transmitirlo a una distancia de hasta 15m dependiendo de la alimentación eléctrica.

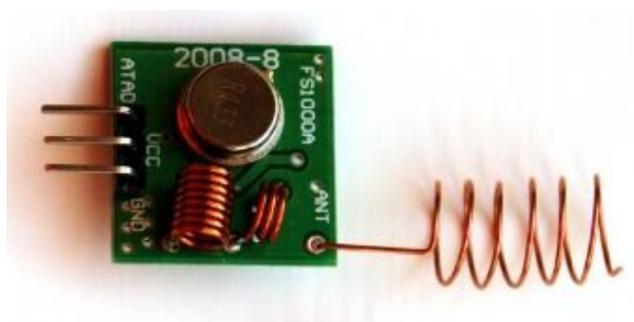


Figura 22 Transmisor RF F1000a

Fuente: (Haoyu Electronics, 2017)

Las características del componente RF F1000a según Haoyu (2017) son detalladas a continuación:

- Distancia de transmisión: Entre 20 y 200m dependiendo del medio y voltaje
- Alimentación: 3.5-12 V
- Modo de operación: AM
- Frecuencia: 433MHz
- Potencia requerida: 10mW

Material estructural

El material que conformará la estructura del sistema y que a través de su manufactura será el encargado de contener y proteger al circuito interno e instrumentación es analizado en la Tabla 39. Se detallan las características de las alternativas existentes.

Tabla 39

Alternativas de material estructural

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	<p>Aluminio</p>  <p>(IDN METALS, 2017)</p>	<p>-Inmune a corrosión: No</p> <p>-Aspecto físico: Excelente</p> <p>-Color: Personalizable con pintura</p> <p>-Maquinabilidad: Buena (CNC)</p> <p>-Resistencia a la tensión: 230MPa</p> <p>-Costo de Implementación: \$80</p>
B	<p>Fibra de vidrio</p>  <p>(VIX Inc, 2017)</p>	<p>-Inmune a corrosión: Si</p> <p>-Aspecto físico: Bueno</p> <p>-Color: Personalizable con pintura</p> <p>-Maquinabilidad: Buena (Manual)</p> <p>-Resistencia a la tensión: 3400MPa</p> <p>-Costo de Implementación: \$50</p>
C	<p>Plástico PLA</p>  <p>(Formizable, 2014)</p>	<p>-Inmune a corrosión: Si</p> <p>-Aspecto físico: Bueno</p> <p>-Color: Depende del color del hilo</p> <p>-Maquinabilidad: Excelente (Impresión 3D)</p> <p>-Resistencia a la tensión: 50MPa</p> <p>-Costo de Implementación: \$15</p>

Los criterios de selección y su procedimiento de evaluación se detallan en las Tablas 40, 41, 42, 43. La selección se concluye en la Tabla 44.

Tabla 40

Ponderación de los criterios de evaluación del material estructural

Criterio	Costo	Maquinabilidad	Resistencia	$\sum+1$	Ponderación
Costo	-	2.5	2.5	6	0.33
Maquinabilidad	2.5	-	5	8.5	0.47
Resistencia	2.5	0	-	3.5	0.19

Total	18	1
-------	----	---

Tabla 41

Ponderación del costo del material estructural

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0.06
Solución B	5	-	0	6	0.33
Solución C	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 42

Ponderación de la maquinabilidad del material estructural

Maquinabilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	2.5	0	3.5	0.19
Solución B	2.5	-	0	3.5	0.19
Solución C	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 43

Ponderación de la resistencia del material estructural

Resistencia	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0	5	6	0.33
Solución B	5	-	5	11	0.61
Solución C	0	0	-	1	0.06
Total				18	1

Tabla 44

Conclusión para selección del material estructural

Criterio	Costo	Maquinabilidad	Resistencia	\sum	Prioridad
Solución A	0.02	0.09	0.06	0.18	18%
Solución B	0.11	0.09	0.12	0.32	32%
Solución C	0.20	0.29	0.01	0.50	50%
Total				1.00	100%

3.2.1.2 Diseño final del Sistema 1: Brazaete Inteligente

Una vez seleccionados los componentes que han sido descritos previamente, se procede al diseño electrónico del circuito encargado de transmitir las señales obtenidas por los sensores al microprocesador. Se analiza el consumo de corrientes para el cálculo del ancho de las pistas.

Cálculo de consumo de corriente

En la Tabla 45 se detallan los componentes del subsistema 1 "Brazalete Inteligente" con su respectivo consumo máximo de corriente en operación.

Tabla 45
Consumo máximo de corriente en el subsistema 1

Denominación	Función	Consumo máximo de corriente
MLX90614	Sensor de Temperatura	1.5 mA
Pulse sensor	Sensor de ritmo cardíaco	4 mA
TTP223	Botón de emergencia	3uA
GY 521	Detección de caídas	3.6 mA
ATMega328P	Microcontrolador	6.75 mA
FS1000a	Transmisor RF 433.3MHz	2mA
Led	Indicador de batería	2mA
Total de corriente de consumo		19.853mA

Selección de batería

La batería y su capacidad son seleccionadas en base al consumo de corriente de los componentes electrónicos e instrumentación de la Tabla 45. Se muestran los cálculos correspondientes y además la estimación de la duración de la batería.

Si la corriente (I) consumida la medimos en amperios y el tiempo (t) en horas, entonces la capacidad se la mide en Amperios-Hora (Ah).

$$C = Ixt \quad (3.1)$$

Siendo la corriente total:

$$I = 19.853 \text{ mA}$$

Tomando en cuenta que se requiere que el dispositivo funcione durante 24 horas.

$$C = 0.019853(24)$$

$$C = 0.476 \text{ Ah}$$

Ya que no es recomendable no descargar una batería hasta llegar a cero en cada ciclo de carga. Si se desea utilizar una batería en muchos ciclos no debe trabajar extrayendo más del 80% de su carga, dejando el 20% restante en la batería. Esto amplía el número de ciclos disponibles y consigue que la batería se degrade menos y mantenga su capacidad de carga durante más tiempo.

$$C = \frac{C}{0.8}$$

$$C = \frac{0.476}{0.8}$$

$$C = 0.595 \text{ Ah} = 595 \text{ mAh}$$

Otro parámetro importante a considerar es la velocidad de descarga de la una batería. Es la rapidez con la que se puede descargar de forma segura, es decir, la cantidad de amperios que la batería puede suministrar durante una hora de forma continua, y que normalmente viene expresada en referencia a su capacidad, como 15C, 20C, etc. Si se requiere una duración de 24 horas y una capacidad de 600 mA, se puede calcular la velocidad de descarga.

$$V_{descarga} = \frac{C}{t} \quad (3.2)$$

$$V_{descarga} = \frac{600 \text{ mA}}{24 \text{ h}}$$

$$V_{descarga} = 25 \text{ mAh/h}$$

Es decir, se requiere una batería con una velocidad de descarga de

aproximadamente 25C. Mientras que el dispositivo precisa una tensión mínima de operación de 3V y máxima de 5V. Con estos parámetros se pueden comparar diferentes tipos de baterías comerciales como se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46

Alternativas de baterías

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	Alcalina AAA  (Aliexpress, 2017)	-Voltaje:1.5V -Capacidad: Desde 900mAh -Velocidad de descarga: Desconocido -Tamaño: 44.5x10.5 mm -Recargable: Si -Costo USD: \$4.00
B	Polímero de Litio (LIPO)  (Tdrobótica, 2017)	--Voltaje:3.7V -Capacidad: Desde 200mAh -Velocidad de descarga: 20-40C -Tamaño: 34x20x7.5mm -Recargable: Si -Costo USD: \$7.00
C	AG4 Célula alcalina  (Technofactory, 2017)	-Voltaje:3V -Capacidad: Desde 220mAh -Velocidad de descarga: 0.2C -Tamaño: 20x3.2mm -Recargable: No -Costo USD: \$3.50

Los criterios de selección y su procedimiento de evaluación se detallan en las Tablas 47, 48, 49, 50. La selección se concluye en la Tabla 51.

Tabla 47

Ponderación de los criterios de evaluación de la batería

Criterio	Capacidad	Recargable	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderación
Capacidad	-	2.5	2.5	6	0.33
Recargable	2.5	-	0	3.5	0.19
Tamaño	2.5	5	-	8.5	0.47
Total				18	1

Tabla 48

Ponderación de la capacidad de la batería

Capacidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	5	5	11	0.61
Solución B	0	-	5	6	0.33
Solución C	0	0	-	1	0.06
Total				18	1

Tabla 49

Ponderación de la capacidad de recargar la batería

Recargable	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	2.5	5	8.5	0.47
Solución B	2.5	-	5	8.5	0.47
Solución C	0	0	-	1	0.06
Total				18	1

Tabla 50

Ponderación del tamaño de la batería

Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0.06
Solución B	5	-	0	6	0.33
Solución C	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 51

Conclusión para selección de la batería

Criterio	Capacidad	Recargable	Tamaño	Σ	Prioridad
Solución A	0.20	0.09	0.03	0.32	32%
Solución B	0.11	0.09	0.16	0.36	36%
Solución C	0.02	0.01	0.29	0.32	32%
Total				1.00	100%

Autonomía aproximada

Para el cálculo de la autonomía, se toma en cuenta la velocidad de descarga de la misma. Para un consumo de manera continua la velocidad es de 20 mA y 40mA para un consumo interrumpido. La batería seleccionada tiene un voltaje nominal de 3.7V y una capacidad de 300mAh. Si se requiere un funcionamiento continuo, se utilizará la velocidad de 20mAh. Así el tiempo de autonomía de la batería es:

$$t = \frac{C}{V \text{ descarga}}$$

$$t = \frac{200mAh}{20mA}$$

$$t = 10 \text{ horas}$$

Circuito de control

El circuito de control del presente subsistema se encarga de interconectar los componentes de instrumentación, comunicación y alimentación de energía. En la Figura 23 se muestra el esquema de conexión propuesto.

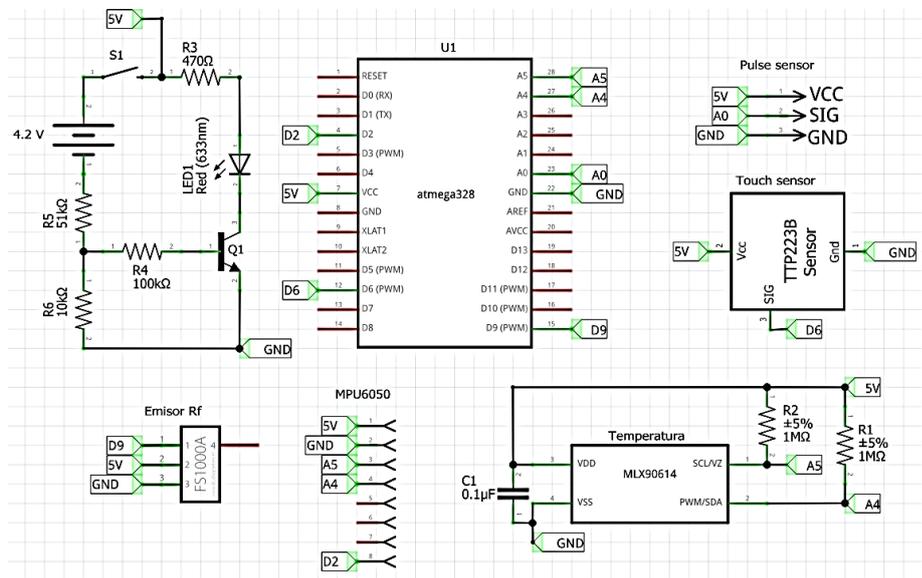


Figura 23 Diagrama electrónico del Subsistema 1

Cálculo ancho de pista

Se requieren los siguientes parámetros:

Corriente máxima: 19.853 mA

Variación máxima de temperatura: 10°C

Altura: 35 micras = $1 \frac{\text{onzas}}{\text{pie}^2}$

Pista externa: $k_1=0.0647$, $k_2=0.4284$, $k_3=0.6732$

$$\text{Ancho} = \frac{\frac{I}{k_1 \Delta T^{k_2}}}{1.378 \times \text{Altura}} \frac{1}{k_3} \quad (3.3)$$

$$\text{Ancho} = \frac{I}{k_1 \Delta T^{k_2}} \frac{1}{1.378 \times \text{Altura}} \frac{1}{k_3}$$

$$\text{Ancho} = \frac{0.0198}{0.0647 \times 10^{0.4281}} \frac{1}{1.378 \times 1} \frac{1}{0.6732}$$

$$\text{Ancho} = 0.0289 \text{ mils}$$

Determinado el ancho de pista de la placa, se realiza su diseño. Se realiza el prototipo analítico el cual muestra en 3D la apariencia del circuito mostrado en la Figura 24.

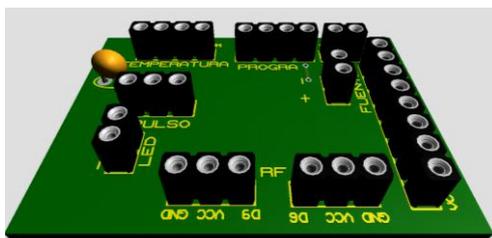


Figura 24 Simulación 3D del PCB del Subsistema 1

Algoritmos de funcionamiento

La adquisición de datos de la instrumentación es un proceso que se realiza continuamente y de cuya interpretación depende su transmisión. Cada sensor funciona independiente por lo que su funcionamiento es analizado por separado.

El sensor de MLX90614 monitorea de manera permanente la temperatura del paciente. Las alarmas que envía a la central por medio de radio frecuencia dependen

de su valor. Si la temperatura es superior o menor al valor normal de 36.5°C las alarmas de temperatura alta o baja son enviadas según el caso. En el Diagrama se muestra el algoritmo de funcionamiento propuesto.

El sensor touch TTP223 es un botón de emergencia el cual solo puede ser activado por el contacto humano. Su funcionamiento se registrará de acuerdo con el Diagrama 1 a. Debido a que el botón de emergencia está ligado al estado de salud del paciente y enfocado mayormente al sufrimiento de un ataque al corazón, se ve vinculado su funcionamiento con la medición del ritmo cardíaco. El sensor de ritmo cardíaco Pulse Sensor mide continuamente dicho valor y emite alertas si el valor está dentro del rango establecido médicamente como normal, como acelerado o de ser el caso de ser bajo los valores establecidos como se muestra en el Diagrama 1 b.

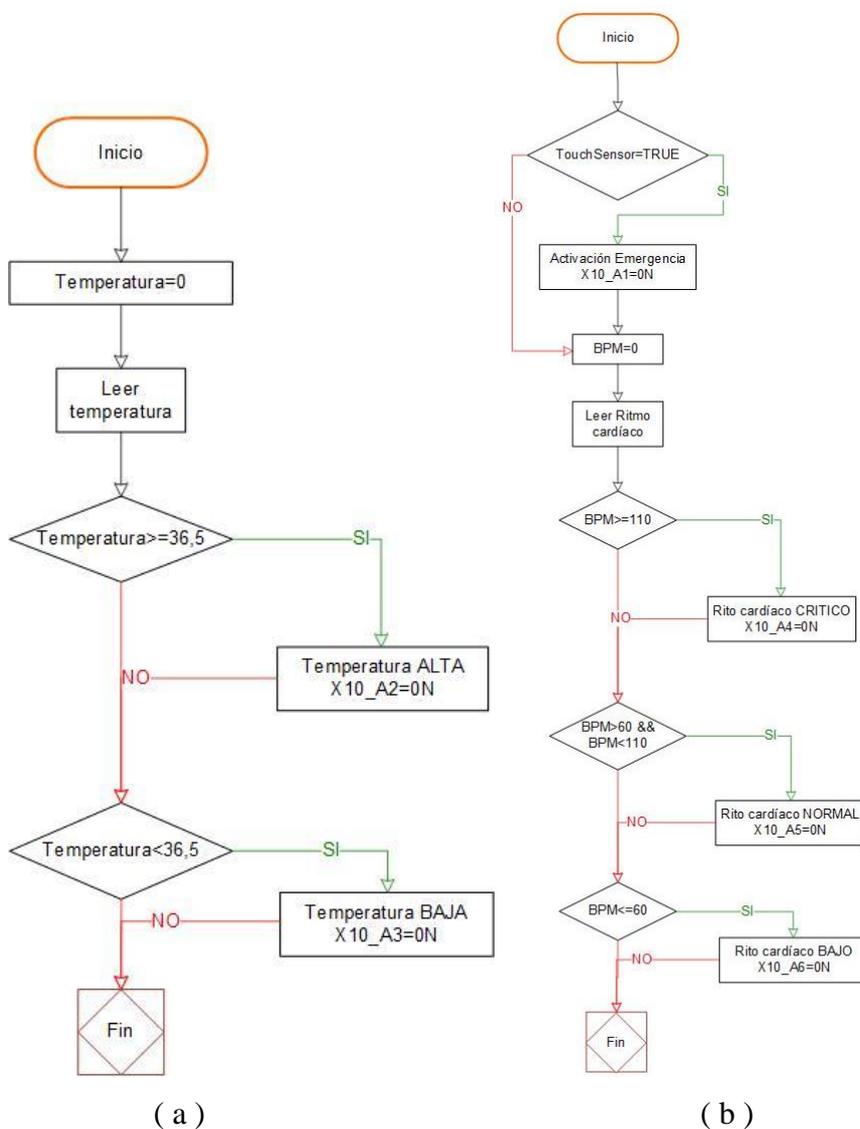


Diagrama 1 a) Temperatura, b) Botón emergencia y ritmo cardíaco

Diseño geométrico

A través de la utilización de software de diseño asistido por computador y herramientas de CAD se realiza el diseño de la estructura que contendrá al circuito del sistema 1. Para el diseño se toma en cuenta que el método de manufactura es el de impresión 3D. En la Figura 25 se muestra la estructura del brazalete y en la Figura 26 la vista explotada de la estructura a implementar.

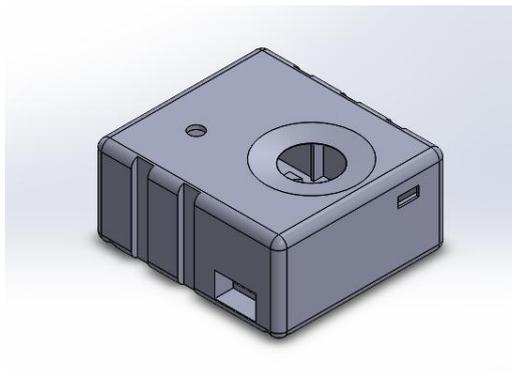


Figura 25 Estructura externa del Brazalete Inteligente

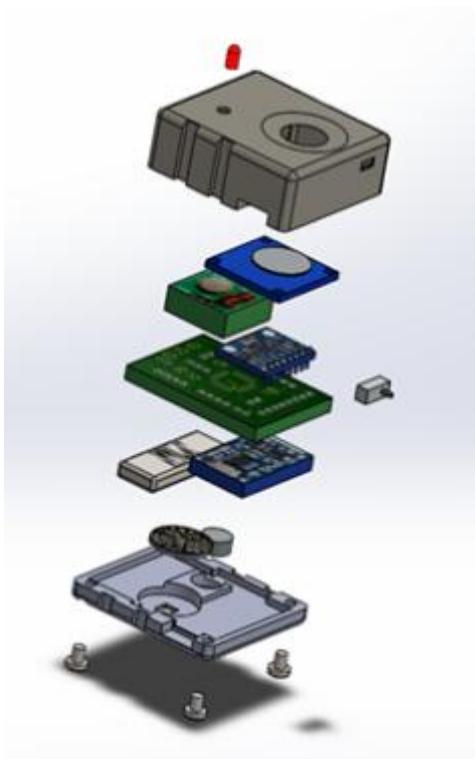


Figura 26 Vista explotada de la estructura del Brazalete Inteligente

Pensando en el objetivo de realizar un dispositivo ergonómico se propone la construcción mediante impresión 3D en hilo flexible la banda o correa que se ajusta a la muñeca. La correa del dispositivo de muestra en la Figura 27.

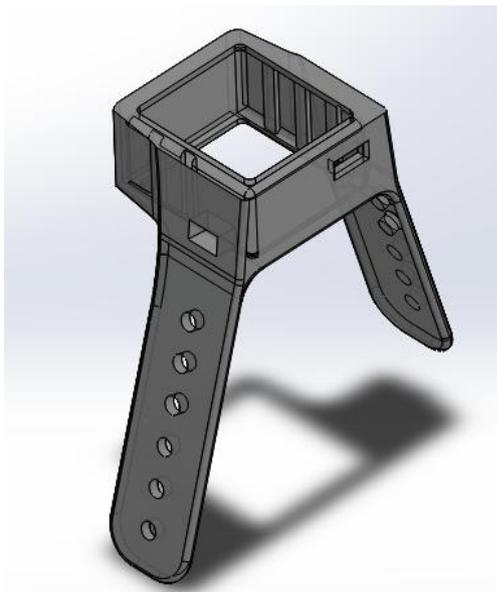


Figura 27 Correa ergonómica del Brazaletes Inteligente

Una vez ensamblado el sistema, se espera obtener un resultado como mostrado a través del prototipo analítico presente en la Figura 28.

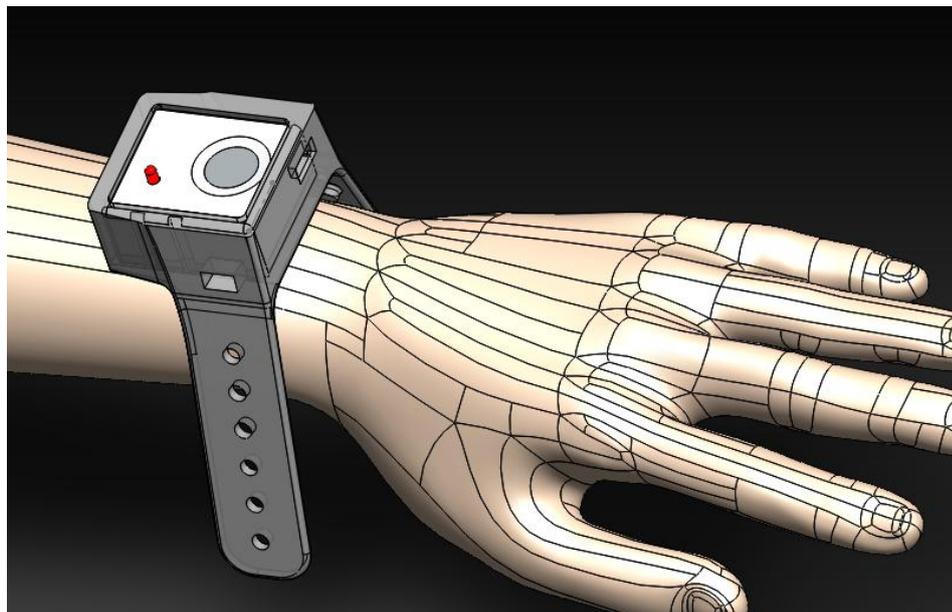


Figura 28 Prototipo analítico del Subsistema 1

3.2.2 Sistema 2: Robot de Videovigilancia

El sistema denominado "Robot de videovigilancia" constituye al dispositivo encargado de monitorear visualmente el estado del paciente. Es un robot equipado con una cámara de video de alta resolución capaz de transmitir inalámbricamente la

escena captada. El dispositivo es capaz de controlado de forma remota por el subsistema "Control Remoto" y el sistema 3 llamado "Interfaz de Usuario".

Son analizadas las alternativas de diseño que comprenden el tipo de robot y su funcionamiento, los componentes de transmisión y recepción de datos, cámara de video, actuadores y algoritmo de control. Los componentes y criterios de diseño son seleccionados en base a la fundamentación matemática y teórica a través de los resultados obtenidos en la matriz QFD.

3.2.2.1 Alternativas de diseño y evaluación

Tipo de robot

Se ha mencionado, el robot a implementar en el sistema debe cumplir los requerimientos de ser móvil, compacto, estar equipado con una cámara para video vigilancia. El diseño y el tipo de robot son analizados para determinar la mejor alternativa para el desarrollo del sistema robótico. Las alternativas con sus características se exponen en la Tabla 52.

Tabla 52

Tipos de robots móviles

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	Robot móvil  (ROBOTICAPUNO,2013)	<ul style="list-style-type: none"> -Gran capacidad de desplazamiento. -Basados en carros o plataformas con un sistema locomotor de rodante. -Siguen su camino por telemando o guiándose por la información recibida de su entorno a través de sus sensores. -Esquivar obstáculos -Nivel elevado de inteligencia.
B	Robot híbrido	-Su estructura es una combinación con otros robots.



(ROBOTICAPUNO,2013)

- Generalmente formado por un carro móvil y de un brazo semejante al de los robots industriales.
- Acceso a entornos difíciles
- Extendidos grados de libertad
- Nivel de inteligencia elevado

C

Robot manipulador móvil



(ROBOTICAPUNO,2013)

- Formado por una base con ruedas
- Consta de un torso con extremidades móviles
- Aspecto humanoide
- Grados de Libertad para movimientos complejos
- Nivel de inteligencia elevado

Las alternativas propuestas son analizadas en las Tablas 53, 54, 55 y 56 donde se comparan sus características. Se obtienen ponderaciones de los criterios a evaluar y se selecciona una de las opciones.

Tabla 53

Ponderación de los criterios de selección del tipo de robot

Criterio	Desplazamiento	Complejidad	Tamaño	$\sum+1$	Ponderación
Desplazamiento	-	5	2.5	8.5	0.47
Complejidad	0	-	0	1	0.06
Tamaño	2.5	5	-	8.5	0.47
			Total	18	1

Tabla 54

Ponderación de la facilidad de desplazamiento del robot

Desplazamiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	5	5	11	0.61
Solución B	0	-	5	6	0.33
Solución C	0	0	-	1	0.06
			Total	18	1

Tabla 55

Ponderación de la complejidad de la arquitectura del robot

Complejidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	2.5	5	8.5	0.47
Solución B	2.5	-	5	8.5	0.47
Solución C	0	0	-	1	0.06
			Total	18	1

Tabla 56

Ponderación del tamaño de la estructura del robot

Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	5	5	11	0.61
Solución B	0	-	2.5	3.5	0.19
Solución C	0	2.5	-	3.5	0.19
			Total	18	1

Tabla 57

Conclusión de la selección del tipo de robot

Criterios	Desplazamiento	Complejidad	Tamaño	Σ	Prioridad
Solución A	0.29	0.03	0.29	0.60	60%
Solución B	0.16	0.03	0.09	0.28	28%
Solución C	0.03	0.00	0.09	0.12	12%
			Total	1.00	100%

Acorde con los resultados obtenidos del análisis de la Tabla 57, la opción más adecuada es la construcción de un robot móvil. Al ser dotado de ruedas, es posible obtener un movimiento diferencial para sortear fácilmente obstáculos. Es un robot con diseño compacto y capaz de portar un "efector" sobre su superficie.

Videovigilancia

En la Tabla 58 se detallan las características de las alternativas de sistemas de videovigilancia correspondientes a cámaras de video con transmisión inalámbrica.

Tabla 58

Alternativas de material estructural

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	Logitech HD Pro Webcam C910  (Logitech, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> -Video full HD 1080p -Cámara 5MP HD -Corrección de luz automática -Parlantes calidad estéreo -Micrófono incluido -Dimensiones: 96.5x30.5x33mm -Conexión inalámbrica -Costo USD \$172.76
B	YooSee IP camera  (Yoosee, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> -Soporta protocolo 802.11 -S.O. basado en Linux -Soporta Android, iOS, Windows -Video 720p y captura imágenes -Visión infrarroja nocturna -2 grados de libertad -Micrófono y altavoz -Alimentación:5V 200mA -Costo USD: \$50

Las alternativas de cámaras para videovigilancia y sus características son analizadas en las Tablas 59, 60, 61, 62. La selección es realizada siguiendo las conclusiones de prioridad de la Tabla 63.

Tabla 59

Ponderación de los criterios de selección de la cámara

Criterio	Software	GDL	Costo	$\sum+1$	Ponderación
Software	-	5	2.5	8.5	0.47
GDL	0	-	2.5	3.5	0.19
Costo	2.5	2.5	-	6	0.33
Total				18	1

Tabla 60

Ponderación del tipo de software de la cámara

Software	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0	1	0.14
Solución B	5	-	6	0.86
		Total	7	1

Tabla 61

Ponderación de los grados de libertad de la cámara

GDL	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0	1	0.14
Solución B	5	-	6	0.86
		Total	7	1

Tabla 62

Ponderación del costo de la cámara

Costo	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0	1	0.14
Solución B	5	-	6	0.86
		Total	7	1

Tabla 63

Conclusión para selección de cámara

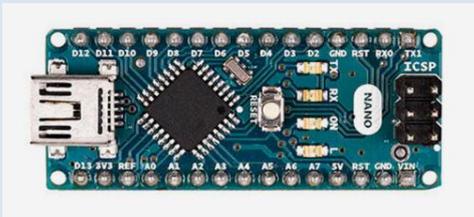
Criterio	Software	GDL	Costo	Σ	Prioridad
Solución A	0.07	0.03	0.05	0.14	14%
Solución B	0.40	0.17	0.29	0.86	86%
			Total	1.00	100%

Microcontrolador

El microcontrolador es el componente encargado traducir las órdenes captadas remotamente. Mediante su utilización se activarán los actuadores encargados del movimiento del robot. En la Tabla 64 se exponen las alternativas y sus características.

Tabla 64

Alternativas de microcontroladores

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	Arduino UNO  Dimensiones(mm): 53.3x68.6x18 (Arduino, 2017)	-Entradas/Salidas: 14 -Frecuencia:16MHz -RAM:1Kb -Costo USD: \$18.82
B	Arduino Mega  Dimensiones(mm):53.3x161.8x18 (Arduino, 2017)	-Entradas/Salidas: 54 -Frecuencia:16MHz -RAM:2Kb -Costo USD: \$35.00
C	Arduino Nano  Dimensiones(mm):43.18x45.24x2.4 (Arduino, 2017)	-Entradas/Salidas: 14 -Frecuencia:16MHz -RAM:2Kb -Costo USD: \$11.00

Las alternativas se analizan en las Tablas 65, 66, 67 y 68, donde se contrastan los criterios de elección. Finalmente se concluye la más adecuada en la Tabla 69.

Tabla 65

Ponderación de los criterios de evaluación del microcontrolador

Criterio	Tamaño	Entradas/salidas	Costo	$\sum+1$	Ponderación
Tamaño	-	5	2.5	8.5	0.47
Entradas/salidas	0	-	5	6	0.33
Costo	2.5	0	-	3.5	0.19
			Total	18	1

Tabla 66

Ponderación de los criterios de evaluación del microcontrolador

Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	5	0	6	0.33
Solución B	0	-	0	1	0.06
Solución C	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 67

Ponderación del número de entradas y salidas del microcontrolador

Entradas/salidas	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	2.5	3.5	0.21
Solución B	5	-	5	11	0.65
Solución C	1.5	0	-	2.5	0.15
Total				17	1

Tabla 68

Ponderación del costo del microcontrolador

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	5	0	6	0.33
Solución B	0	-	0	1	0.06
Solución C	5	5	-	11	0.61
Total				18	1

Tabla 69

Conclusión para selección del microcontrolador

Criterio	Tamaño	Memoria	RAM	Σ	Prioridad
Solución A	0.16	0.07	0.06	0.29	29%
Solución B	0.03	0.22	0.01	0.25	25%
Solución C	0.29	0.05	0.12	0.46	46%
Total				1.00	100%

Entre las características detalladas en la página web del fabricante Arduino (2017) se exponen que es capaz de detectar variables del entorno recibiendo en sus entradas una variedad de sensores y puede actuar controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador de la placa se programa utilizando el lenguaje de

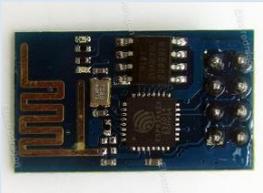
programación Arduino basado en lenguaje C. Posee entradas y salidas tanto analógicas como digitales y es capaz de funcionar con una alimentación de 3V o 5V. Además, puede ser autónomo o puede comunicarse con el software al ejecutarlo en un ordenador.

Comunicación Inalámbrica

Las alternativas de los componentes encargados de conectar inalámbricamente al robot son analizadas en la Tabla 70. Sus características más relevantes para el proyecto son detalladas para su posterior análisis.

Tabla 70

Alternativas de comunicación inalámbrica

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	ESP8266  (Espressif, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> -Soporta protocolo 802.11 -Dimensiones: 14.3x24.8x2 mm -Compatible con software libre -Alimentación: 3-3.6V 12mA -Costo USD: \$5.00
B	RF FS1000A  (Mantech, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> -Transmisión por radio frecuencia -Dimensiones: 19x19x7 -Compatible con software libre -Alimentación: 3-3.6V 2mA -Costo USD: \$5.00

Las características son evaluadas según las ponderaciones de selección presentados en las Tablas 71, 72, 73 y 74. Es seleccionada aquella cuya importancia se imponga, como se muestra en la Tabla 75.

Tabla 71

Ponderación de los criterios de selección del receptor inalámbrico

Criterio	Tamaño	Corriente	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	-	5	5	11	0.61
Corriente	0	-	2.5	3.5	0.19
Costo	0	2.5	-	3.5	0.19
Total				18	1

Tabla 72

Ponderación del tamaño del receptor inalámbrico

Tamaño	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	1	0.14
Solución B	5	-	6	0.86
Total			7	1

Tabla 73

Ponderación del consumo de corriente del receptor inalámbrico

Corriente	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	5	6	0.86
Solución B	0	-	1	0.14
Total			7	1

Tabla 74

Ponderación del costo del receptor inalámbrico

Costo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	2.5	3.5	0.50
Solución B	2.5	-	3.5	0.50
Total			7	1

Tabla 75

Conclusión de la selección del receptor inalámbrico

Criterio	Tamaño	Corriente	Costo	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución A	0.09	0.17	0.10	0.35	35%
Solución B	0.52	0.03	0.10	0.65	65%
Total				1.00	100%

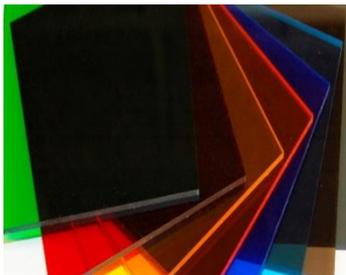
Material estructural

En el sistema 2 “Robot de video vigilancia”, en base al análisis de materiales anterior, se determinó que la opción ideal es el plástico PLA. Su manufactura mediante impresoras 3D permite replicar diseños complejos realizados en herramientas de diseño asistido por computador. Se concluye que parte de la estructura del robot será construida mediante el material y técnica mencionados.

Siguiendo el mismo lineamiento de criterios, la utilización de plástico en forma de láminas de acrílico permite igualmente realizar geometrías complejas en dos dimensiones con buen acabado. La manufactura del material es realizada mediante cortadoras láser y su utilización no es costosa. Por lo tanto, el robot será fabricado utilizando las técnicas y materiales antes mencionados. Sus características son detalladas en la Tabla 76.

Tabla 76

Selección de material estructural del robot

Solución	Denominación/ Ilustración	Características
A	Plástico PLA  (Formizable, 2014)	-Inmune a corrosión: Si -Aspecto físico: Bueno -Color: Depende del color del hilo -Maquinabilidad: Excelente (Impresión 3D) -Resistencia a la tensión: 50MPa -Costo de Implementación: \$45
B	Acrílico 	-Inmune a corrosión: Si -Aspecto físico: Excelente -Color: Varios -Maquinabilidad: Excelente (Corte láser) -Resistencia a la tensión: 69MPa -Costo de Implementación: \$25

(Crilex, 2016)

3.2.2.2 Diseño final del subsistema 2: Robot de video vigilancia

Al ser determinados los componentes del sistema 2 “Robot de videovigilancia” se procede al diseño estructural, electrónico del circuito, y de comunicación inalámbrica. Se analizan los actuadores eléctricos, diseño de pistas, consumo de corriente y selección de batería.

3.2.2.2.1 Robot de Video Vigilancia

Selección de actuadores

Se requiere conocer la Potencia en w del motor, cuya masa máxima será de 1 Kg de carga. La velocidad de movimiento debe ser de 10 Km/h que equivalen a 2.77 m/seg. Las ruedas del auto tienen un diámetro de 6.6 cm. Se tomará en cuenta la resistencia de translación de 0.007.

La potencia de un motor para mecánico de translación según (Campos J., 2016) en su trabajo Eficiencia energética de motores eléctricos se define como:

$$P = m_T \cdot w \cdot \frac{v}{2\pi \cdot 9.550n} \quad (3.4)$$

Donde:

P: Potencia en Kw

m_T : Peso total en N

w: Resistencia de translación en m/min

v: Velocidad de translación en m/seg

n: Rendimiento mecánico

$$P = 9.8 * 0.007 * \frac{2.77}{2\pi * 9.550 * 0.8}$$

$$P = 0.0039 \text{ Kw} = 3.9375 \text{ w}$$

Los motores comerciales disponibles en el mercado con estas características y con costos no muy elevados son los motores Mabuchi como se muestra en la Figura 29.



Figura 29 Motor Mabuchi

Para la selección de los motores, a continuación, se muestran los diferentes modelos disponibles en la Tabla 77.

Tabla 77

Motores Mabuchi FC-280PA/SA

Modelo	Voltaje nominal (V)	Velocidad (r/min)	Corriente (A)	Potencia (w)
FC-280PA-20150	12	12000	0.1	4.57
FC-280PA-18165	12	11000	0.1	4.13
FC-280SA-18165	12	12400	0.09	3.98
FC-280SA-16200	12	10000	0.07	2.92
FC-280SA-4523	12	8700	0.58	1.8

El modelo que cumple con los requerimientos el FC-280SA-18165 con una potencia de 3.98w y 90mA.

Diseño de Ejes

El motor Mabuchi FC-280SA-18165 seleccionado presenta las características mecánicas mostradas en la Tabla 78.

Tabla 78 Características del motor dc “Mabuchi”

Características Motor Mabuchi	
Potencia (w)	3.98
Velocidad (r/min)	12400
Torque (mN.m)	3.40

La relación entre potencia y tamaño del eje del motor es importante debido a que se requiere prevenir la falla de los elementos. El eje debe ser diseñado para transmitir el par requerido sin superar el esfuerzo de torsión máximo admisible para el material del eje y para prevenir la torsión durante el funcionamiento. El diámetro se define como:

Potencia por transmisión:

$$D = \sqrt[3]{\frac{1.33 (10^6)P}{N}} \quad (3.5)$$

Potencia por poleas:

$$D = \sqrt[3]{\frac{1.12 (10^6)P}{N}} \quad (3.6)$$

Donde P es la potencia de 0.00398 KW y N la velocidad que corresponde a 12400 rpm. Reemplazando los valores del motor seleccionado en la (3.5):

$$D = \sqrt[3]{\frac{1.33 \cdot 10^6 \cdot 0.00398}{12400}}$$

$$D = 0.753 \text{ mm}$$

El tamaño mínimo del eje debe ser de 0.753 mm, sin embargo, para un buen enfoque se realiza el cálculo del eje necesario para limitar la torsión propuesto por [RENAME, 2014] se define como:

$$D = \sqrt[3]{\frac{P}{N}} \cdot 112 \quad (3.7)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{0.00398}{12400}} \cdot 112$$

$$D = 0.766 \text{ mm}$$

Se considera utilizar el valor superior como mínimo para la transmisión de movimiento.

Selección de batería del robot

En la Tabla 79 se detallan los componentes de subsistema “Robot de video

vigilancia” con su consumo máximo de corriente en operación.

Tabla 79

Componentes del Robot de video vigilancia

Denominación	Función	Consumo máximo de corriente
Arduino nano	Microcontrolador	8 mA
FC-280SA-18165	Motores DC 12V	180 mA
ESP8266	Transmisor wifi	11 mA
L293D	Puente H	2 mA
Led	Indicador de batería	2 mA
Cámara robótica IP	Visualización	200 mA
Lm3281	Regulador de voltaje	25 uA
Total corriente de consumo		403.025mA

Si la corriente consumida la medimos en amperios y el tiempo en horas, entonces la capacidad se la mide en Amperios-Hora (Ah).

$$C = Ixt$$

La corriente total es:

$$I = 403.025 \text{ mA}$$

Se requiere que el dispositivo funcione durante 3 horas no continuas.

Por lo tanto:

$$C = 403.025 \times 3$$

$$C = 1209.075 \text{ mAh}$$

Tomando en cuenta el ciclo de vida, es recomendable no descargar una batería hasta llegar a cero en cada ciclo de carga. Si se desea utilizar una batería en muchos ciclos no debe trabajar extrayendo más del 80% de su carga, dejando el 20% restante en la batería. Esto amplía el número de ciclos disponibles y consigue que la batería se degrade menos y mantenga su capacidad de carga durante más tiempo.

$$C = \frac{C}{0.8}$$

$$C = \frac{1209.75}{0.8}$$

$$C = 1.511 \text{ Ah} = 1511.34 \text{ mAh}$$

Se dispone de una batería comercial recargable de 1600 mAh para la duración de 3 horas aproximadamente. Se puede calcular la velocidad de descarga.

$$V_{\text{descarga}} = \frac{C}{t}$$

$$V_{\text{descarga}} = \frac{1600 \text{ mAh}}{3 \text{ h}}$$

$$V_{\text{descarga}} = 533.33 \text{ mA}$$

El dispositivo precisa una tensión mínima de operación de 5V y máxima de 8V. Con estos parámetros se seleccionó la batería Lipo con las características mostradas en la Tabla 80.

Tabla 80

Características de la batería Lipo

Polímero de litio (Lipo)	
Voltaje nominal (V)	7.4
Capacidad (mAh)	1600
Velocidad de descarga	de 30-40C
Tamaño (mm)	107 x 35 x 14

En la Figura 28 se muestra la batería de polímero de litio seleccionada.



Figura 30 Batería Lipo 1.6Ah - 7.4V

Cálculo de autonomía

Para el cálculo de la autonomía, se toma en cuenta la velocidad de descarga de la misma. La batería seleccionada tiene un voltaje nominal de 7.4V y una capacidad de 1600mAh. Si la descarga calculada previamente es de 533.33mA la autonomía de la batería es determinada por:

$$t = \frac{C}{V_{descarga}}$$

$$t = \frac{1600mAh}{533.33mA}$$

$$t = 3 \text{ horas}$$

De esta manera se determina que se tendría una autonomía energética de 3 horas consecutivas en funcionamiento.

Circuito de control

El robot de videovigilancia consta de un circuito encargado de controlar su tele operación y funcionamiento. Consta de un circuito de cambio de giro de los motores para poder moverse de forma diferencial. Es un circuito formado por un microcontrolador, elementos de recepción inalámbrica de datos y el circuito de potencia para el control de los actuadores. En el esquema de la Figura 31 se muestra el circuito diseñado y que será implementado en el robot diferencial.

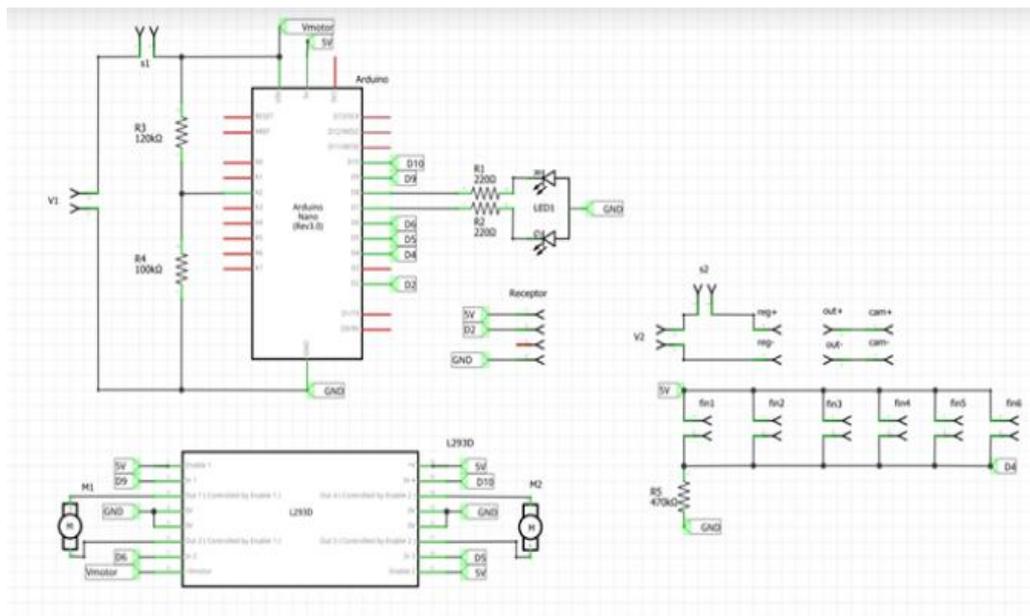


Figura 31 Diagrama electrónico del Subsistema 2

Cálculo ancho de pista

Para el cálculo del ancho de pista se listan los siguientes parámetros:

- Corriente máxima: 403.0.25 mA
- Variación máxima de temperatura: 10°C
- Altura: 35 micras=1 onzas/ pie^2
- Pista externa: $k1=0.0647$, $k2=0.4284$, $k3=0.6732$

El ancho de pista se define:

$$Ancho = \frac{I \cdot \frac{1}{k3}}{1.378 \times Altura \cdot k1 \times \Delta T^{k2}}$$

$$Ancho = \frac{0.403 \cdot \frac{1}{0.6732}}{1.378 \times 1 \cdot 0.0647 \times 10^{0.4281}}$$

$$Ancho = 3.5 \text{ mils}$$

El ancho es de 3.5 mils aproximadamente.

Tomando en cuenta los cálculos realizados del ancho de pistas, se diseña la PCB del Robot de videovigilancia, la cual se muestra en la Figura 32.

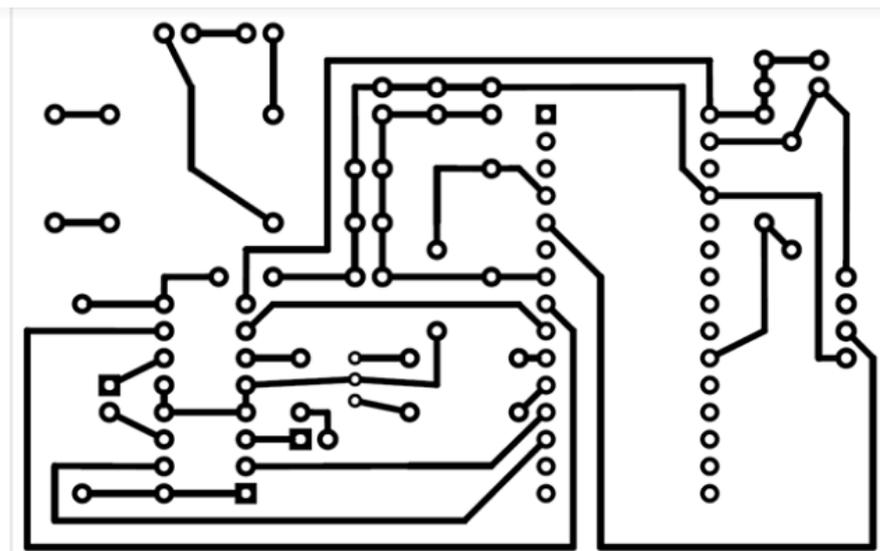


Figura 32 PCB del robot diferencial de videovigilancia

Diseño geométrico

Una vez que se han seleccionado todos los componentes que forman parte del sistema y el tipo de robot se procede al diseño estructural. Mediante la utilización de herramientas de diseño asistido por computador se realiza la estructura del robot y la simulación de la misma como se muestra en la Figura 33.

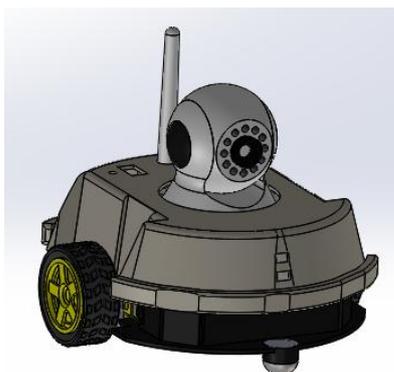


Figura 33 Morfología del robot diferencial de videovigilancia

El robot está formado por dos motores que dan movimiento a una rueda cada uno, se tiene una plataforma donde se alojan los componentes electrónicos y sobre él la cámara de videovigilancia. Posee una rueda de soporte omnidireccional en el frente. La estructura y sus componentes se observan en la Figura 34.



Figura 34 Vista explotada del robot diferencial de videovigilancia

Resistencia de materiales

La resistencia al impacto de la estructura del robot de vigilancia de material acrílico negro se muestra en la siguiente Tabla 81.

Tabla 81

Resistencia del acrílico

Material	Espesor en mm	Peso de Bola de Acero en caída libre en kg	Energía necesaria para romper el material en libras-pies
Lámina de Acrílico	2.5	0.11	3.0
	3.0	0.91	4.7
	4.5	0.91	11.1
	6.0	2.27	18.1

Fuente: (Ultra Plas, 2016)

En la Figura 35 se muestra el estudio por medio de Von Mises donde se determina la mayor tensión soportada por la placa de acuerdo con la escala de colores. El estudio es realizado tomando en cuenta que la placa debe ser capaz de

soortar los componentes del robot en su superficie, es decir una carga distribuida de 0.8kg. Para su diseño está considerada una placa de acrílico de 3mm de espesor pues es el material disponible comercialmente para manufacturar a través de corte láser

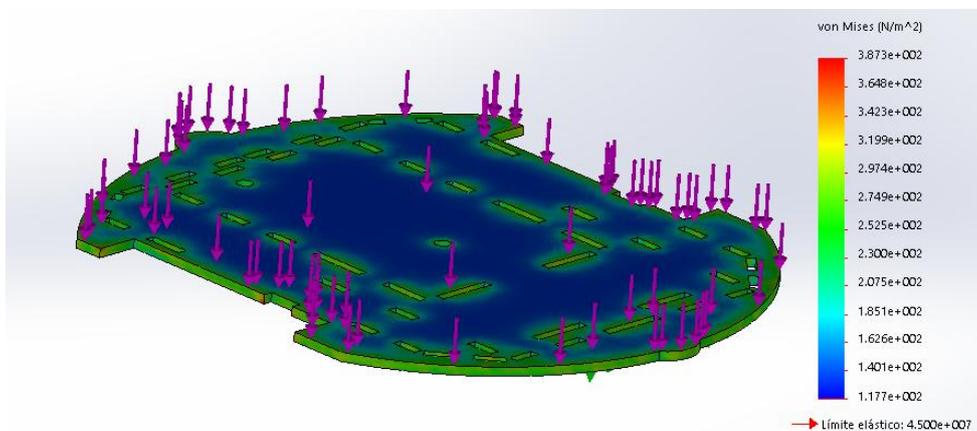


Figura 35 Análisis de tensión en la plataforma

De esta manera, se observa que el material y la geometría soporta la carga de 8N sobre su superficie y se muestran las tensiones máximas obtenidas en cada región de ella de acuerdo con la escala de colores presentada. Por otro lado, mediante la simulación podemos determinar el factor de seguridad del diseño propuesto. Se obtiene un valor de Factor de seguridad de $1.2 \cdot (10e+5)$ como se muestra en la Figura 36 que si bien es alto, corresponde a la placa de acrílico de menor espesor disponible en el mercado.

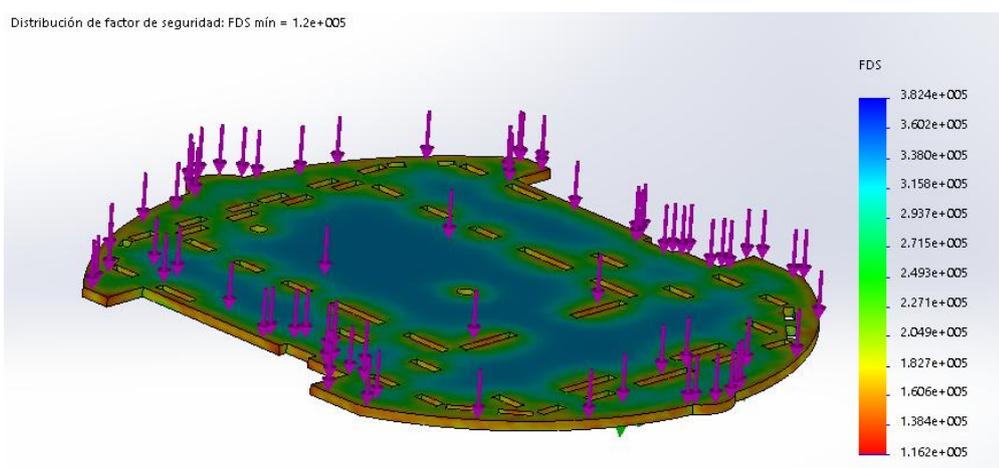


Figura 36 Factor de seguridad en la plataforma

Para la estructura superior del robot de vigilancia, se utilizó plástico PLA. Tiene importantes propiedades, como buena resistencia térmica y al impacto combinado

con la facilidad del procesado. En la Tabla 82 se muestran las propiedades mecánicas.

Tabla 82

Propiedades mecánicas del PLA

Propiedades	Método ASTM	Unidad	Alto impacto	Impacto medio	Bajo impacto
Resistencia al impacto Izod	D2546	J/m	375-640	215-375	105-215
Resistencia a la tensión	D638	Kg/mm ²	3.3-4.2	4.2-5.3	4.2-5.3
Dureza Rockwell	D785	HRC	88-90	95-105	105-110

Fuente: (Formizable, 2014)

Se requiere calcular la fuerza necesaria para que el coche pare por completo su trayectoria y así, conocer si el material utilizado soporta la fuerza ejercida sobre el mismo. En la Figura 37 se ilustra un ejemplo de colisión.



Figura 37 Simulación de colisión

La energía cinética inicial de un coche se define como:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.8)$$

La fuerza requerida para parar un coche a una distancia determinada se define como:

$$F_{imp} = -\frac{mv^2}{2d} = -\frac{Ec}{d} \quad (3.9)$$

Donde m es la masa del robot de 1 Kg, v la velocidad con la que se impacta de 0.83m/s (3Km/h) y d es la distancia en metros a la que se detiene después del impacto considerado mínimo con el valor de 1mm.

$$Fuerza\ de\ impacto = \frac{1(0.833^2)}{2(0.001)} = 347.22\ N$$

Se requieren 347.22 N para parar el coche, equivalente a 34.7 kgf. Para conocer si el material de la carcasa y la estructura soportan la fuerza de impacto calculada, se realiza una simulación en software CAE como se muestra a continuación. En la Figura 38 se observa las tensiones que soporta la estructura la cual alcanza hasta los 20 MPa aproximadamente según la escala de colores debido al impacto.

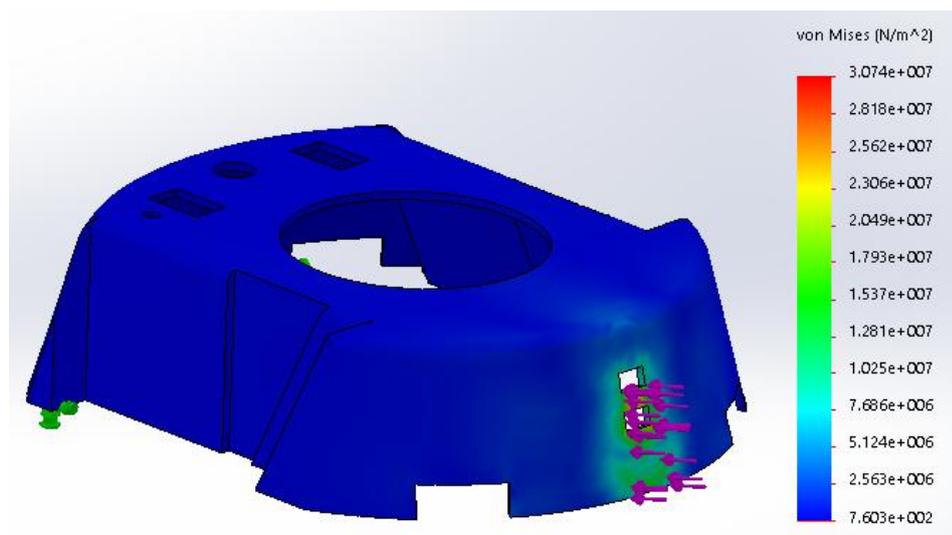


Figura 38 Análisis de tensiones en la estructura

La deformación de la estructura se observa en la Figura 39. La máxima deformación corresponde a los 0.41mm aproximadamente. Hay que tener en cuenta que el PLA es un material con propiedades de plásticas por lo que no se deformaría permanentemente.

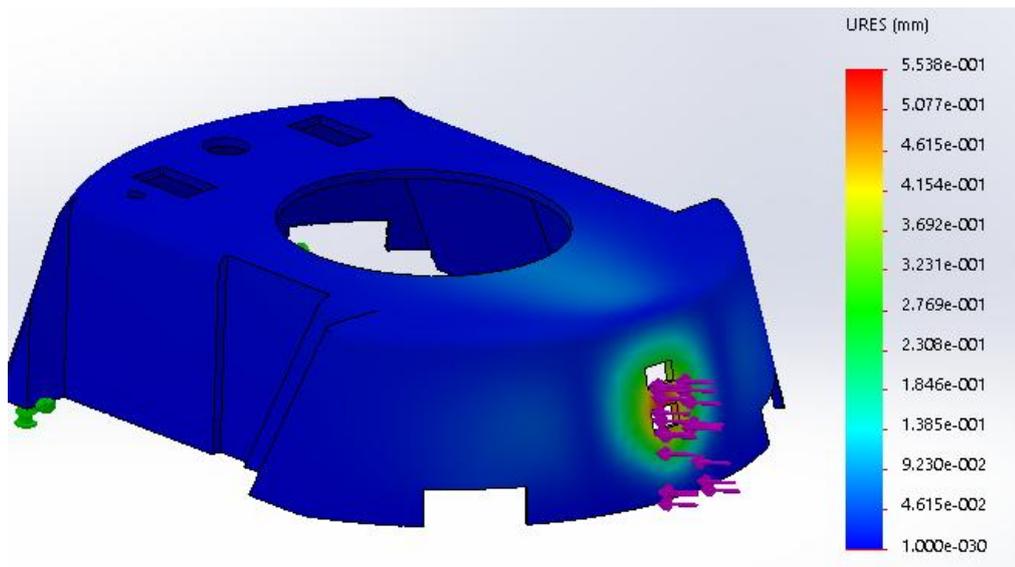


Figura 39 Análisis de desplazamientos en la estructura

3.2.2.2.2 Control Remoto Inalámbrico

El control remoto es un subsistema encargado de controlar inalámbricamente los movimientos del Robot de video vigilancia. Está formado básicamente por botones que rigen su movimiento como los de la Tabla 83.

Tabla 83

Componentes del control remoto

Denominación/Ilustración	Características
<p>KY-023</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Botón omnidireccional -Señal analógica -Alimentación: 5V 30mA Precio USD: \$5.00
<p>Pulsador</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Botón compacto -Dimensiones: 12x12x8mm



-Alimentación: 5V 5mA

-Precio USD: \$0.50

Corriente máxima del control remoto

En la Tabla 84 se detallan los componentes de control remoto con su respectivo consumo máximo de corriente en operación.

Tabla 84

Consumo de corriente del control remoto del control remoto

Denominación	Función	Consumo máximo de corriente
Arduino nano	Microcontrolador	8 mA
Pulsadores (4)	Movimiento	20 mA
Módulo joystick	Movimiento	30 mA
Led	Indicador de batería	2 mA
Emisor rf 433.95Mhz	Comunicación RF	4 mA
Total corriente de consumo		64 mA

Selección de batería del control remoto

La capacidad es:

$$C = Ixt$$

La corriente total es:

$$I = 64 \text{ mA}$$

Tomando en cuenta que se requiere que el dispositivo funcione durante 12 horas.

$$C = 0.064(12)$$

$$C = 0.768 \text{ Ah}$$

Es recomendable no descargar una batería hasta llegar a cero en cada ciclo de carga. Si se desea utilizar una batería en muchos ciclos no debe trabajar extrayendo más del 80% de su carga, dejando el 20% restante en la batería. Esto amplía el número de ciclos disponibles y consigue que la batería se degrade menos y mantenga su capacidad de carga durante más tiempo.

$$C = \frac{C}{0.8}$$

$$C = \frac{0.768}{0.8}$$

$$C = 0.96 \text{ Ah} = 960 \text{ mAh}$$

Por lo tanto, se requiere una batería comercial recargable de 1000 mAh para la duración de 12 horas como mínimo. La velocidad de descarga es:

$$V_{\text{descarga}} = \frac{C}{t}$$

$$V_{\text{descarga}} = \frac{1000 \text{ mAh}}{12 \text{ h}}$$

$$V_{\text{descarga}} = 83$$

Se concluye la necesidad de una batería con una velocidad de descarga menor a 80C. Mientras que el dispositivo precisa una tensión mínima de operación de 5V y máxima de 12V. Con estos parámetros se seleccionó la batería con las especificaciones mostradas en la Tabla 85.

Tabla 85

Características de batería del control remoto

Característica	Polímero de litio (Lipo)
Voltaje nominal (V)	7.4
Capacidad (mAh)	1250
Velocidad de descarga	20C
Tamaño (mm)	95 x 35 x 14

La batería que cubre la mayoría de los requerimientos es la de Polímero de Litio (Lipo) como se muestra en la Figura 40.



Figura 40 Bateria Lipo Rinho

Autonomía aproximada

Para el cálculo de la autonomía, se toma en cuenta la velocidad de descarga de la misma. Para un consumo de manera continua la velocidad es de 20 mA para un consumo interrumpido. La batería seleccionada tiene un voltaje nominal de 7.4V y una capacidad de 1250 mAh.

Así el tiempo de autonomía de la batería es:

$$t = \frac{C}{V_{\text{descarga}}}$$

$$t = \frac{1250\text{mAh}}{20\text{mA}}$$

$$t = 62 \text{ horas}$$

Cálculos de antenas

En la comunicación por radio frecuencia, se requiere conocer el alcance máximo de los dispositivos a utilizarse, en este caso el emisor y el receptor. El volumen de espacio entre el emisor y receptor donde existe intercambio de datos se conoce como la zona de Fresnel donde son consideradas las variables “d” de distancia y “r” de altura con respecto al piso.

Para el cálculo de r, se necesita conocer la frecuencia “f” en Ghz de los dispositivos y la distancia “d” en Km requerida entre ambos. El volumen de espacio se define como:

$$r = 17.32 \frac{\overline{d}}{4f}$$

A una distancia requerida de 40 metros y a una frecuencia de 433.98 Mhz.

$$r = 17.32 \frac{\overline{0.04}}{4(0.43398)}$$

$$r = 2.629 \text{ m}$$

$$r_{\text{despejado}} = 2.629 \cdot 0.8 = 2.1 \text{ m}$$

Es decir, tanto el emisor y el receptor deben estar a 2.629 metros de altura desde el suelo, y como mínimo 2.1 metros deben estar despejados para tener una buena comunicación a 40 metros de distancia.

Circuito de control

El control remoto posee un un circuito encargado de transmitir inalámbricamente datos para tele operar el robot. Consta de tres partes fundamentales, el controlador, los botones (4 digitales y 1 analógico) y el circuito de transmisión inalámbrica. En el esquema de la Figura 41 se muestra el circuito diseñado y que será implementado.

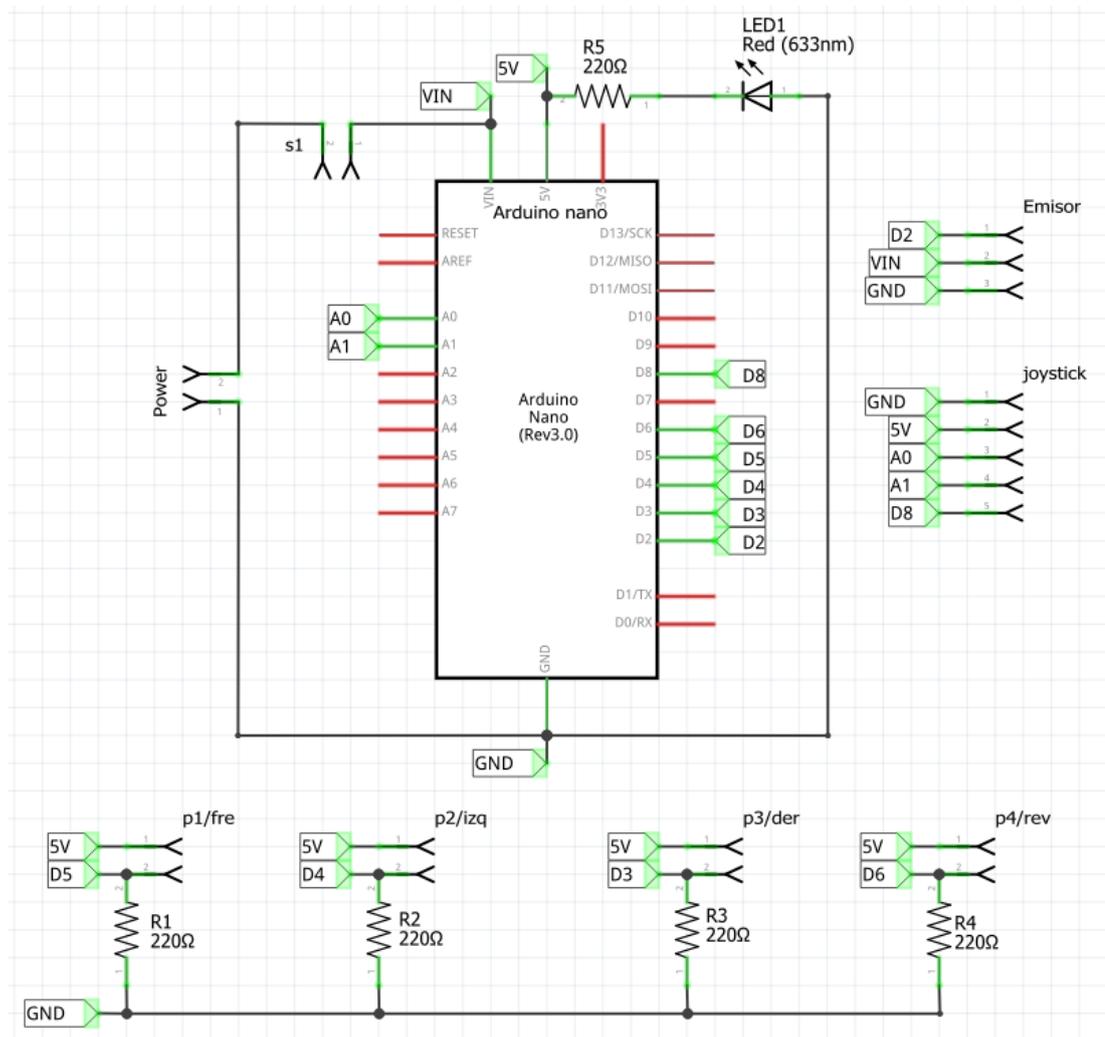


Figura 41 Diagrama electrónico del Control Remoto

Cálculo ancho de pista

Se requieren los siguientes parámetros:

Corriente máxima: 64 mA

Variación máxima de temperatura: 10°C

Altura: 35 micras=1 onzas/pie²

Pista externa: k1= 0.0647, k2=0.4284, k3=0.6732

$$\text{Ancho} = \frac{I}{\frac{k_1 \times \Delta T^{k_2}}{1.378 \times \text{Altura}} \times \frac{1}{k_3}}$$

$$\text{Ancho} = \frac{0.064}{\frac{0.0647 \times 10^{0.4281}}{1.378 \times 1} \times \frac{1}{0.6732}}$$

$$\text{Ancho} = 0.165 \text{ mils}$$

Finalmente, para la construcción de la PCB, se diseña el tamaño de la placa y tomando en cuenta el cálculo del ancho de pista se diseña el circuito de conexión como se muestra en la Figura 42.

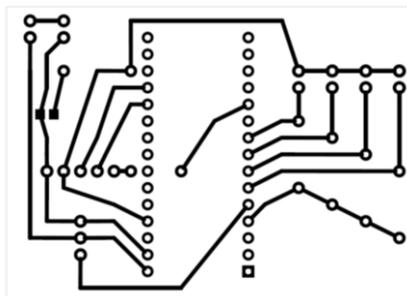


Figura 42 PCB del Control Remoto

Diseño geométrico

AL haber seleccionado los componentes de acuerdo a las necesidades propuestas, se realiza el diseño geométrico del Control Remoto con ayuda de software CAD. En la Figura 43 se muestra la simulación de la implementación del Control Remoto del Robot de Video vigilancia.



Figura 43 Diseño CAD del Control Remoto del Robot de video vigilancia

El Control remoto está formado estructuralmente por una superficie donde se ubican los mandos principales como un arreglo de 4 botones digitales para posicionamiento y una alternativa de un mando analógico (joystick). En su parte superior consta de un soporte para un dispositivo móvil con el fin de facilitar la utilización y control del Robot. Posee también un switch de encendido con un led indicador para comprobar su funcionamiento, un módulo para recargar la batería y

una antena que permite mayor alcance para el control inalámbrico. La estructura y sus componentes se observan en la Figura 44.

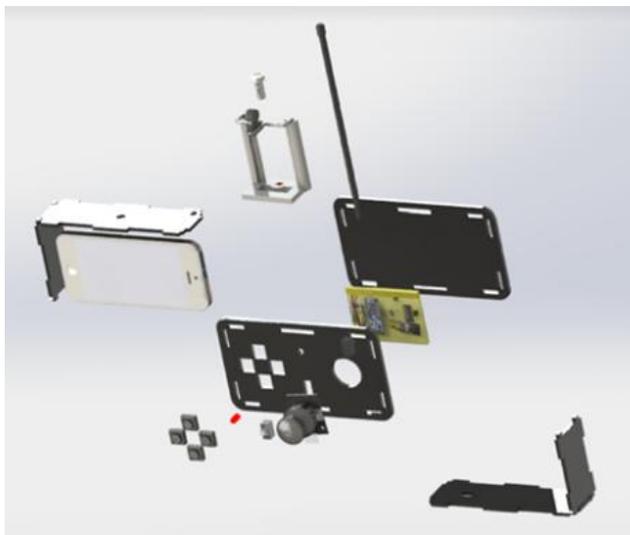


Figura 44 Vista explotada del Control Remoto

3.2.3 Sistema 3: Interfaz de Usuario

Mediante el análisis del tercer subsistema "Interfaz de Usuario" se determinan las alternativas para el control e interoperabilidad del sistema. Se realiza la selección de diseño pensando en la funcionalidad y utilidad que representa para el usuario del sistema robótico. Son analizadas también las características y opciones de comunicación inalámbrica necesarias para la emisión y recepción de datos en tiempo real.

Debido a que el proyecto consiste en la creación de un sistema robótico basado en Openhab, será el software de control encargado de recibir la información y controlar remotamente los demás Subsistemas. Openhab es un software de automatización disponible en versiones para hardware libre basado en Linux y propietario como Windows y MAC. Buscando la implementación de software y hardware libre en el proyecto determinada en la Tabla 7, se analiza el sistema operativo y el procesador en el cual se albergará el sistema y la interfaz de usuario.

aplicación, pero por las mismas razones de compatibilidad, es muy difícil encontrarlos y su desarrollo es limitado.

Para la implementación del sistema robótico son necesarios dos tipos de receptores. El primero pertenece al brazalete el cual debe contener un transmisor de radio frecuencia a 433.3MHz con el fin de recibir las alertas en el software openhab a través de Raspberry Pi. El segundo receptor forma parte del sistema robótico de videovigilancia, el cual a través de Wifi y el protocolo TCP/IP 802.11 pueda recibir las órdenes del servidor para activar sus actuadores.

El único dispositivo basado en software libre y compatible con el sistema Openhab es un receptor/transmisor inalámbrico de radio frecuencia llamado RFXcom. El hardware RFXcom es un receptor de radiofrecuencia capaz de trabajar en 433.3Mhz e interpretar sin problemas mensajes inalámbricos de tipo X10, ARC, Lighting1 entre otros. Es compatible con openhab al contener un firmware (Binding) que le permite ser reconocido por el software y formar parte de sus periféricos. Tiene la capacidad de recibir un tráfico de mensajes a distancias considerablemente alejadas (entre 15 y 20 metros) sin obstáculos. Su tamaño es compacto, funciona mediante conexión USB 2.0, su tamaño es compacto como se muestra en la Figura 46 y su costo es relativamente accesible.



Figura 46 Receptor de radiofrecuencia RFXcom

Fuente: (RFXcom, 2017)

Las características más relevantes del dispositivo de acuerdo a la página web del fabricante www.rfxcom.com (2017) se encuentran:

- Receptor transmisor de radiofrecuencia
- Frecuencias de operación de 433 MHz
- Protocolos: X10, ARC, Lighting1, Lighting2, otros
- Alcance de comunicación inalámbrica superior a 15m
- Consumo energético : 0.14W

3.2.3.2 Diseño final del subsistema 3

A través del procesador Raspberry Pi y su conexión con el dispositivo receptor de radiofrecuencia RFXcom, el sistema es capaz de recibir las señales enviadas por el Subsistema 1 correspondiente al Brazalette Inteligente. Las señales recibidas son interpretadas y traducidas en alarmas a través de la personalización de la Interfaz de Openhab. La realización de un servidor local es capaz de conectar varios dispositivos inalámbricamente y poder acceder a los estados de los pacientes por medio de una dirección web.

El punto de partida del diseño de la interfaz de usuario es la identificación de variables. Las variables más significativas tomadas de los parámetros de signos vitales son transformadas en alertas a través de su interpretación. En el entorno gráfico, se definen los íconos a usarse y la distribución de la nomenclatura para cada uno de ellos. En la Tabla 86 se muestra las variables a utilizar, el ícono gráfico y la dirección de memoria para transmisión inalámbrica.

Tabla 86

Distribución de íconos, variables y direccionamiento

Ícono	Variable	Descripción	Dirección
	Pacientes	Label de pacientes	-
	Robot	Pestaña de control remoto del robot	-
	Emergencia	Emergencia: Paciente necesita atención (Botón de emergencia)	D1
	Caido	Emergencia: Paciente caído	D2
	Talta	Temperatura sobre 36.8°C	D3
	Tnormal	Temperatura entre 36.4 y 36.8	D4

°C			
	Tbaja	Temperatura bajo 36.4°C	D5
	RCCritico	Ritmo cardíaco sobre 125 PPM	D6
	RCNormal	Ritmo cardíaco entre 70 y 125 PPM	D7
	RCBajo	Ritmo cardíaco bajo 70 PPM	D8
 	ATENDIDO	Quitar alarmas. Switch de reseteo de alarmas	-
	Mensaje	Utilice los botones para controlar el robot	-
	Adelante	Mover hacia adelante el Robot	A1
	Reversa	Mover en reversa el robot	A2
	Derecha	Mover a la derecha el robot	A3
	Izquierda	Mover a la izquierda el robot	A4
	Frenar	Frenar el robot	A5

La interfaz de usuario debe ser lo más intuitiva posible. Para lograr cumplir el hito, es necesario diseñarla de tal manera que se pueda navegar entre ventanas para poder monitorear las alertas de los distintos pacientes y manejar el robot si se desea. El diseño de la pantalla principal se muestra esquemáticamente en la Figura 47.

Centro Asistencial	
	Paciente 1
	Paciente 2
	Paciente 3
	Robot

Figura 47 Diseño esquemático de la pantalla principal del sistema

Al presionar sobre las pestañas "Paciente" o "Robot", se despliegan las ventanas correspondientes a cada uno de ellos. La interfaz esquemática de la ventana para cada paciente se muestra en la Figura 48.

HOME	Paciente 1
	Emergencia: Paciente necesita atención
	Emergencia: Paciente caído
	Temperatura: Alta
	Temperatura: Normal
	Temperatura: Baja
	Ritmo Cardíaco: Críticamente Alto
	Ritmo Cardíaco: Normal
	Ritmo Cardíaco: Bajo
	Quitar alarmas

Figura 48 Diseño esquemático de las ventanas "Pacientes"

Finalmente, en la Figura 49 se muestra el diseño de la ventana de control del robot de video vigilancia para su manipulación remota. A través de botones es posible direccionar el movimiento del robot de videovigilancia mediante la interfaz.

Robot		
	Utilice los botones para controlar el robot	
	Adelante	<input type="checkbox"/>
	Reversa	<input type="checkbox"/>
	Derecha	<input type="checkbox"/>
	Izquierda	<input type="checkbox"/>
	Frenar	<input type="checkbox"/>

Figura 49 Diseño esquemático de la venta de control del Robot

3.3 Concepto Final

El sistema robótico de monitoreo de signos vitales para personas de edad avanzada está formado por tres subsistemas principales e interconectados. El primer subsistema corresponde a un Brazalete Inteligente cuya función es la de medir constantemente y en tiempo real parámetros de la salud como temperatura y ritmo cardíaco y emergencias para transmitirlos inalámbricamente. La temperatura es monitoreada a través de un sensor infrarrojo situado en la parte inferior de la pulsera. El ritmo cardíaco es medido por un sensor basado en un foto pletismógrafo, el cual emite luminosidad para captar la frecuencia con la que el oxígeno pasa por el torrente sanguíneo, se ubica a un lado del sensor de temperatura.

Se encuentra constituido por un sensor acelerómetro-giroscopio de 6 grados de libertad capaz de generar los datos de aceleración angular necesarios para interpretar una caída del paciente. El subsistema consta de un botón de emergencia, un sensor capacitivo diseñado y acondicionado para reconocer principalmente el contacto con la piel humana con la finalidad de no ser activado erróneamente.

Los datos adquiridos e interpretados por un algoritmo diseñado para el subsistema son transmitidos inalámbricamente. Se utilizará el protocolo de software libre X10 para transmisión por radio frecuencia. Mediante la radio frecuencia de 433MHz los datos son enviados en forma de mensajes a la central cada 0.5 segundos y su alcance esperado es de 10 a 15 metros.

Incluye en su interior una batería de 200mAh recargable a través de la conexión a la corriente eléctrica mediante un cable adaptador USB 2.0 "micro B". Un led en la superficie indica cuando el sistema ha sido encendido por la activación de un switch lateral mediante y mediante su luminosidad indicar aproximadamente el estado de la batería.

La estructura del Brazalete está formada por dos materiales principales: PLA y ninja flex. El plástico PLA permite formar una estructura a través de impresión 3D para contener a todos los componentes del subsistema. El plástico flexible "ninja

flex", manufacturado por la misma técnica permitirá obtener una estructura tipo correa flexible, ergonómica para el paciente. En la Figura 50 se muestra la simulación donde se aprecia la aproximación real del prototipo a implementar.



Figura 50 Concepto final del Brazalete Inteligente

El segundo subsistema corresponde al Robot de video vigilancia. El dispositivo corresponde a un robot móvil de movimiento diferencial pues consta de dos actuadores eléctricos y un punto de soporte para su desplazamiento. Está dotado de una cámara de video de alta definición de dos grados de libertad para orientación.

Entre sus principales funcionalidades se encuentran la posibilidad de control inalámbrico a través de un "Teach pendant" o control remoto (inalámbrico) que utiliza Radio frecuencia para su operación. El control remoto consta de un soporte para poder vincular un celular móvil en su estructura y facilitar la operación de la cámara de video vigilancia y del robot al mismo tiempo. Es un dispositivo compacto que consta de 4 botones y un joystick omnidireccional para el manejo del robot. Integra una batería recargable de 1250mAh para su operación en largos períodos de tiempo. En la Figura 51 se muestra la simulación en software CAD del control remoto. La estructura está diseñada para ser fabricada mediante corte láser en plástico acrílico.



Figura 51 Concepto final del control remoto del robot

Posee también un control inalámbrico a través de la interfaz de Openhab. Aprovechando las funcionalidades tanto de la interfaz como del periférico RFXcom, se logra implementar una interfaz de control de movimiento el cual puede ser visualizado desde cualquier dispositivo móvil.

El robot de videovigilancia está dotado de una batería tipo de polímero de litio (LiPo) de 1600mAh recargable para poder operar. Posee un switch de activación y un indicador led del estado de la batería donde mediante una luz verde indica la batería cargada y el cambio a color rojo indica la necesidad de ser recargada.

La estructura del robot está diseñada en dos materiales. Componentes en lámina de plástico acrílico de 3mm para ser manufacturados mediante corte láser conforman la plataforma o chasis del robot debido a su geometría biplano y la necesidad de alta resistencia para soportar el peso del robot. El segundo material corresponde al

plástico PLA que manufacturado en 3D permitirá obtener una compleja geometría de la estructura que contendrá a las partes del robot como la cámara y batería.

En la Figura 45 se muestra la representación del robot mediante la simulación en software CAD. El control remoto del Robot (Teach Pendant) se observa en la Figura 52. Dicho control consta de un soporte para celular el cual permite visualizar la trayectoria que sigue el robot y de mandos manuales para controlar su movimiento. Posee un sistema anti-choques formado por fines de carrera que interrumpen el movimiento de los motores a través del algoritmo de funcionamiento.



Figura 52 Concepto final del Robot de video vigilancia

El tercer subsistema corresponde a la Interfaz de Usuario. Es el software encargado de vincular los distintos subsistemas en uno solo cuyas funcionalidades independientes permitan realizar tareas sinérgicas en el monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada. La plataforma que se pretende utilizar corresponde a Openhab, una plataforma de automatización que entre sus funcionalidades permite la conexión con software y hardware libre.

Entre las funciones que cumple la plataforma se encuentra la de recibir los mensajes inalámbricos emitidos por el Brazalete Inteligente y decodificarlos mediante RFXcom un receptor/transmisor de señales de radiofrecuencia para software libre. Los mensajes codificados en protocolo X10 son interpretados por la plataforma a través del direccionamiento de variables y programación de la interfaz.

De manera inversa, para el subsistema correspondiente al Robot de video vigilancia, cumple la función de control remoto a través de órdenes inalámbricas programadas en la interfaz del sistema robótico.

El concepto final mostrado en la Figura 53 corresponde a una plataforma capaz de ser visualizada en plataformas de cualquier sistema operativo (Windows, Linux, iOS, Android) de los dispositivos conectados a la red. Consta de una pantalla principal donde se muestra a un "Centro Asistencial" formado por un determinado número de pacientes y el control remoto del robot. Al ingresar a las pestañas se observan los parámetros de monitoreo y las alertas que generan los pacientes producto de la medición de sus parámetros de la salud. De la misma manera permite visualizar el control del Robot.

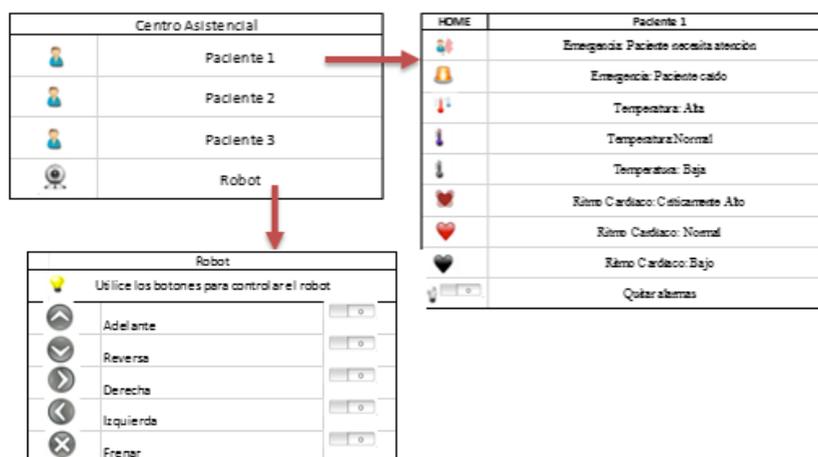


Figura 53 Concepto final de la Interfaz de Usuario

Como se ha mencionado la integración total del sistema corresponde a la interacción de los dispositivos con una Interfaz de Usuario central. El esquema de conexión del sistema robótico a implementarse se expone en la Figura 54. Se observa que se posee una central de monitoreo que mediante Internet se accede al servidor Web de Openhab. Cualquier dispositivo móvil conectado a la misma red es capaz de ingresar a la interfaz de monitoreo. El Brazalete Inteligente se conecta a la interfaz a través de la comunicación inalámbrica proporcionada por el RFXcom y la radio frecuencia 433 MHz para el envío de las alarmas del paciente. El robot es controlado bajo el mismo protocolo sea por la interfaz de usuario o por el Teach Pendant (Control Remoto).

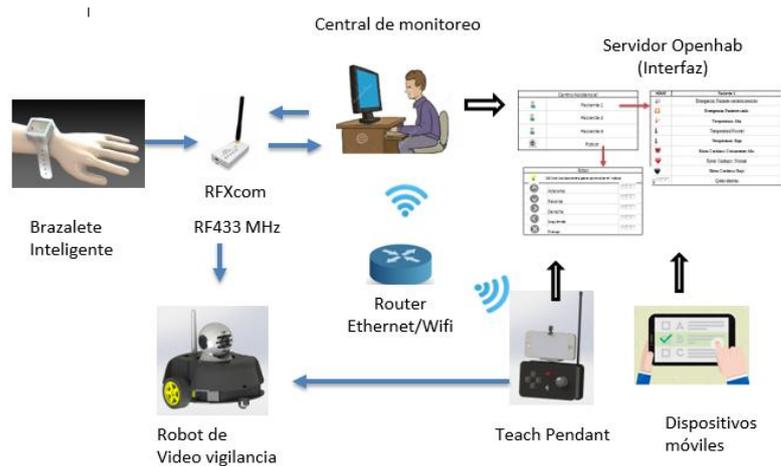


Figura 54 Esquema de conexión del sistema robótico

3.4 Resumen

Las necesidades de los usuarios fueron identificadas y transformadas en especificaciones técnicas mediante el análisis de la matriz QFD. Entre las especificaciones obtenidas se encontraron el de ser de bajo costo, la utilización de software y hardware libre, instrumentación compacta y no invasiva, así como la capacidad de ser un sistema que cuente con la capacidad de ser recargable. Para lograr alcanzar los hitos mencionados, el sistema robótico fue desglosado en tres subsistemas: Brazaletes inteligente, Robot de videovigilancia e Interfaz de usuario.

Con el fin de cumplir con los requerimientos planteados para cada subsistema, se realizó un análisis de diseño. Fueron contempladas alternativas de instrumentación y materiales que se ajusten a las necesidades donde constan los componentes electrónicos, materiales de construcción, dimensiones y costos. Se realizó la fundamentación matemática para el diseño de los circuitos y las placas electrónicas y selección de baterías. Se abordó la selección de actuadores a través del estudio mecánico de fuerzas y torques necesarios para lograr hacer funcionar al sistema.

Se propusieron los algoritmos de control para los distintos subsistemas. Se partió de secuencias de obtención de parámetros de la salud como son la medición continua de temperatura y ritmo cardíaco, así como la identificación de una señal de emergencia. Se propuso el algoritmo de transmisión inalámbrica de datos.

La Interfaz de usuario fue analizada según las necesidades de interoperabilidad de los subsistemas y la creación de un solo sistema robótico. Fueron propuestos los diseños finales de cada sistema y su integración mecatrónica individual para proponer el concepto final a implementar cuya aproximación fue realizada a través de simuladores de software, herramientas de diseño asistido por computador CAD/CAM/CAE y donde se expone el esquema de conexión de los subsistemas y componentes del sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales.

CAPÍTULO 4

Construcción e Implementación

El capítulo a continuación detalla la construcción de los componentes que forman parte de los subsistemas. Se expone la construcción e integración mecatrónica de los circuitos de control, estructuras mecánicas, algoritmos de programación. Se realiza una comparación entre los componentes diseñados y los obtenidos una vez fabricados y ensamblados. Adicionalmente se realiza la implementación y pruebas de funcionamiento tanto de la interconexión inalámbrica como del reconocimiento de las variables propuestas para cada subsistema del sistema robótico.

4.1 Brazaletes Inteligentes

El brazalete inteligente es un dispositivo formado por varios componentes de instrumentación. La construcción descrita en el Diagrama 2 parte del diseño CAD de las estructuras, se fabrica la estructura externa del dispositivo mediante la técnica de manufactura propuesta que corresponde a la impresión en 3D. Es establecimiento del circuito de control y la fabricación de una placa PCB lo más compacta posible donde son soldados los elementos. Finalmente se implementa un algoritmo de programación que integra todos los componentes y se procede a realizar las pruebas de funcionamiento.

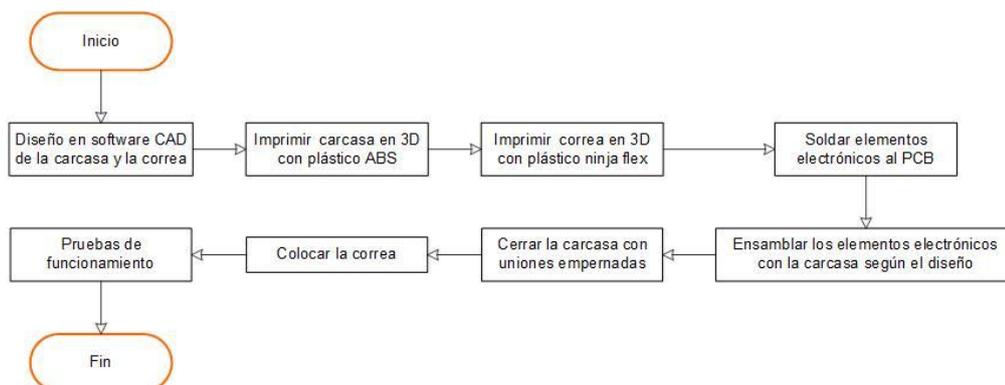


Diagrama 2 Proceso de manufactura del Subsistema 1

4.1.1 Circuito de control del brazalete

Para comprobar el funcionamiento del circuito diseñado en la Figura 55, se realiza un prototipo físico integral el cual permita conocer que el funcionamiento de los componentes es el adecuado.

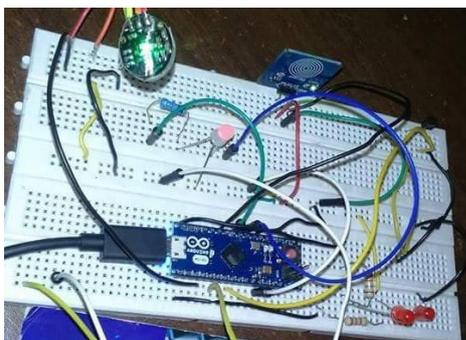


Figura 55 Prototipo de prueba del Brazalete Inteligente

Son probados los valores obtenidos a través de la calibración de la instrumentación. Comprobado el funcionamiento del circuito a través del prototipo, se realiza el diseño del PCB tomando en cuenta los cálculos de consumo de corriente y de ancho de pista.

La placa es construida y los componentes de instrumentación, comunicación y alimentación son integrados. En la Figura 56 se muestra la construcción de la placa y soldadura de los elementos en la Figura 57.

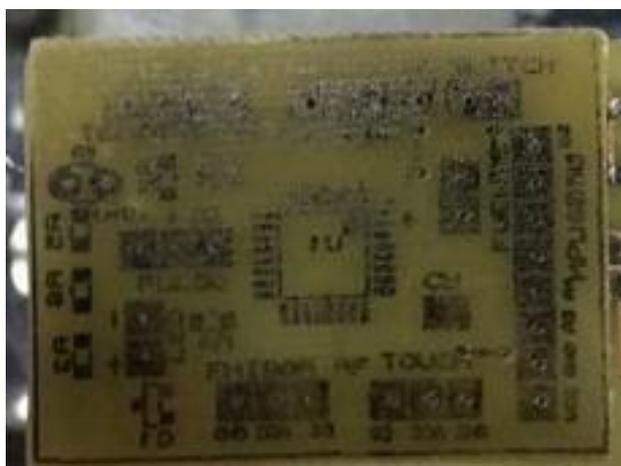


Figura 56 Construcción del PCB del Brazalete Inteligente

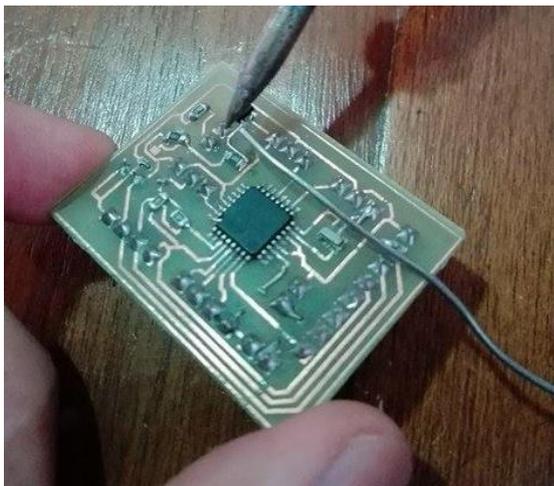


Figura 57 Soldadura de componentes del Brazaete Inteligente en el PCB

La placa con todos los elementos integrados en su superficie se muestra en la Figura 58.



Figura 58 Componentes del Brazaete Inteligente integrados en el PCB

4.1.2 Manufactura de la Estructura

La estructura es construida a partir del diseño asistido por computador mostrado. Es utilizada la impresión 3D y el material plástico PLA para su fabricación, la cual puede visualizarse en la Figura 59.



Figura 59 Manufactura del Brazaete Inteligente por impresión 3D

La correa ergonómica encargada de asegurar la estructura a la muñeca del paciente es fabricada con hilo flexible mediante impresión 3D a partir del modelo CAD como se observa en la Figura 60. Se muestra el resultado obtenido de la implementación de la técnica de manufactura mencionada.

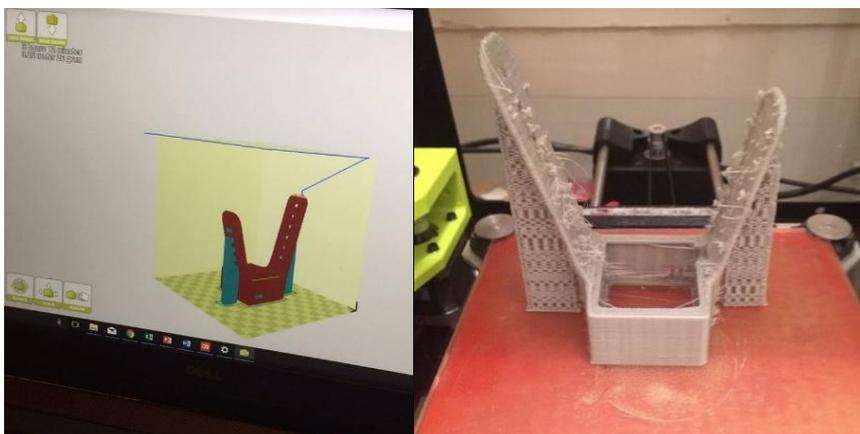


Figura 60 Manufactura de la correa ergonómica mediante impresión 3D

4.1.3 Ensamble final de los componentes

Los componentes fabricados se observan en la Figura 61. Posteriormente son ensamblados en la Figura 62 para formar en su totalidad al subsistema denominado Brazaete Inteligente cuyo resultado se muestra en la Figura 63.

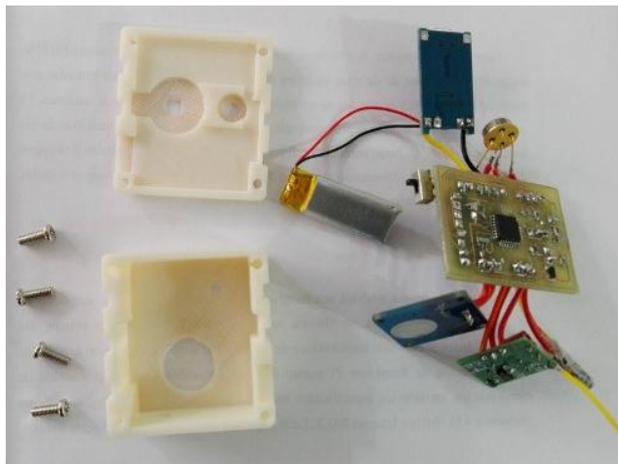


Figura 61 Componentes del Subsistema 1

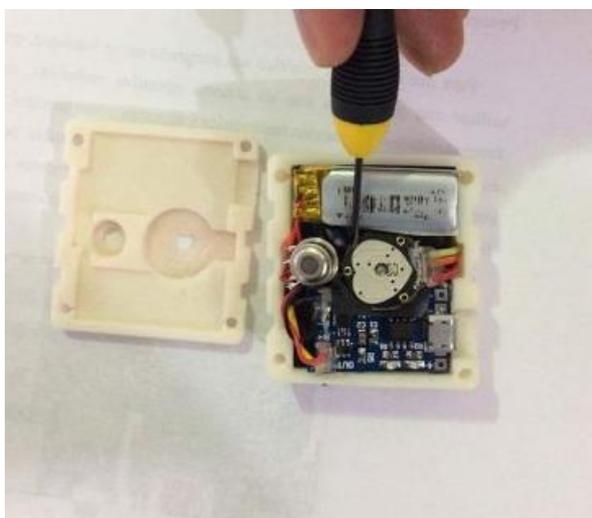


Figura 62 Ensamble del Brazaete Inteligente

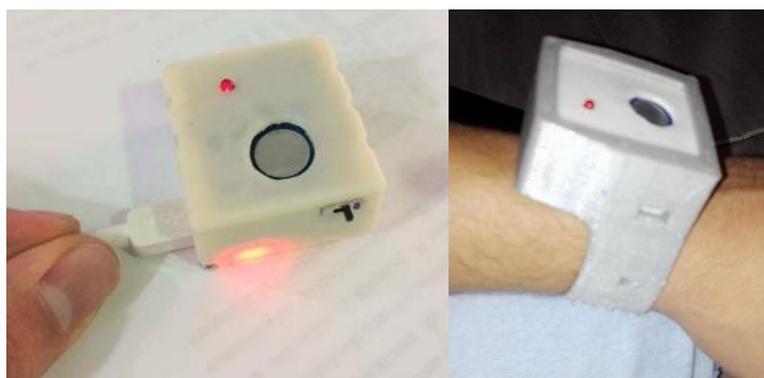


Figura 63 Resultado final de la construcción del Brazaete Inteligente

4.1.4 Algoritmo de funcionamiento

El algoritmo encargado de integrar los elementos funcionales con su propósito es destrozado en el Diagrama 3. Se muestra el principio de funcionamiento del

subsistema y los pasos que se realizan para la medición de variables, su interpretación y comunicación.

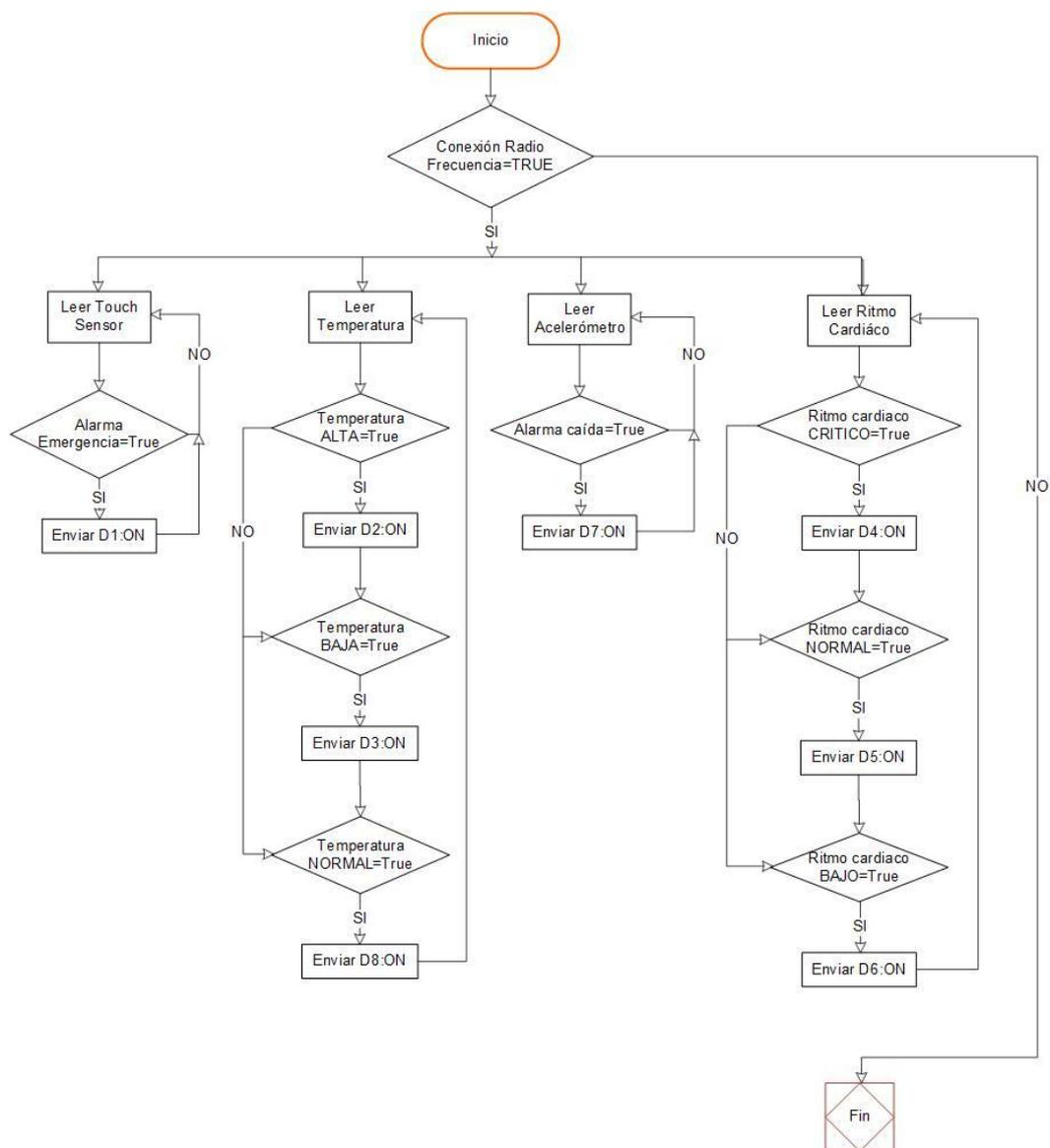


Diagrama 3 Algoritmo de funcionamiento del Brazaletes Inteligente

4.1.5 Pruebas y resultados de la implementación del Brazaletes Inteligente

4.1.5.1 Pruebas del funcionamiento de los sensores

Las pruebas de funcionamiento del sistema 1 “Brazaletes Inteligente” consisten en la experimentación y comparación de las mediciones de los sensores y la instrumentación. Se ponen a prueba los rangos utilizados en los sensores para la

calibración y alertas para su posterior análisis. Además, se experimenta el funcionamiento del Brazaete al ser utilizado con personas de la tercera edad.

4.1.5.1.1 Pruebas de medición de temperatura

a) Exactitud

La primera prueba consiste en comprobar la exactitud de los datos obtenidos producto de la medición de temperatura. Se realiza la comparación con un dispositivo utilizado tanto en el campo médico como en el campo doméstico, el cual es un termómetro de mercurio. Realizamos la prueba constatando la temperatura de líquidos a diferente temperatura para comprobar la exactitud del Brazaete Inteligente. En la Tabla 87 se muestran los resultados del error porcentual obtenido para cada dato obtenido y el error promedio que corresponde al 0.08%.

Tabla 87

Termómetro de mercurio y Brazaete Inteligente en prueba de exactitud

Temperatura (°C)		
Termómetro de mercurio	Brazaete Inteligente	Error (%)
22.1	22.06	0.18
24	24.04	0.17
26.1	26.08	0.08
28	28.02	0.07
30.1	30.1	0.00
32.1	32.06	0.12
34	34.02	0.06
36.1	36.08	0.06
38.1	38.1	0.00
40	40.04	0.10
Error Promedio (%)		0.08

b) Precisión

La siguiente prueba consiste en determinar la precisión del Brazaete Inteligente. Se procede a medir la temperatura de un cuerpo que mantenga esta variable constante. El sujeto de prueba es una persona de la tercera edad, la temperatura

corporal en condiciones normales no altera su valor a menos que exista algún problema de salud. Realizamos la comparación con ayuda de un termómetro de mercurio para poder realizar su análisis. Se muestran los datos obtenidos por la experimentación. En la Tabla 88 se muestran los resultados del error porcentual de cada dato y el error porcentual promedio determinada de 0.11%.

Tabla 88

Prueba de precisión de los dispositivos

Temperatura (°C)		
Termómetro de mercurio	Brazalete Inteligente	Error (%)
36.5	36.52	0.05
36.5	36.5	0.00
36.5	36.52	0.05
36.4	36.48	0.22
36.5	36.5	0.00
36.5	36.5	0.00
36.7	36.54	0.44
36.6	36.52	0.22
36.5	36.5	0.00
36.6	36.54	0.16
Error Promedio (%)		0.11

c) Rápidez de respuesta

La rapidez de respuesta consiste en la capacidad que tiene el dispositivo en determinar el valor de la temperatura con respecto al tiempo. Para esto, realizamos la medición de una superficie cuya temperatura es relativamente baja, posteriormente exponerlo a una temperatura mucho superior. De esta manera determinamos la velocidad con la que el sensor es capaz de medir las variaciones de temperatura. En la Tabla 89 se muestra los valores de temperatura obtenidos en función del tiempo transcurrido.

Tabla 89

Datos de temperatura-tiempo para prueba de rapidez de respuesta

Tiempo (s)	Temperatura (°C).
0	24.52 (T. ambiente)
1	24.52
2	25.56
3	26.48
4	27.50
5	28.52
6	29.40
7	30.54
8	31.48
9	32.46
10	33.52
12	34.42
13	35.56
14	36.48
15	36.48 (T. corporal)

4.1.5.1.2 Resultados de medición de temperatura

Los resultados consisten en la comparación de las mediciones y la determinación del error de cada valor obtenido. También se obtiene el error promedio de cada experimentación realizada mediante la aplicación de la ecuación:

$$\text{Error \%} = \frac{V.\text{medido} - V.\text{real}}{V.\text{medido}} \times 100$$

a) Exactitud

En la Figura 64 se muestra el comportamiento de los datos obtenidos por la

medición de temperatura. Se obtiene el error del Brazalete inteligente en comparación al termómetro de mercurio. Es necesario tomar en cuenta que el sensor de temperatura infrarrojo toma la medida de la superficie del objeto y que acorde con la hoja técnica su sensibilidad es de $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, el termómetro de mercurio tiene sensibilidad de 0.5°C .

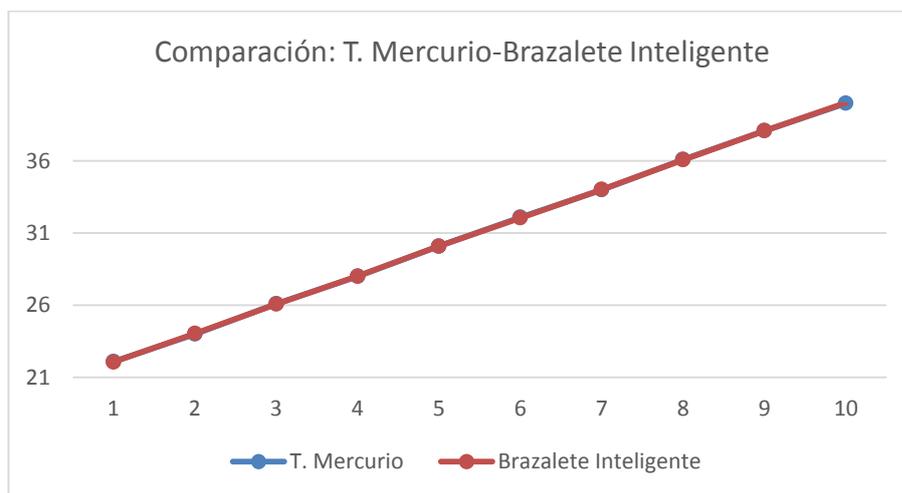


Figura 64 Termómetro de mercurio y el Brazalete Inteligente

b) Precisión

En la Figura 65 se muestra la curva obtenida por la comparación de los datos obtenidos por el Brazalete Inteligente y los datos de un termómetro de mercurio. De esta manera se puede determinar la precisión del dispositivo al obtener el valor de una superficie cuyo valor es relativamente constante como es el caso de la temperatura corporal.

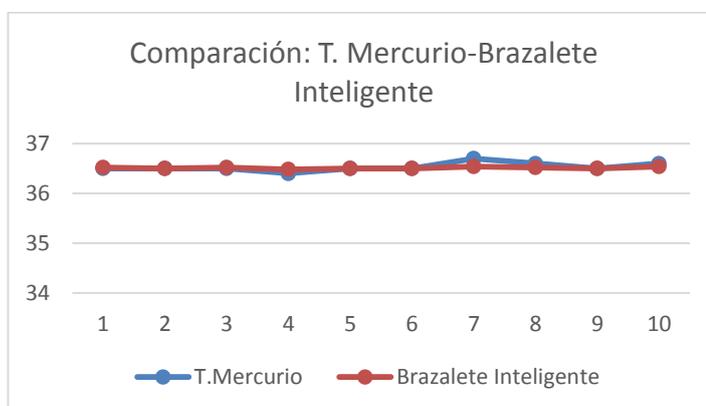


Figura 65 Termómetro de mercurio y el Brazalete Inteligente

c) Rápidez de respuesta

En la Figura 66 se muestra la curva obtenida por la variación de temperatura con respecto al tiempo. A través de ella se puede determinar la rapidez de respuesta en la medición de temperatura con el Brazaete Inteligente.

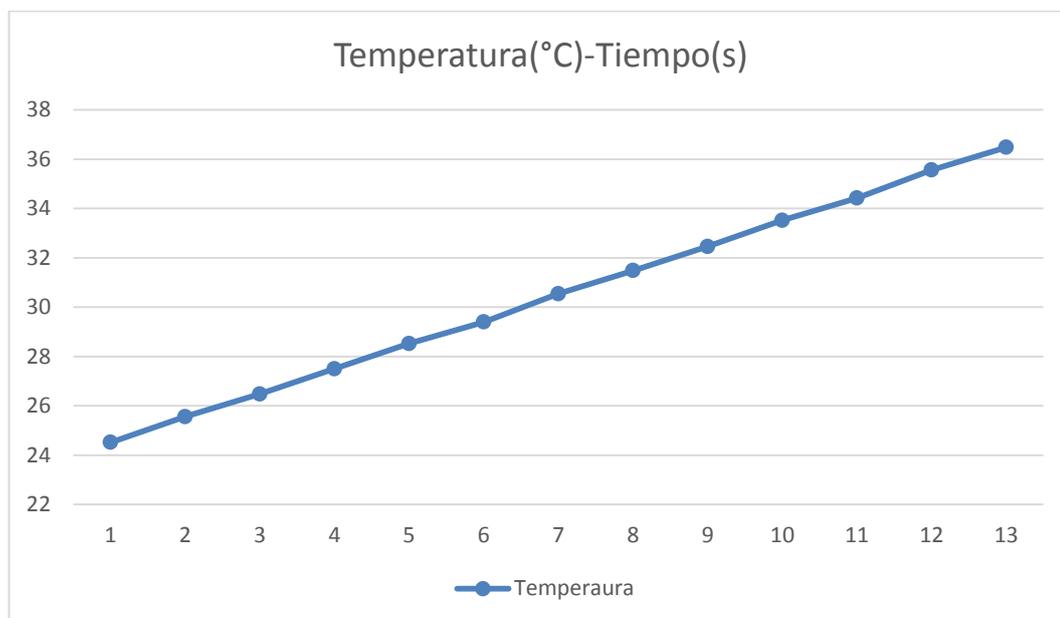


Figura 66 Medición temperatura en el Brazaete Inteligente

En la Tabla 90 se muestran los resultados del cálculo de la velocidad puntual de cada dato obtenido en un instante de tiempo. Se determina finalmente que la rapidez de respuesta promedio en la medición de temperatura es de $0.96\text{ }^{\circ}\text{C/s}$.

Tabla 90 Rápidez de respuesta de medición de temperatura

Tiempo (s)	Temperatura (°C).	Velocidad (°C/s)
0	24.52 (T. ambiente)	
1	24.52	-
2	25.56	1.04
3	26.48	0.92
4	27.5	1.02
5	28.52	1.02
6	29.4	0.88
7	30.54	1.14
8	31.48	0.94
9	32.46	0.98
10	33.52	1.06

12	34.42	0.45
13	35.56	1.14
14	36.48	0.92
15	36.48 (T. corporal) -	
Velocidad promedio		0.96

4.1.5.1.3 Pruebas y resultados de medición de ritmo cardíaco

Las pruebas de medición de ritmo cardíaco consisten en la obtención de sus valores mediante el Brazaletes Inteligente y un dispositivo comercial. Se realizan una serie de mediciones con el fin de comparar sus resultados. En la Figura 67 se muestra la experimentación propuesta.



Figura 67 Medición del ritmo cardíaco

En la Tabla 91 se muestran los valores obtenidos producto de la medición del ritmo cardíaco con ambos dispositivos. Se exponen los resultados de distintas personas en distintos escenarios con el fin de contrastar y determinar su veracidad. Se obtiene el error porcentual de cada valor obtenido y se obtiene el error promedio de la medición que corresponde a 3.72% como se muestra en la Tabla 91.

Tabla 91

Dispositivo comercial y el Brazaletes Inteligente

Ritmo cardíaco (BPM)		
OMRON HEM-742INT	Brazaletes Inteligente	Error (%)
0	0	0.00
79	85	7.06
69	74	6.76
65	68	4.41
110	107	2.80
118	122	3.28
85	88	3.41
64	67	4.48
106	108	1.85
62	64	3.13
Error Promedio (%)		3.72

4.1.5.1.4 Pruebas de detección de caídas

a) Calibración de movimientos

La detección de caídas parte de un proceso de calibración del sistema. Se identifican las actividades que realizan los pacientes con mayor frecuencia. En la Tabla se muestran las actividades físicas que se realizan durante una jornada normal. Se muestran también los tipos de caídas donde son consideradas las caídas frontales y las caídas hacia atrás. No son consideradas las caídas laterales puesto que finalmente el paciente termina en posición frontal o hacia atrás. Son analizadas las actividades: Reposo, Sentarse-levantarse, Acostarse-levantarse, Mover las manos, Caminar, Vestirse-Desvestirse, Caída Frontal y Caída hacia atrás

Se analizan los datos obtenidos por la repetición constante de las actividades antes mencionadas. Las formas de onda producto de la variación de la aceleración angular son analizadas y se determinan sus rangos de acción. En la Figura 68 se observa la forma de la curva obtenida cuando el paciente se encuentra en reposo. La Figura muestra la relación aceleración angular ($\frac{rad}{s^2}$) en el tiempo (s). El código de

color las curvas es el mostrado en la Tabla 92.

Tabla 92

Código de color de las curvas de aceleración angular

Aceleración angular	Color
Eje X	Azul
Eje Y	Rojo
Eje Z	Verde

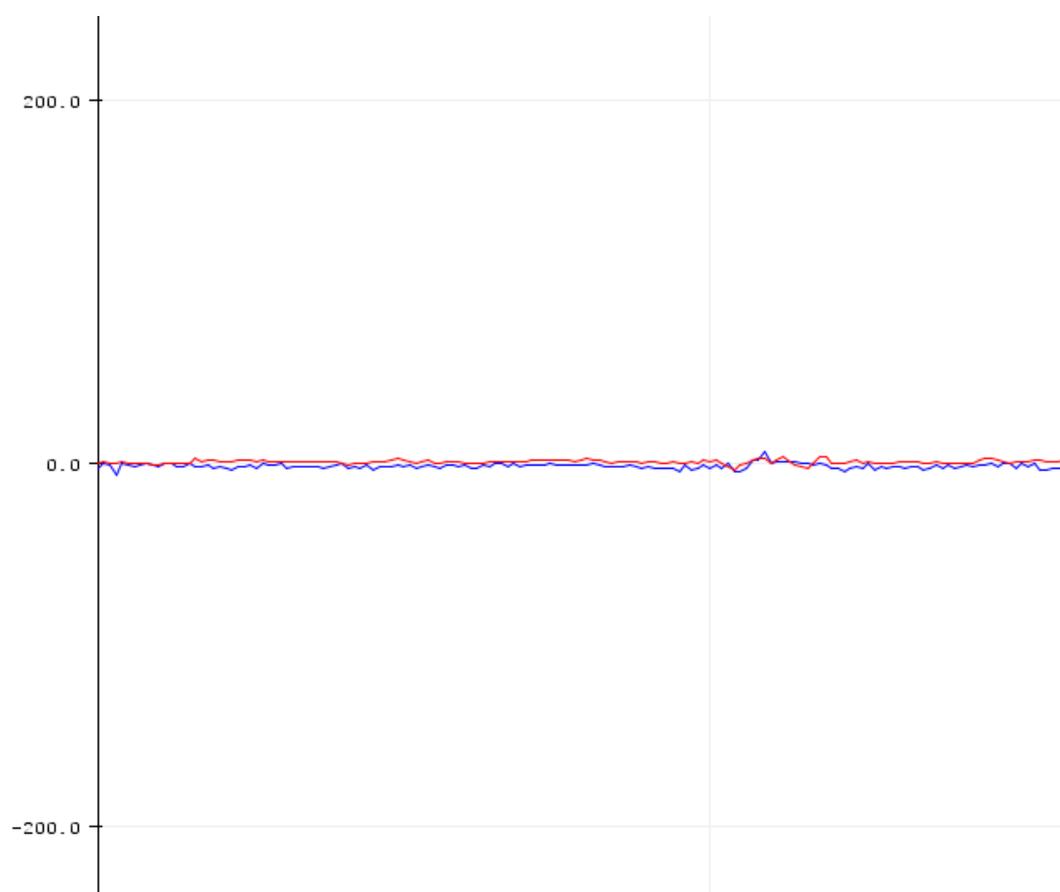


Figura 68 Inactividad del paciente [$\frac{rad}{s^2}$, s]

El siguiente patrón analizado corresponde a la acción de levantarse de una silla. La Figura 69 muestra el comportamiento de la aceleración angular con respecto al tiempo al momento de realizar la acción. Para mejor comprensión, cada acción se encuentra dividida y se identifica cada movimiento.

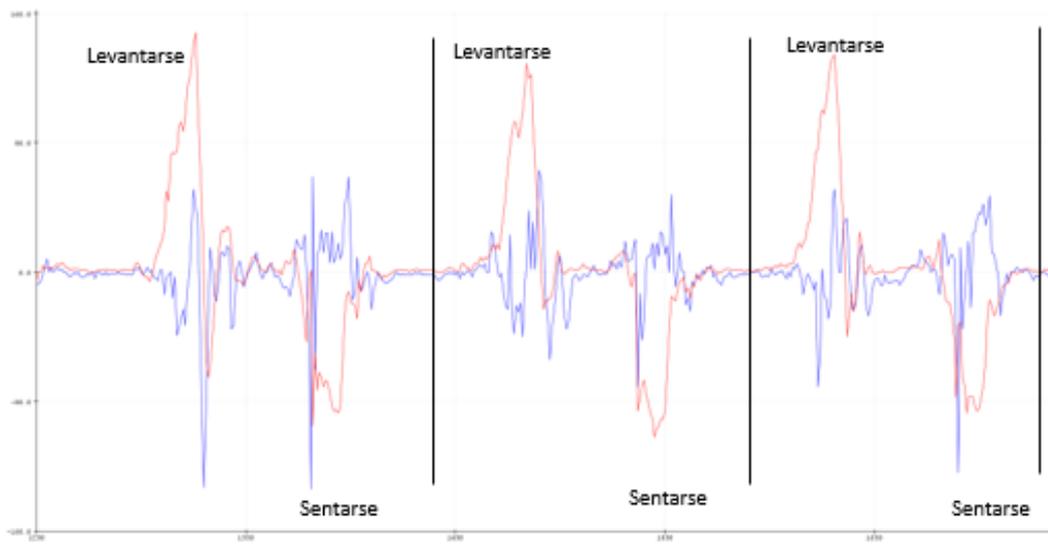


Figura 69 Variación de la aceleración al “Sentarse-levantarse” $\left[\frac{rad}{s^2}, s\right]$

Se analiza la acción correspondiente a “Acostarse-levantarse”. La Figura 70 muestra el comportamiento de la aceleración angular con respecto al tiempo al momento de realizar la acción. El patrón es dividido de acuerdo con cada movimiento realizado.

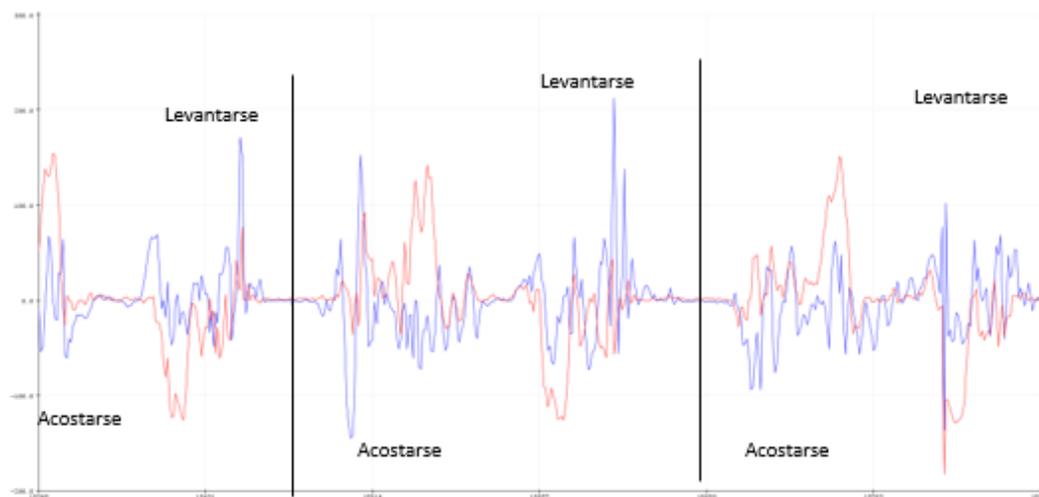


Figura 70 Variación de la aceleración al “Acostarse-levantarse” $\left[\frac{rad}{s^2}, s\right]$

La acción de mover las manos continuamente es replicada para obtener el patrón de la curva y los datos. En la Figura 71 se muestra el resultado de la acción “Mover las manos”. El patrón es analizado para identificar las acciones realizadas.

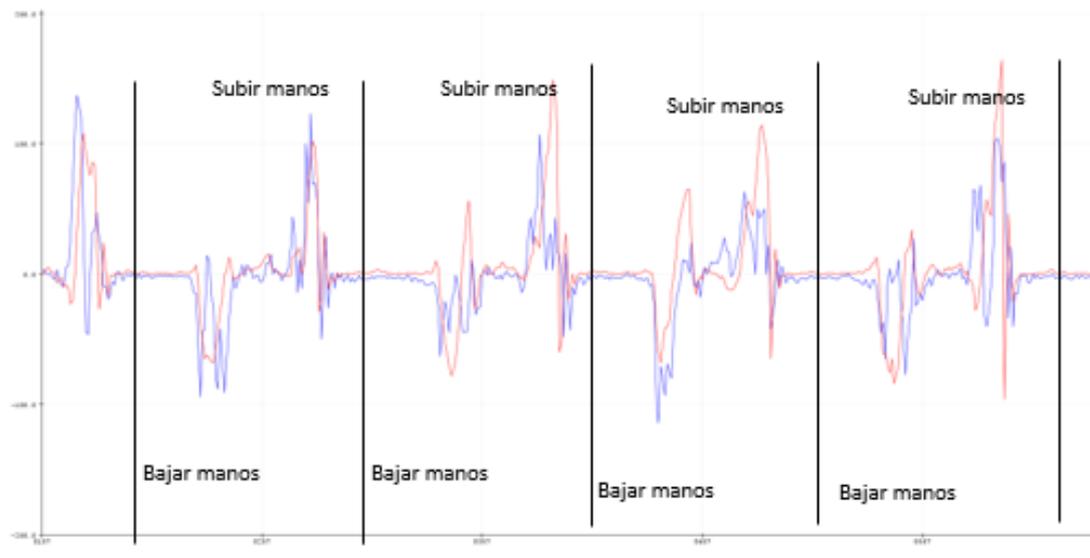


Figura 71 Variación de la aceleración al “Mover las manos” $[\frac{rad}{s^2}, s]$

Para obtener el patrón de la curva producido por la variación de la aceleración angular, se realiza varias veces la acción de vestirse y desvestirse. En la Figura 72 se muestra el comportamiento de la curva obtenido y el patrón del movimiento.

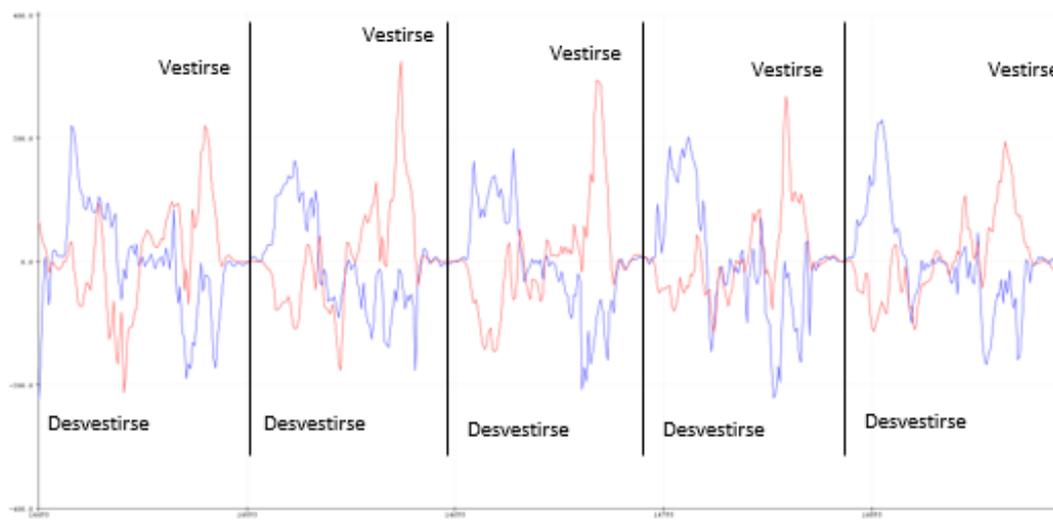


Figura 72 Variación de la aceleración al “Vestirse-Desvestirse” $[\frac{rad}{s^2}, s]$

La experimentación de caminar 5 metros es realizada con el fin de determinar los valores y el comportamiento de la curva. En la Figura 73 se muestra el patrón obtenido por cada paso dado con el fin de establecer los rangos de acción.

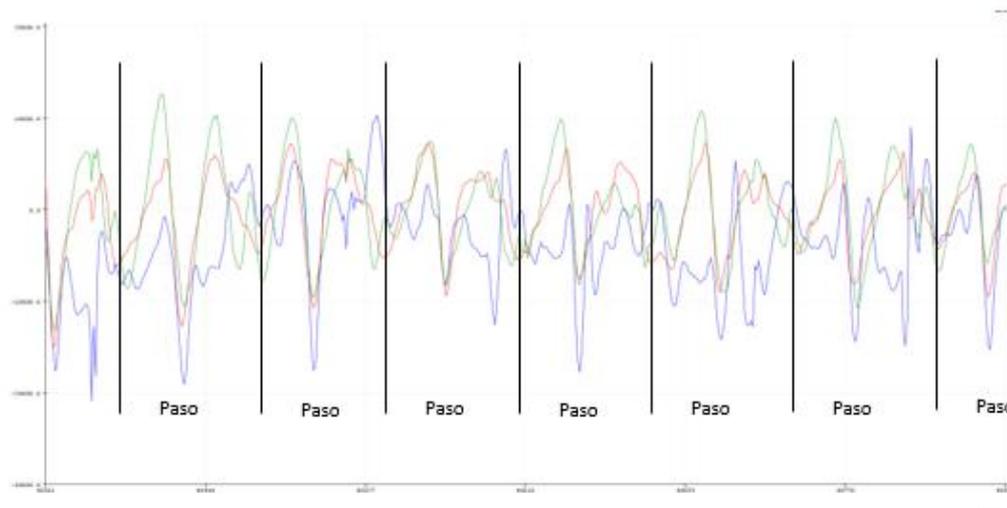


Figura 73 Variación de la aceleración al “Caminar” $[\frac{rad}{s^2}, s]$

Se realiza una simulación de caída frontal con el fin de establecer los valores y el comportamiento de la curva de aceleración angular con respecto al tiempo. En la Figura 74 se observa que el patrón de “Caída frontal” presenta siempre un patrón de la curva cuando se produce la caída libre y otra señal intensa al momento del impacto.

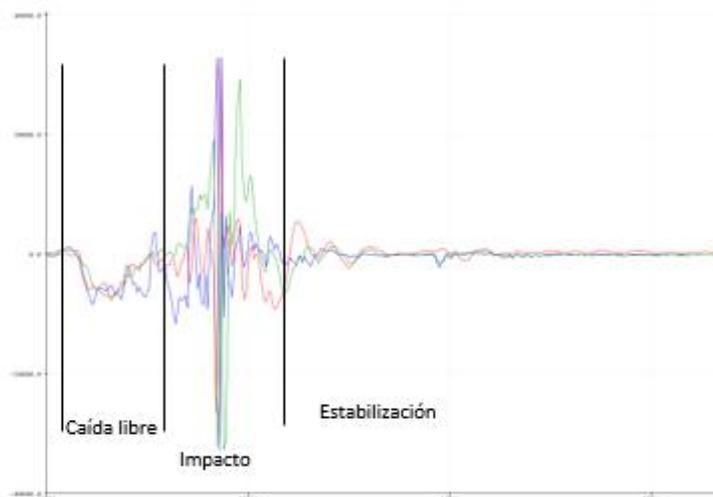


Figura 74 Variación de la aceleración en una “Caída Frontal” $[\frac{rad}{s^2}, s]$

De la misma manera, en la acción de “Caída hacia atrás” se observa que la aceleración presenta siempre un comportamiento característico del cuerpo en caída libre y posteriormente un incremento de sus valores debido al impacto. En la Figura 75 se observa el comportamiento de aceleración angular descrito en los eventos.

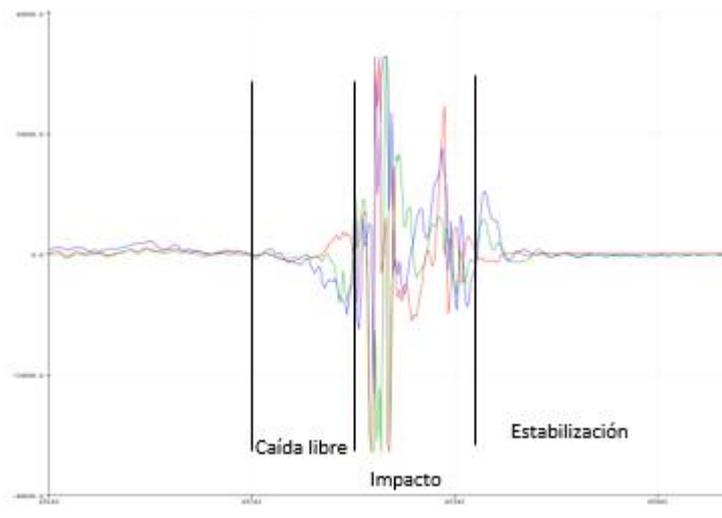


Figura 75 Variación de la aceleración en la “Caída hacia atrás” [$\frac{rad}{s^2}$, s]

b) Detección de caídas

Una vez calibrado el sensor se diseña el algoritmo se pone a prueba su funcionamiento. La detección de caídas fue realizada con el brazalete inteligente considerando dos alternativas. La primera consiste en detectar únicamente las caídas y la segunda detectar caídas con todos los parámetros propuestos para el brazalete inteligente. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 93.

Tabla 93

Identificación de caídas por el Brazalete inteligente

Brazalete Inteligente		
Variable	Acertados	Fallidos
Únicamente detección de caídas	19	1
Detección de caídas con todos los parámetros de la salud	7	13

El algoritmo de detección de caídas una vez verificado su funcionamiento es el mostrado en el Diagrama 4. Se muestran los rangos de acción y el modo de operación.

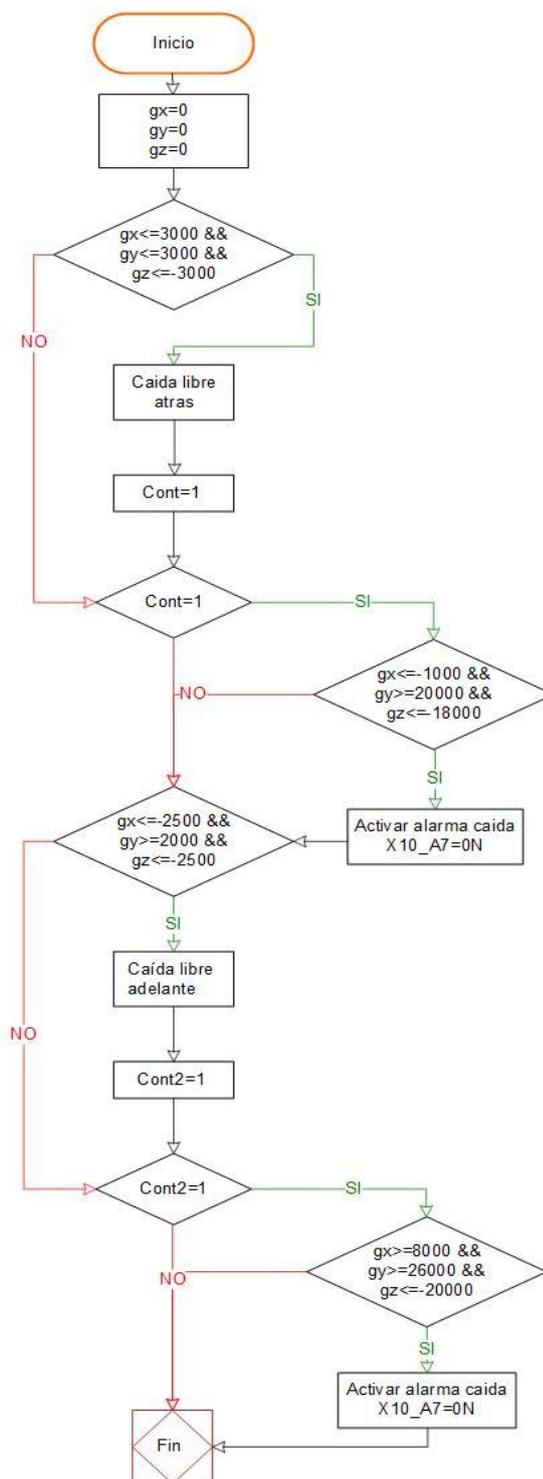


Diagrama 4 Algoritmo para detección de caídas

4.1.5.1.5 Resultados de detección de caídas

Después de la calibración y prueba del algoritmo de detección de caídas, se analizan los resultados obtenidos. En la Tabla 94 se muestra el número de aciertos y detecciones fallidas de caídas tanto frontales como hacia atrás. En el primer caso al

limitar al Brazalete Inteligente únicamente la detección de caídas, se obtuvo un error porcentual del 5%. En cambio, la detección de caídas con el resto de parámetros de la salud obtuvo un error porcentual del 65%.

Tabla 94

Error porcentual de caídas por el Brazalete inteligente

Brazalete Inteligente			
Variable	Acertados	Fallidos	Error (%)
Únicamente detección de caídas	19	1	5
Detección de caídas con todos los parámetros de la salud	7	13	65

4.1.5.1.6 Pruebas y resultados de ergonomía

La ergonomía del Brazalete Inteligente es puesta a prueba mediante el contacto directo con personas parte de la población de estudio. Se hizo un acercamiento del prototipo y se propusieron preguntas para determinar si el dispositivo cumple con el propósito de ergonomía y comodidad para el paciente. En la Tabla 95 se muestran las preguntas aplicadas y las respuestas obtenidas por un determinado número de personas.

Tabla 95

Resultados de la prueba de ergonomía del Brazalete Inteligente

Ergonomía del Brazalete Inteligente			
Preguntas	Respuestas (No. Personas)		Aceptación (%)
	Si	No	
¿El dispositivo es cómodo al usar?	9	1	90
¿El dispositivo es fácil de colocar?	8	2	80
¿El dispositivo es pesado y molesto?	1	9	90
¿Estaría dispuesto a utilizar el dispositivo?	9	1	90

Pruebas y resultados de autonomía

La prueba de autonomía consiste en mantener encendido el dispositivo hasta que deje de funcionar por haberse agotado la batería. En la Tabla 96 se observan los resultados obtenidos.

Tabla 96

Resultados de la prueba de ergonomía del Brazalete Inteligente

Subsistema 1	
Dispositivo	Horas continuas
Brazalete Inteligente	15 horas

4.2 Robot de Video Vigilancia

El robot de video vigilancia está formado por la integración mecatrónica de sus componentes detallado en el Diagrama 5. Parte del diseño mediante herramientas CAD y su manufactura a través de técnicas como la impresión 3D y el corte láser dependiendo del tipo de geometría de la estructura. El diseño del circuito de control y su implementación en PCB dependen de las pruebas iniciales de funcionamiento del circuito y de los cálculos realizados para su desarrollo tanto del robot de video vigilancia.

Posteriormente se analiza en el Diagrama 6 la manufactura del control remoto. Finalmente, el sistema es ensamblado integrando tanto partes mecánicas como electrónicas para ser puesto a prueba siguiendo el lineamiento de las funcionalidades especificadas.

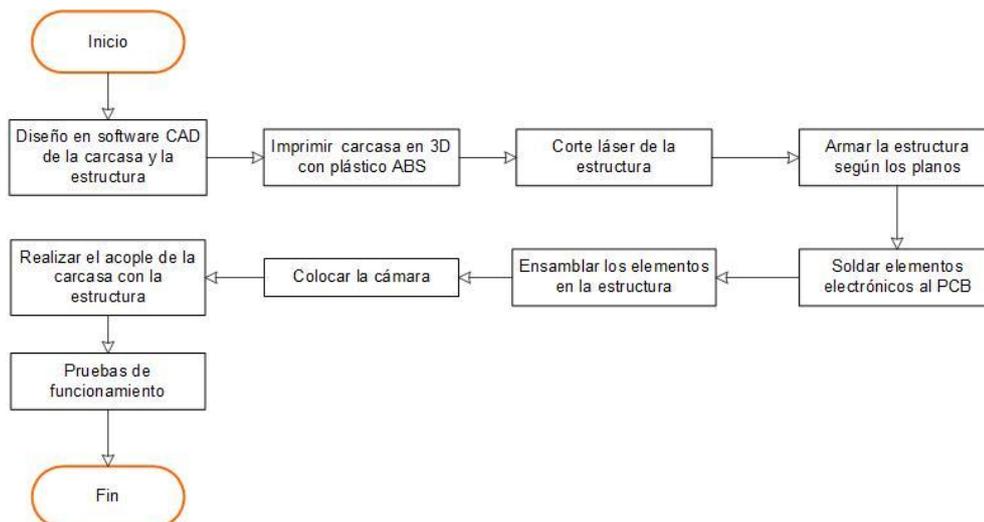


Diagrama 5 Proceso de manufactura del Robot de video vigilancia

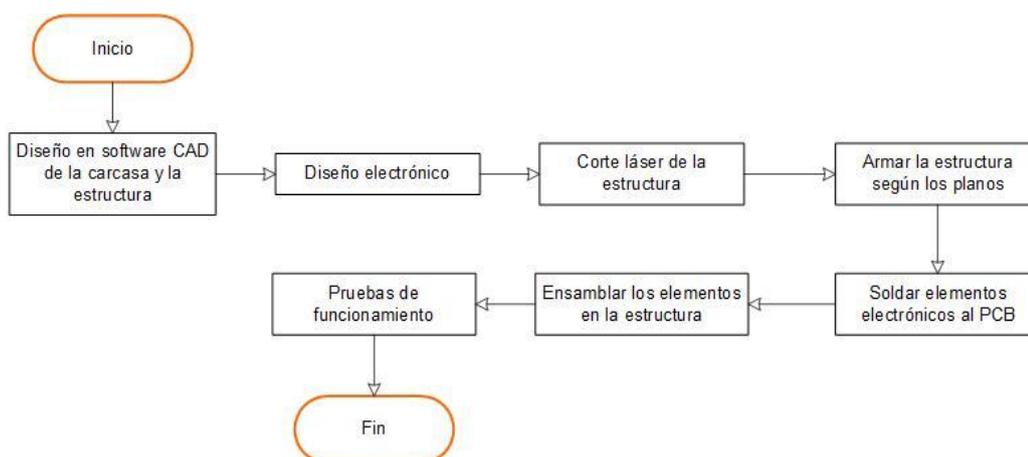


Diagrama 6 Proceso de manufactura del Control remoto

4.2.1 Circuitos del control

Para comprobar el funcionamiento del circuito de control del robot de videovigilancia se realizan pruebas mediante la implementación de un prototipo físico como se muestra en la Figura 76. Una vez obtenidos los resultados deseados se procede a la construcción del PCB.



Figura 76 Prueba de funcionamiento del circuito del Robot de Video vigilancia

Con los parámetros obtenidos, se construye la placa PCB y las pistas de la misma como se muestra en la Figura 77. Posteriormente los componentes son integrados y se comprueba su funcionamiento.

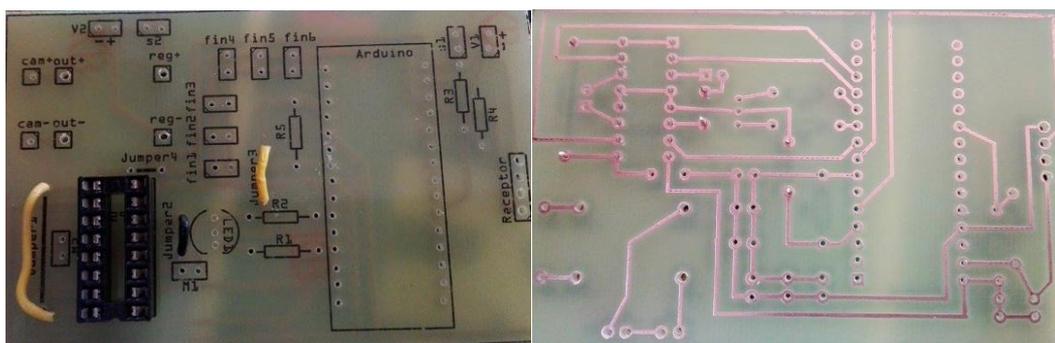


Figura 77 Construcción del PCB del robot de video vigilancia

Del mismo modo se comprueba el funcionamiento del control remoto del robot a través de un prototipo físico. Se prueba el envío de datos y el funcionamiento de los botones digitales y analógicos. En la Figura 78 se muestra el prototipo realizado para comprobar el funcionamiento. Una vez obtenidos los resultados deseados se procede a la construcción del PCB.

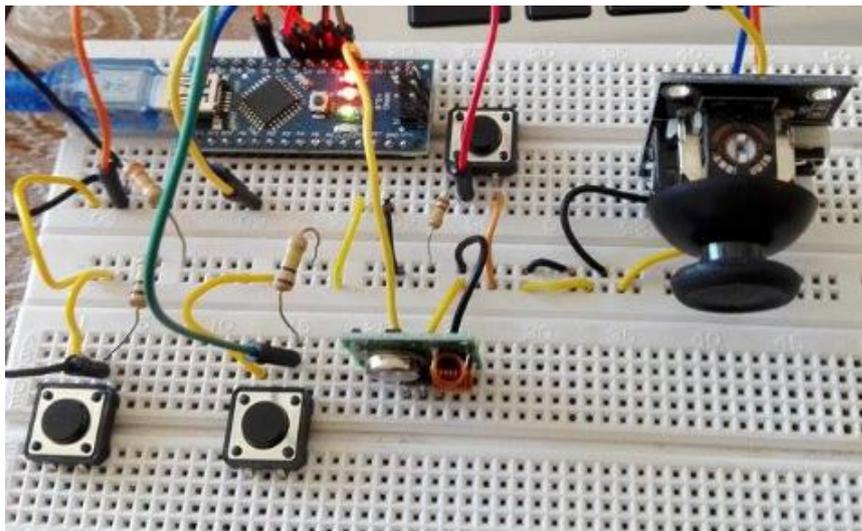


Figura 78 Prueba de funcionamiento del circuito Control Remoto

Aplicando los parámetros de diseño, los resultados de anchos de pista y los componentes se procede a la fabricación del PCB. En la Figura 79 se observa la placa construida y posteriormente en la Figura 80 los componentes integrados.

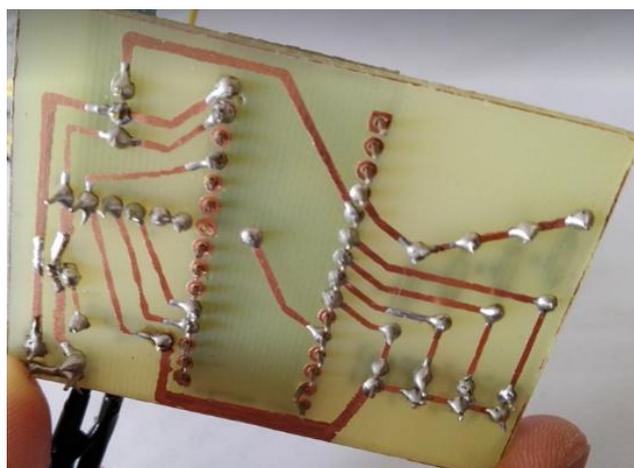


Figura 79 Construcción del PCB del Control Remoto

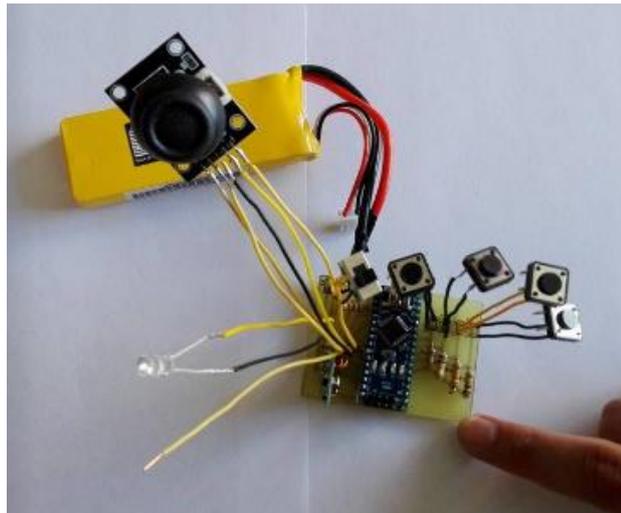


Figura 80 Integración de componentes en el PCB del control remoto

4.2.2 Manufactura de la estructura

Las estructuras del robot y del control remoto son construidas a través de técnicas de manufactura como el corte láser y la impresión 3D. Mediante la utilización del corte láser, se obtienen geometrías en 2 dimensiones que forman parte de la estructura del robot, La manufactura en corte láser se muestra en la Figura 81.



Figura 81 Manufactura de la estructura por impresión corte láser

Los componentes obtenidos por la utilización de la técnica de manufactura de corte láser se muestran en las Figuras 82 y 83. En la Figura 82 se muestran las piezas bidimensionales parte de la plataforma del robot de video vigilancia. En la Figura 83 se observan las piezas que forman parte de la estructura del control remoto.

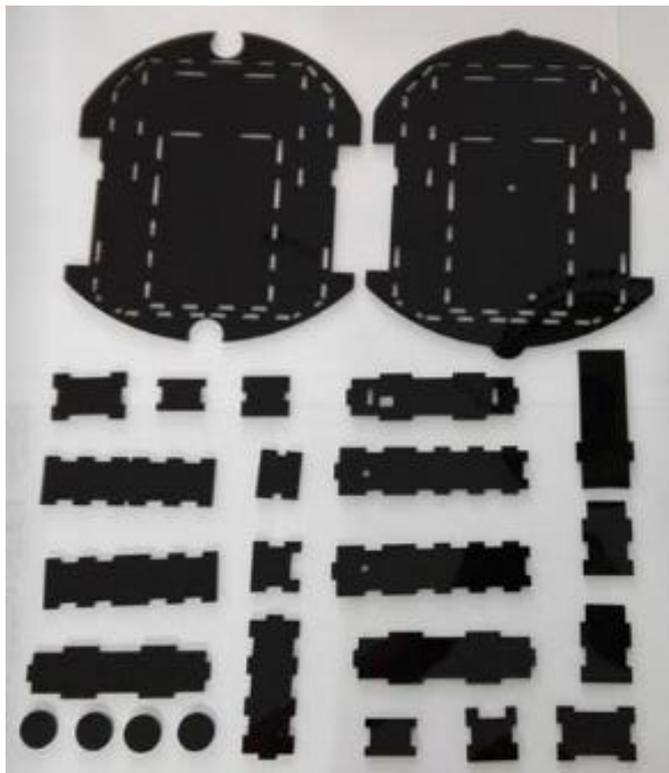


Figura 82 Componentes bidimensionales de la estructura del Robot

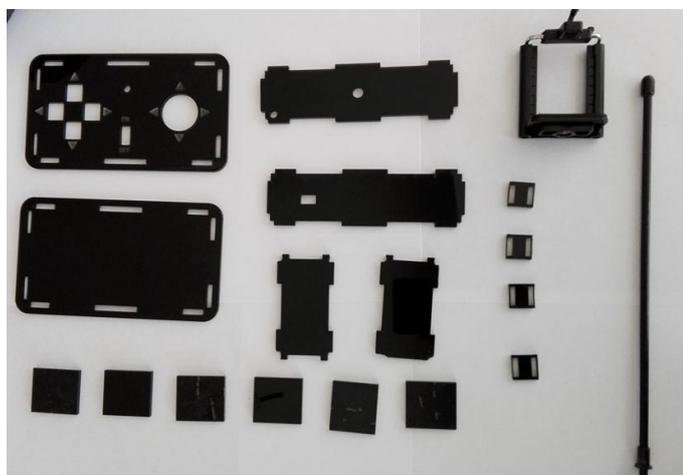


Figura 83 Componentes bidimensionales de la estructura del Control Remoto

La estructura superior del robot encargada de proteger a todos los componentes del Subsistema es diseñada en CAD. Debido a la complejidad de su geometría es impresa en 3D. El resultado obtenido mediante la utilización de material plástico PLA de color negro se muestra en la Figura 84.

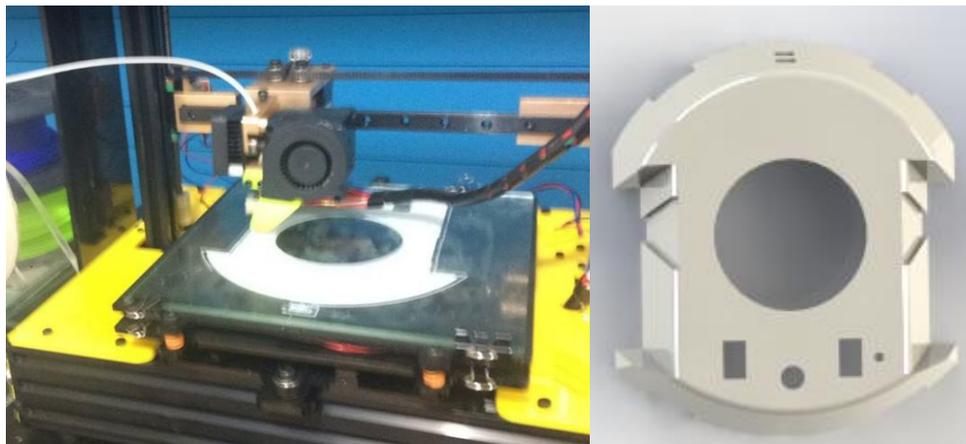


Figura 84 Manufactura de la estructura del robot mediante impresión 3D

4.2.3 Ensamble final de los componentes

Una vez obtenidos los componentes del robot de videovigilancia mostrados en la Figura 82,83 y 84 obtenidos por las diversas técnicas de manufactura son ensamblados. En la Figura 85 se observa la acomodación del circuito en la estructura y el resto de componentes que conforman el robot.

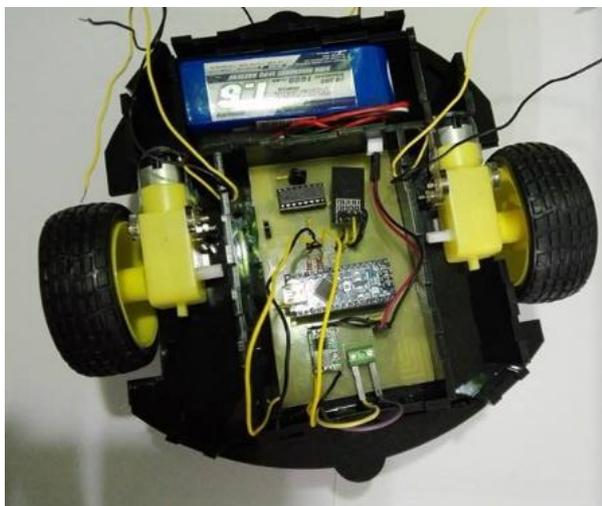


Figura 85 Ensamble del robot de video vigilancia

El resultado final obtenido por el ensamble e integración de todos los componentes se muestra en la Figura 86. Se muestra el robot construido con su respectivo módulo de recarga de baterías.



Figura 86 Resultado final de la construcción del robot de video vigilancia

Con los componentes del Control Remoto mostrados en la Figura 77, el circuito de control con los elementos integrados a la placa se procede a su ensamble. En la Figura 87 se muestra el acomodamiento de los componentes como botones, antena y soporte de celular.

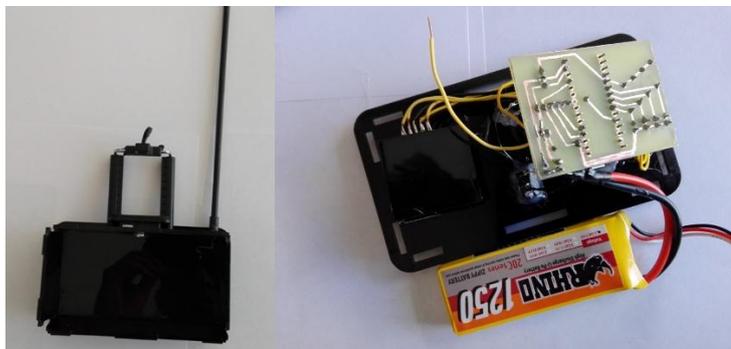


Figura 87 Ensamble del Control Remoto

En la Figura 88 se muestra el resultado Final del ensamble del control remoto. Posteriormente se prueba su integración con un dispositivo móvil como se muestra en la Figura 89.



Figura 88 Resultado final de la construcción del control remoto



Figura 89 Control remoto con la integración de un dispositivo móvil

4.2.4 Algoritmo de funcionamiento

El algoritmo implementado en el robot cumple las funcionalidades de integrar la comunicación inalámbrica con el sistema eléctrico de activación de actuadores. Permite mantener al robot en dos estados, sea apagado o encendido e indicar el nivel de batería a través de un led indicador. Además, rige el funcionamiento de la cámara para la transmisión en vivo del video de vigilancia. En el Diagrama 7 se muestra el algoritmo de funcionamiento implementado en el Subsistema 2 integrado.

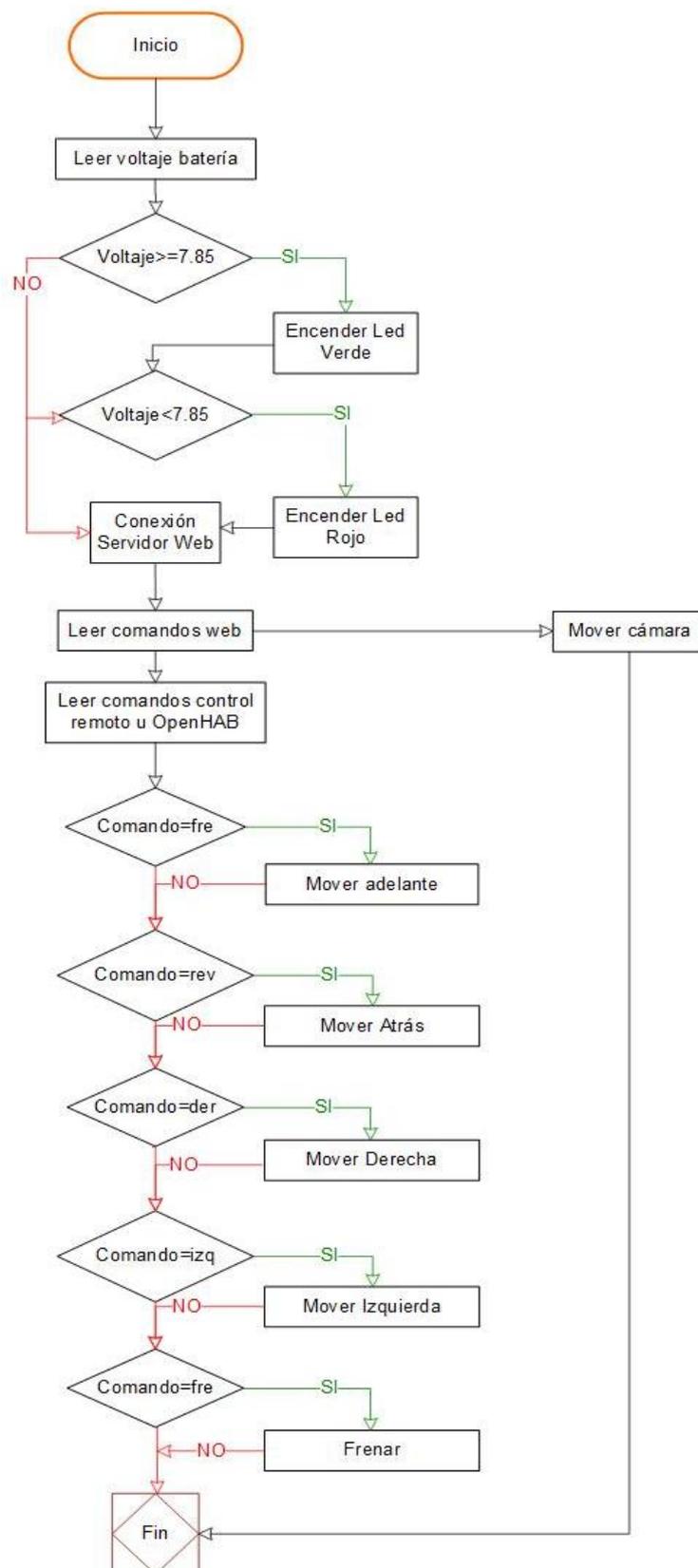


Diagrama 7 Algoritmo de funcionamiento del Subsistema 2

4.2.5 Pruebas de la implementación del Robot de video vigilancia

4.2.5.1 Pruebas y resultados de funcionamiento y comunicación

El funcionamiento del Subsistema 2 compuesto por el robot de video vigilancia y el control remoto inalámbrico consiste en la activación de actuadores y la capacidad de transmitir la información audio visual a la interfaz móvil. Experimentalmente se somete la implementación del robot a diversos escenarios. En la Figura 90 se observa el control inalámbrico y la interfaz móvil mediante la cual se accede a los entornos de vigilancia, en este caso en modo diurno.



Figura 90 Implementación del Subsistema 2 en modo diurno

En la Figura 91 se muestra la aplicación del robot de videovigilancia en modo nocturno. Se aprecia también las imágenes obtenidas por la interfaz y su implementación.



Figura 91 Implementación del Subsistema 2 en modo nocturno

4.2.5.2 Pruebas y resultados de autonomía

Se realizó también la prueba de autonomía de los dispositivos que conforman el subsistema. Se mantuvieron encendidos continuamente hasta que se agotaron la batería. Los resultados se muestran en la Tabla 97.

Tabla 97

Resultados de la prueba de autonomía del Subsistema 2

Subsistema 2	
Dispositivo	Horas continuas
Robot de video de video vigilancia	3 horas
Control remoto	60 horas

4.3 Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario es el medio por el cual se van a poder visualizar los datos obtenidos e interpretados por el Brazaete Inteligente usado por un paciente y además controlar inalámbricamente el Robot de video vigilancia. El software por utilizar corresponde a Openhab, un entorno de desarrollo para aplicaciones de automatización basado en el principio de código abierto (open source). Mediante su aplicación se pueden personalizar las alertas, íconos y métodos de transmisión y recepción inalámbrica.

4.3.1 Desarrollo e implementación

Una vez establecidas las variables se procede a la construcción de la interfaz. Se sigue el proceso descrito en el Diagrama 8. Se inicializan las variables como ítems en el archivo y se agrupan aquellas del mismo tipo como es el caso de cada paciente y el grupo llamado Robot. Se crean las reglas para poder visualizar las variables recibidas. Se construye el programa y las funciones de visibilidad de las alertas. Finalmente se agrega el programa de control remoto del robot.

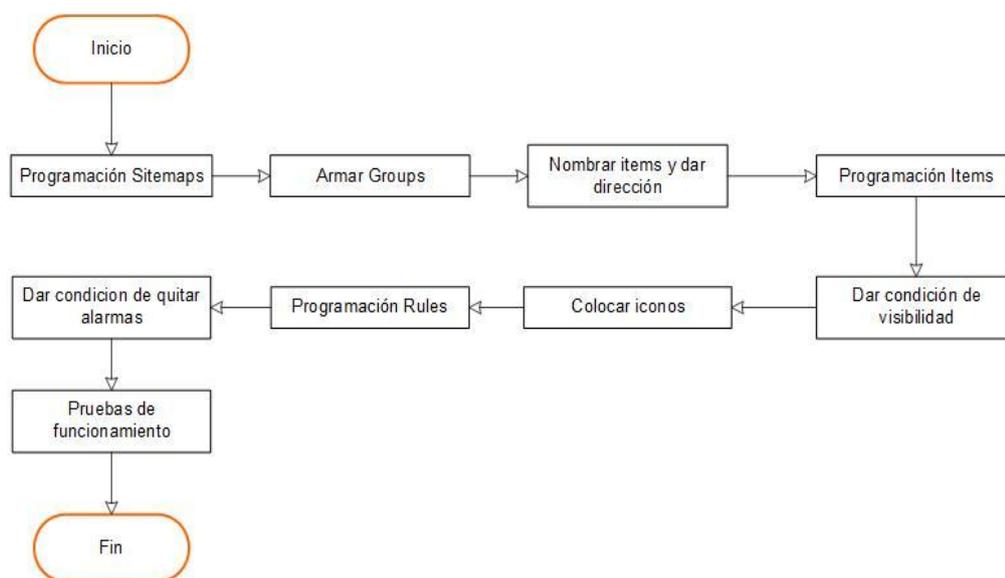


Diagrama 8 Proceso de implementación de la interfaz en Openhab

El control inalámbrico del robot es manejado a través de una interfaz basada en Openhab y personalizada según nuestra necesidad. Se declaran las variables a enviar

a través de radio frecuencia y la función que realizarán. Se programa el envío de mensajes al controlador Arduino del Robot para su control.

La interfaz una vez implementada consta de una pantalla principal, la cual se observa en la Figura 92, donde se puede visualizar los pacientes registrados en el sistema y la pestaña de control remoto del robot de video vigilancia. Para ingresar a las siguientes pantallas de la interfaz se debe presionar sobre la pantalla deseada.



Figura 92 Pantalla de inicio de la Interfaz de Usuario

Al ingresar a la pestaña de alguno de los pacientes, se pueden observar los parámetros de la salud que se encuentran siendo monitoreados y su estado actualizado. En la Figura 93 se muestran de forma ilustrativa todas las alarmas activadas del Paciente 2.



Figura 93 Pantalla de monitoreo de parámetro de la salud

Si se ingresa a la pestaña "Robot", se puede observar la interfaz de control remoto del robot de video vigilancia mostrado en la Figura 94. Para su utilización se presionan los botones a la derecha de a interfaz.

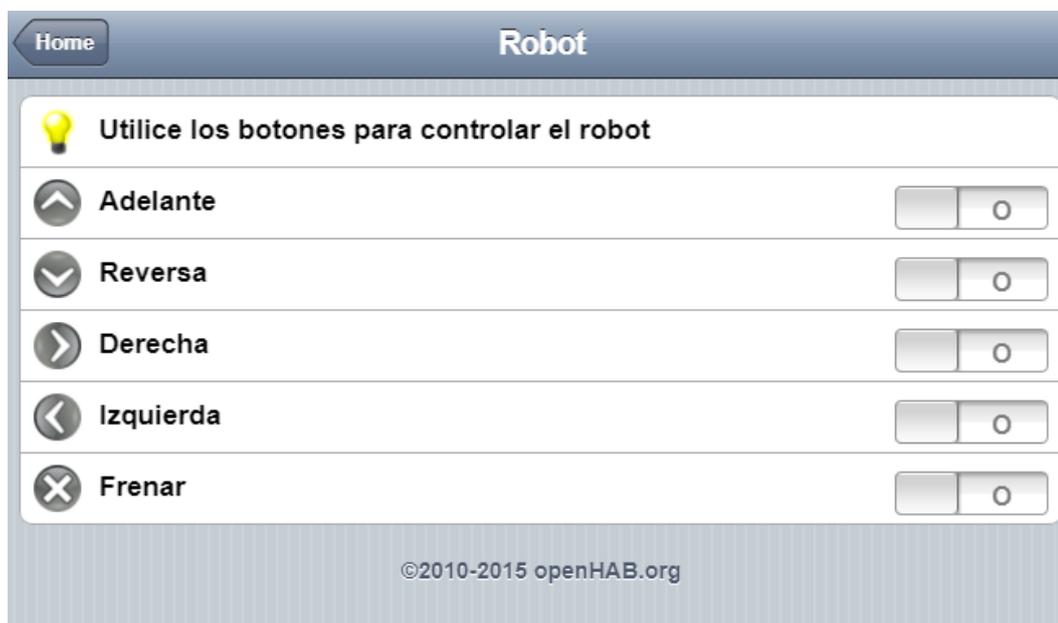


Figura 94 Pantalla de control remoto del robot de video vigilancia

4.3.2 Algoritmo de funcionamiento.

El algoritmo de funcionamiento de La Interfaz basada en Openhab se muestra en el Diagrama 9.

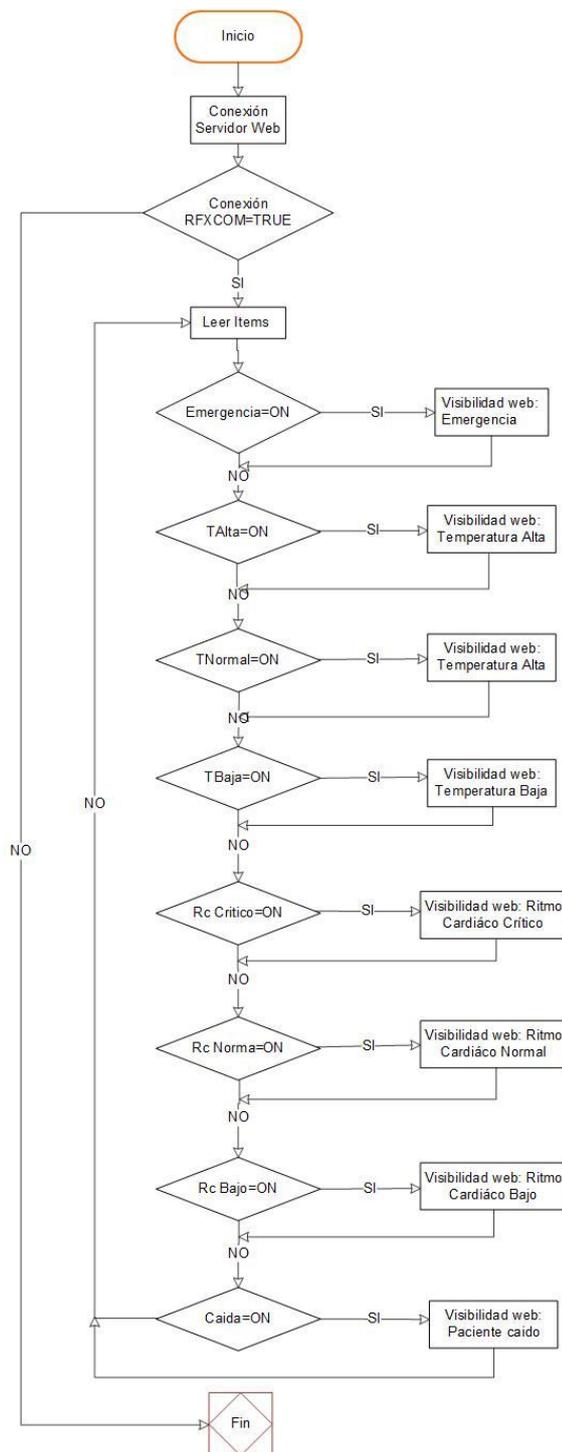


Diagrama 9 Algoritmo de funcionamiento de la interfaz de usuario

4.3.3 Pruebas y resultados Interfaz de Usuario e Integración del Sistema

El funcionamiento del subsistema 3 (Interfaz de Usuario) consiste en la activación de las alarmas, recepción de datos y la capacidad para controlar el robot de video vigilancia. Para comprobar su funcionamiento, se verifica la activación de las alertas interpretadas y de las funciones de control.

4.3.3.1 Pruebas de recepción de alertas

La prueba de recepción de datos en la interfaz implementada en Openhab es realizada mediante la conexión con el Brazalete Inteligente. Se fuerzan las alertas mediante la exposición de los sensores a variables cuyo valor sea el deseado. De esta manera se puede determinar con certeza el tipo de alerta que debe activarse.

La primera prueba consiste en la recepción de alertas cuando el Brazalete Inteligente no está colocado en el paciente. En este caso la temperatura y el ritmo cardíaco deben estar en sus valores más bajos por lo que las alertas deben ser enviadas a la interfaz. En la Figura 95 se muestra la activación de las alertas de Temperatura Baja y Ritmo Cardíaco Bajo.



Figura 95 Activación de alertas de Temperatura y Ritmo Cardíaco Bajo

La segunda prueba se realiza cuando el Brazalete Inteligente es utilizado por el paciente. Si sus signos vitales están dentro de los rangos normales, se activan las alertas de Temperatura y de Ritmo Cardíaco Normal. En la Figura 96 se observa la activación de alertas de un paciente con signos vitales en estado normal.



Figura 96 Activación de alertas de Temperatura y Ritmo Cardíaco Normal

La alerta de Temperatura Alta es activada al exponer la muñeca de la persona que utiliza el Brazaete Inteligente a una superficie caliente. Una vez superado el valor normal, colocamos el brazaete para obtener la alerta. En la Figura 97 se muestra la activación de Temperatura Alta. Posteriormente se simula una caída para forzar la alerta y la detección de una caída.



Figura 97 Activación de alertas de Temperatura Alta y Paciente Caído

La última variable puesta a prueba es la activación del botón de emergencia. El botón es activado para enviar la alerta de Emergencia: El Paciente necesita atención. En la Figura 98 se muestra la activación de la variable.



Figura 98 Activación de la alerta de Emergencia: El Paciente necesita atención

La transmisión de señales a través de radio frecuencia es probada con la activación de los botones y de los actuadores del Robot de Video Vigilancia. En la Figura 99 se muestra el momento de la activación de los botones de control del Robot.

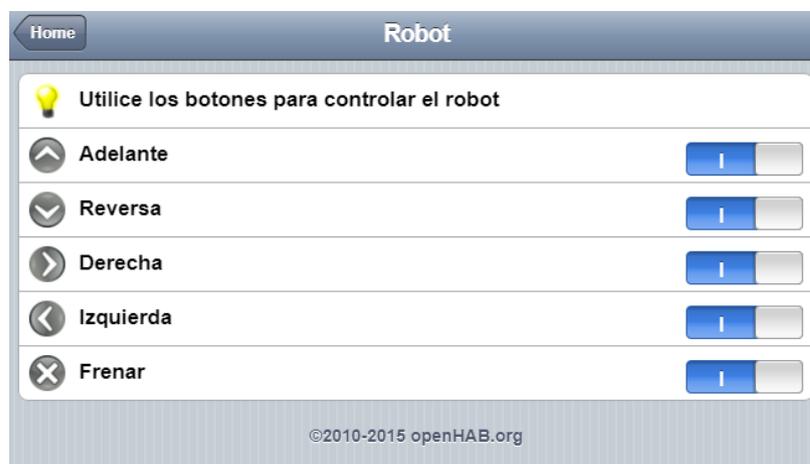


Figura 99 Activación de los botones de control del Robot de Video vigilancia

Los valores obtenidos producto de la experimentación son resumidos en la Tabla 98. Se muestran el número de recepciones o activaciones acertadas y fallidas.

Tabla 98

Resultados el envío y recepción de variables

Brazalete Inteligente		
Variable	Acertados	Fallidos
Temperatura Alta	19	1
Temperatura Normal	20	0
Temperatura Baja	20	0
Ritmo Cardíaco Alto	17	3
Ritmo Cardíaco Normal	19	1
Ritmo Cardíaco Bajo	19	1
Emergencia: Atención	20	0
Paciente Caído	16	4
Robot de Video vigilancia		
Adelante	19	1
Reversa	19	1
Derecha	19	1
Izquierda	19	1
Frenar	19	1

4.3.4 Resultados de funcionamiento del sistema robótico

Los resultados de la experimentación del funcionamiento del sistema robótico consisten en el error porcentual de recepción y transmisión de datos. En la Tabla 99 se muestra el error porcentual de cada variable puesta a prueba y el error porcentual promedio del sistema que corresponde al 5.77%.

Tabla 99

Error porcentual del envío y recepción de variables

Brazalete Inteligente			
Variable	Acertados	Fallidos	Error (%)
Temperatura Alta	19	1	5
Temperatura Normal	20	0	0
Temperatura Baja	20	0	0

Ritmo Cardíaco Alto	17	3	15
Ritmo Cardíaco Normal	19	1	5
Ritmo Cardíaco Bajo	19	1	5
Emergencia: Atención	20	0	0
Paciente Caído	16	4	20
Robot de Video vigilancia			
Adelante	19	1	5
Reversa	19	1	5
Derecha	19	1	5
Izquierda	19	1	5
Frenar	19	1	5
Error promedio (%)			5.77

4.4 Análisis económico de implementación

El análisis económico consiste en el detalle del costo de implementación de cada dispositivo considerando hacerlo de forma masiva. En las Tablas 100, 101, 102 se detallan los componentes, su costo individual y el costo total de cada dispositivo. En la Tabla 100 se muestra el costo de implementar el Brazalete Inteligente el cual corresponde a \$85.42 USD.

Tabla 100

Error porcentual del envío y recepción de variables

Elaboración del Brazalete	
Materiales	Costo (\$)
MLX90614	12
Pulse Sensor	12
Touch Sensor	5.39
MPU6050	6.93
Atmega328	5
Switch	0.5
Transmisor RF	5
Led	0.1
Cables y Resistencias	1
Bateria LIPO	7

Cargador LIPO	6
PCB	10.5
Impresión 3D	14
TOTAL	85.42

El costo de implementación del Robot de video vigilancia se detalla en la Tabla 101. Se observa que su costo sería de \$229.1 USD.

Tabla 101

Error porcentual del envío y recepción de variables

Elaboración del robot	
Materiales	Costo (\$)
Motores	4.3
Ruedas	10
Cámara IP	60
Cables y resistencias	4
Switch	0.5
Batería LIPO	25
Cargador LIPO	25
ESP866	6.8
Arduino nano	11
Regulador de voltaje	7
PCB	10.5
Impresión 3D	45
Corte láser	20
TOTAL	229.1

El costo de implementación del Control Remoto se detalla en la Tabla 102. Se observa que su costo sería de \$59.2 USD.

Tabla 102

Error porcentual del envío y recepción de variables

Elaboración Control Remoto	
Materiales	Costo(\$)
Pulsadores	0.6
Led	0.1
Switch	0.5
Módulo Joystick	7
Batería Lipo	17
Cables y Resistencias	1

Arduino nano	11
Transmisor RF	5
PCB	3
Corte Láser	6
Antena	3
Soporte Celular	5
TOTAL	59.2

4.5 Algoritmo de funcionamiento del sistema robótico

El algoritmo de funcionamiento producto de la integración de la integración de los sistemas: Brazaete Inteligente, Robot de video vigilancia e Interfaz de usuario y sus subsistemas se muestra en el Diagrama. El algoritmo permite vincular las operaciones y tareas en un suprasistema de monitoreo e interpretación de signos vitales para personas de edad avanzada.

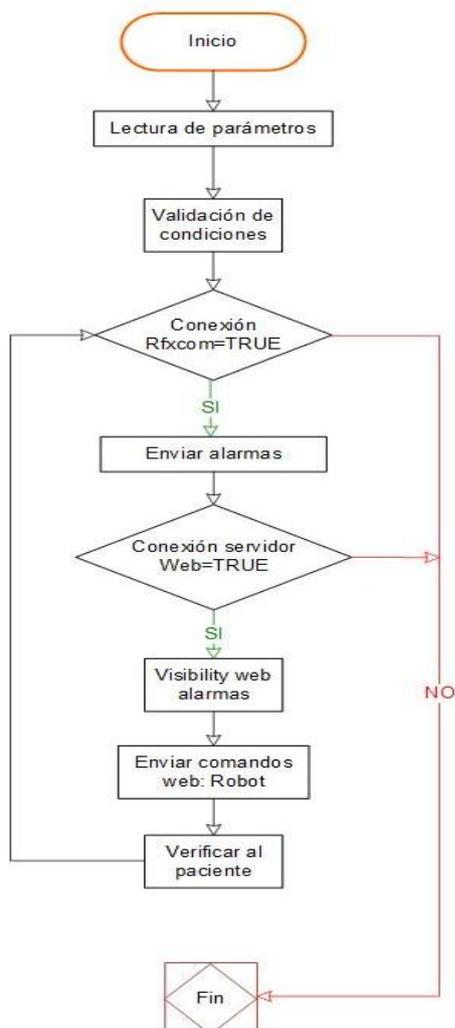


Diagrama 10 Algoritmo de funcionamiento del sistema robótico integrado

4.6 Resumen

La etapa previa de diseño y selección de instrumentación, componentes y métodos de manufactura aseguran un correcto desarrollo del proyecto. Fueron diseñados los circuitos de control de los subsistemas "Brazaletes Inteligentes" y "Robot de video vigilancia". Se desarrollaron prototipos físicos integrales con el fin de comprobar el correcto funcionamiento para después proceder a la fabricación de las placas PCB y la integración de sus partes.

Mediante la utilización de herramientas CAD se diseñaron las estructuras y se procedió a su fabricación. La utilización de impresoras 3D y materiales como el PLA y el Ninja Flex permitieron lograr complejas geometrías capaces de integrar los subsistemas y a la vez cumplir las funcionalidades de resistencia y ergonomía. Para geometrías con menor complejidad se utilizó la manufactura de acrílico mediante el corte láser. Los subsistemas fueron ensamblados y se realizó la integración mecatrónica con los algoritmos de control propuestos.

Se desarrolló la interfaz pensando en la facilidad, simplicidad y en la intuitiva utilización para el usuario. Se crearon las alarmas de los parámetros de signos vitales de interés, la interfaz de control remoto del robot de videovigilancia y el algoritmo de funcionamiento.

Los subsistemas fueron puestos a prueba primero individualmente de acuerdo con sus funcionalidades y posteriormente el sistema robótico integrado. Se analizaron las variables encargadas de monitorear los parámetros de la salud a través de la experimentación física y comparación con dispositivos comerciales. La comunicación inalámbrica fue probada a través de la transmisión de datos y posteriormente la interfaz de usuario encargada de integrar los subsistemas mediante la recepción de datos y el control de los actuadores del robot. Finalmente se puso a prueba la autonomía de cada dispositivo que forma parte del sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales.

CAPÍTULO 5

Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros

En el presente capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas producto de la realización del proyecto de Titulación. Además, se proponen trabajos futuros basados en el proyecto.

5.1 Conclusiones

- Se diseñó y construyó un sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada basada en Openhab. El sistema consta de un Brazalete Inteligente, un Robot de video vigilancia tele operado y una Interfaz HMI central de monitoreo y control de los dispositivos antes mencionados.
- Se diseñó y construyó un prototipo mecatrónico de Brazalete Inteligente de bajo costo. El dispositivo es capaz de monitorear e interpretar signos vitales como: temperatura corporal y ritmo cardíaco. Posee la capacidad de detectar caídas y emitir alertas de emergencia. Transmite la información recopilada inalámbricamente mediante radio frecuencia de 433 MHz. Consta de una estructura ergonómica fabricada en impresión 3D. Es un dispositivo recargable y su costo de implementación es equivalente a las "smart band" disponibles comercialmente.
- Se diseñó y construyó un robot móvil diferencial de video vigilancia y teledirigido. El robot está formado por una cámara de alta definición capaz de transmitir audio y video inalámbricamente mediante protocolo IP, una estructura fabricada en Impresión 3D y corte láser y un control remoto inalámbrico. El dispositivo es compacto, inalámbrico y recargable. Puede ser manipulado desde una Interfaz central o un control remoto a través de radio frecuencia de 433 MHz

- Se realizó el diseño e implementación de una interfaz de usuario basada en software libre y Openhab. La interfaz fue diseñada como una central de control y monitoreo encargada de administrar e interpretar los parámetros de la salud y de emergencia del paciente enviados por el Brazalete Inteligente. Es capaz de controlar el posicionamiento del Robot de Video vigilancia a través de una ventana de control. La recepción y transmisión de datos se basa en el vínculo ente Openhab y un emisor/receptor de radiofrecuencia de 433MHz RFXcom.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento de la medición de los parámetros de la salud comparándolos con dispositivos comerciales que miden las variables de Temperatura y Ritmo cardíaco. El error obtenido de la medición de Ritmo cardíaco en comparación al dispositivo comercial OMRON HEM-742INT obteniendo un error promedio de 3.72%. La medición de temperatura del Brazalete Inteligente en comparación con un termómetro de mercurio permitió determinar que posee un error porcentual en la exactitud de 0.08%, en la precisión de 0.11% y una velocidad de respuesta promedio de 0.96°C/s .
- Para la detección de caída se realizaron pruebas de calibración y medición a través del estudio del comportamiento de la aceleración angular en los ejes x,y,z de un giroscopio de 6 grados de libertad al realizar actividades cotidianas. Las actividades monitoreadas fueron: Inactividad, Sentarse-pararse, acostado-parado, vestirse-desvestirse, caminar, mover las manos, caídas frontales y hacia atrás. Los errores porcentuales obtenidos en la implementación del algoritmo de detección de caídas fueron de 5% al implementar sólo el algoritmo mencionado y de 65% al implementar todas las funcionalidades de detección de parámetros de la salud. El porcentaje de error porcentual promedio de transmisión y recepción de datos a través de la Interfaz vía radio frecuencia es de 5.77%.
- Se realizó un estudio de la ergonomía y aceptación del proyecto para su utilización por adultos mayores. Se obtuvo en promedio un 90% de

aceptación en cuanto a comodidad, facilidad de uso y ergonomía de los dispositivos construidos.

- Se estudió la autonomía energética de los dispositivos en funcionamiento continuo donde se logró determinar que el Brazalete Inteligente es capaz de funcionar normalmente durante 15 horas. El Robot de video vigilancia tiene una autonomía energética de 3 horas y el control remoto de 60 horas.

5.2 Recomendaciones y Trabajos Futuros

- Es recomendable abordar la implementación del sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales con software de automatización como ROS. A través de esta plataforma se podrían tener más autonomía y control en el envío y recepción de señales de monitoreo y control del Brazalete inteligente y del robot de video vigilancia.
- Se propone la implementación de un mayor número de Brazaletes Inteligentes integradas al sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada basado en Openhab. Se pretende que mediante la fabricación de más dispositivos pueda emplearse en un centro asistencial. De esta manera se propone también realizar un estudio detallado de la infraestructura para la colocación de antenas repetidoras de radio frecuencia y tener así mayor confianza en el envío y recepción de señales.
- Se propone utilizar las funcionalidades del robot de video vigilancia para realizar reconocimiento de personas y tracking de posición con el fin de conocer el estado real de los pacientes a través de visión artificial. Implementar algoritmos de control para esquivar obstáculos automáticamente mediante “Slam”.
- Para la detección de caídas se sugiere el desarrollo de un dispositivo individual a manera de cinturón para el reconocimiento acertado de caídas

puesto que su monitoreo y la transmisión inalámbrica de datos es más compleja por lo que requiere de mayor capacidad de procesamiento de datos.

- En cuanto a ergonomía, es recomendable realizar un estudio sobre la calibración del brazalete inteligente en otra parte del cuerpo como el antebrazo. Calibrar la instrumentación para que sea sensible y capaz de monitorear los mismos parámetros de la salud en una zona menos expuesta como la muñeca
- Finalmente se propone la adquisición de un dominio Web para poder acceder a la información del centro asistencial y específicamente de cada paciente desde cualquier dispositivo móvil y desde cualquier parte del mundo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliexpress. (2017). *Alkaline AA rechargeable battery*. Obtenido de:
<https://es.aliexpress.com/item/4pcs-UNITEK-1-5v-alkaline-AA-rechargeable-battery-14500-cell-3000mah-for-led-flashlight-toys-clock/32806353104.html?spm=a219c.search0302.4.8.P1zZ1f>
- Álvarez E. (2016). *Los mejores smartbands que puedes comprar*. Obtenido de:
<http://computerhoy.com/listas/hardware/mejores-smartbands-que-puedes-comprar-2016-55292>
- Analog Devices. (2010). *ADLX335*. Obtenido de:
<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL335.pdf>
- Andes. (2014). *Población de adultos mayores duplicará en 2025 en Ecuador*. Obtenido de: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/poblacion-adultos-mayores-duplicara-2025-ecuador.html>
- Andrade G. (2015). *Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para la Medición del Ritmo Cardíaco mediante la Técnica de Pulsometría*. Obtenido de:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10108/1/AC-ESPEL-ENI-0354.pdf>
- Apuntes Auxiliar Enfermería. (2015). *Medición de Temperatura Corporal*. Obtenido de : <http://apuntesauxiliarenfermeria.blogspot.com.co/2010/09/medicion-de-la-temperatura-corporal.html>
- Arduino. (2017). *Arduino Nano*. Obtenido de:
<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano>
- Atmel. (2015). *Atmel 8-bit microcontroller with 4/8/16/32kbytes in-system programmable flash*. Obtenido de: <http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8->

bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf

Bastidas N., Sánchez O. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo de robot móvil con control autónomo o radiofrecuencia e imagen en tiempo real*. Obtenido de: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4399>

Bigtrónica. (2017). *Suiches/Pulsadores*. Obtenido de: <http://bigtronica.com/45-suiches-pulsadores>

Blanco R., Hoyos A. (2010). *Sistema De Detección De Caída En Personas De La Tercera Edad Para Uso En Centros Geriátricos*. Obtenido de: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7041/tesis486.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chagcha F., Revelo H. (2013). *Diseño y construcción de un autómata móvil de vigilancia remota y monitoreo en tiempo real para el campus universitario de la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga*. Obtenido de: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6384>

Chancusi A. (2015). *Módulo Didáctico De Un Medidor De La Frecuencia Cardíaca Mediante Fotopletismografía para el Laboratorio de Instrumentación Biomédica de la Universidad De Las Fuerzas Armadas – ESPE*. Obtenido de: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9350/1/T-ESPEL-ENI-0339.pdf>

Chia-Yeh Hsieh, Kai-Chun Liu , Chih-Ning Huang , Woei-Chyn Chu y Chia-Tai Chan. (2017). *Novel Hierarchical Fall Detection Algorithm Using a Multiphase Fall Model*. Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5335954/>

Chipuxi G. (2017). *Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo en tiempo real del estado de salud en personas de edad avanzada mediante el empleo de sensores inteligentes*. Obtenido de: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12513>

Crilex. (2016). *Láminas acrílicas de colores, translúcidas y opacas*. Obtenido de: <http://www.crilex.com.ec/laminas-colores-traslucido-opacos.html>

Degen T., Jaeckel H. (2003). *Speedy: A fall detector in a wrist watch*. Wearable Computers, Seventh IEEE International Symposium.

Espressif. (2015). *ESP8266EX Datasheet*. Obtenido de: <http://bbs.espressif.com/>

Formizable. (2014). *Guía de Plásticos y otros Materiales para Impresión 3D*. Obtenido de: <http://formizable.com/guia-de-plasticos-y-otros-materiales-para-impresion-3d/>

Forsberg, K. M. (2005). *Visualizing Project Management* .

G. M. y Dimitrios Makris. (Marzo 2012). *Fall detection system using kinect's infrared sensors*. Journal of Real-Time Image Processing, vol. 9, pp. 635–646.

Gavilema J., Mullo E. (2014). *Diseño Y Construcción de un Sistema Electrónico de Medición de Señales Fisiológicas, que Ayuda al Diagnóstico Médico Utilizando Fpga, con Comunicación Inalámbrica A Tablet, con Monitoreo Remoto en Tiempo Real*. Obtenido de: <Http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9162/1/AC-ESPEL-ENI-0333.pdf>

Gonzalez J. (2012). *RP-VITA, un robot para la telemedicina de los creadores de Roomba*. Obtenido de: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/rp-vita-un-robot-para-la-telemedicina-de-los-creadores-de-roomba>

Guzmán M. (2014) *Oráculo generativo: Sensor de activación por ritmo cardíaco*. Obtenido de: <https://marioguzmanmae.wordpress.com/2014/11/22/oraculo-generativo-sensor-de-activacion-por-ritmo-cardiaco/>

Haoyu Electronics. (2017). *GY-521 MPU6050*. Obtenido de:

<http://www.hotmcu.com/gy521-mpu6050-3axis-acceleration-gyroscope-6dof-module-p-83.html>

Hemang Pandhi. (2017). *Iot Based Wireless Video Surveillance Robot*. Obtenido de: <http://electronicsforu.com/electronics-projects/iot-based-wireless-video-surveillance-robot>

Idn Metals. (2017). *Aluminio*. Obtenido de: <http://idnmetals.com/metales/aluminio>

Indiegogo. (2017). *Angel: The first open sensor for health and fitness*. Obtenido de: <https://www.indiegogo.com/projects/angel-the-first-open-sensor-for-health-and-fitness#/>

INE. (2016). *Adultos mayores en el Ecuador*. Obtenido de <http://www.ine.es/>

INEC. (2011). *Estadísticas de adultos mayores en Ecuador*. Obtenido de: http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=360%3Aen-el-ecuador-hay-2229089-adultos-mayores-28-se-siente-desamparado&catid=68%3Aboletines&Itemid=51&lang=es

SN. (30 de 6 de 2016). *Infogerontología*. Obtenido de http://www.infogerontologia.com/documents/accesibilidad/catalog_proinssa_geriatric.pdf

SN. (30 de 6 de 2016). *Domótica residencial para adultos mayores*. Obtenido de <https://www.inforesidencias.com/contenidos/profesionales/nacional/domotica-en-residencias-para-personas-mayores>

SN. (2017). *JewelBots*. Obtenido de: <https://jewelbots.com>

SN. (2014). *Samsung presentó una pulsera electrónica para medir signos vitales*. Obtenido de: <http://www.lanacion.com.ar/1695347-samsung-presento-una-pulsera-electronica-para-medir-signos-vitales>

- Logitech. (2017). *HD Pro Webcam C910*. Obtenido de: http://support.logitech.com/en_us/product/hd-pro-webcam-c910
- Mantech. (2016). *433Mhz RF Trasmitter with Reciever Kit for Arduino*. Obtenido de : http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/433Mhz_RF-TX&RX.pdf
- SN. (2016) .*DS18S20 Datasheet*. Obtenido de: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18S20.pdf>
- Melexis. (2016). *MLX90614 Datasheet*. Obtenido de: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614_rev001.pdf
- Nadal C. (2016). *¿Qué son las pulseras inteligentes?* . Obtenido de: <https://www.infotopo.com/equipamiento/electronica/que-son-las-pulseras-inteligentes>
- Nalaweb. (2016). *L'avenir du bracelet connecté*. Obtenido de: <https://nalaweb.com/piktologo-lavenir-du-bracelet-connecte-grace-a-qantiq/>
- SN. (2011). *MMA7361LC Data Sheet: Technical Data*. Obtenido de: <http://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MMA7361LC.pdf>
- P.U.C Escuela de Medicina.(2012). *Examen físico: pulso arterial*. Obtenido de: http://escuela.med.puc.cl/paginas/Cursos/tercero/IntegradoTercero/ApSemiologia/30_Pulso.html.
- Pérolle G., Fraisse P. (2006). *Detector automático de caídas y monitorización de actividad para personas mayores*. Revista española de geriatría y gerontología, vol. 41, pp. 33–41, 2006.
- PulseSensor. (2017). *Sensor de Pulso*. Obtenido de: <https://pulsesensor.com>
- QUO. (2016). *Robots salvan vidas*. Obtenido de: <http://www.quo.es/salud/robots->

salvan-vidas

Raspberry. (2017). *Raspberry Pi 2 Model B*. Obtenido de:
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>

RFXcom. (2017). *RFXcom*. Obtenido de: <http://www.rfxcom.com/>

SN. (2013). *Clasificación De los robots*. Obtenido de:
<http://roboticapuno.blogspot.com/2013/01/clasificacion-de-los-robots.html>

Rodríguez A. (2014). *El Pulsómetro se instala en gimnasios españoles* . Obtenido de:
<http://www.elmundo.es/salud/2005/628/1125698415.html>

Sparkfun. (2016). *Temperature and humidity sensor DHT22*. Obtenido de:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

Tdrobótica. (2017). *Batería LiPo 300mAh*. Obtenido de: <http://tdrobotica.co/bateria-lipo-300mah-74v/290.html>

Technofactory. (2017). *AG4/LR626 377a Button Cell*. Obtenido de:
<https://tecnofactory.cl/pilas-baterias-y-cargadores/267-pack-10-pilas-ag4-lr626-377a-button-cell-tipo-reloj-alkalina.html>

Techradar. (2017). *10 Best fitness trackers*. Obtenido de:
<http://www.techradar.com/news/wearables/10-best-fitness-trackers-1277905>

TonTek. (2001). *1 key touch pad detector ic: ttp223/ttp223n*. Obtenido de:
<http://www.tontek.com.tw/download.asp?sn=369>

VIX Inc. (2017) *¿Cómo trabajar con fibra de vidrio?*. Obtenido de:
<http://www.vix.com/es/imj/hogar/6544/como-trabajar-con-fibra-de-vidrio>

Xataka. (2014). *Un drone "ambulancia" para salvar vidas, desfibrilador incluido*.
 Obtenido de: <https://www.xataka.com/drones/un-drone-ambulancia-para->

salvar-vidas-desfibrilador-incluido

Yoosee. (2016). *A Smart Camera keeps track of what's happening in the house.*

Obtenido de: <https://www.yooseecamera.com/>