

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

Ingeniería Electrónica

Práctica dirigida para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Electrónica.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA QUE REGULA EL USO DE EQUIPOS MULTI GIMNASIO PARA EVITAR LESIONES MUSCULARES DE PECHO, ESPALDA Y PIERNAS EN LOS USUARIOS QUE REALIZAN EJERCICIOS EN EL GIMNASIO DEL POLIDEPORTIVO DE SANTA CRUZ, GUANACASTE, COSTA RICA

Estudiante:

Greivin Rodríguez Gómez

Tutor:

Eduardo Sanabria Guerrero.


Noviembre 2017

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Carivin Rodríguez Gómez, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 205820145 egresado de la carrera de Ingeniería en electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de bachillerato, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Implementación de un sistema que regula el uso de equipos multigimnasio para evitar lesiones musculares de pecho, espalda y piernas en los usuarios que realizan ejercicios en el gimnasio del Polideportivo de Santa Cruz, Guanacaste, CR es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 31 días del mes de Enero del año dos mil dieciocho.


Firma del estudiante

Cédula: 205820145

CARTA DEL TUTOR



CARTA DEL TUTOR

San José, 31 de Enero del 2018

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Greivin Rodríguez Gómez, cédula de identidad número 205820145, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA QUE REGULA EL USO DE EQUIPOS MULTI GIMNASIO PARA EVITAR LESIONES MUSCULARES DE PECHO, ESPALDA Y PIERNAS EN LOS USUARIOS QUE REALIZAN EJECICIOS EN EL GIMNASIO DEL POLIDEPORTIVO DE SANTA CRUZ, GUANCASTE, COSTA RICA", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances.	20	17
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	20
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	18
Total:		100	93

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. Eduardo Sanabria Guerrero
Céd: 108610714
Tutor

CARTA DEL LECTOR



CARTA DEL LECTOR

San José, 20 de Diciembre de 2017

Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante **Greivin Jesús Rodríguez Gómez**, cédula de residencia número **2-0582-0145**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: **“Implementación de un sistema que regula el uso de equipos multi gimnasio para evitar lesiones musculares de pecho, espalda y piernas en los usuarios que realizan ejercicios en el gimnasio del polideportivo de santa cruz, Guanacaste, Costa Rica.”**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Electrónica.

He revisado y analizado el contenido, particularmente, lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y el análisis de datos; la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre estos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente.

Ing. José Alejandro Rojas López

Cédula identidad 1 1079 0035

Carné Colegio Profesional N°: IEL-15888

CARTA DEL FILÓLOGO

bórea.

Edición y corrección de textos
www.boreacr.com

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, cédula de identidad número 3 0447 0799 y Daniel González Monge, cédula de identidad número 1 1345 0416, en calidad de filólogos revisamos y corregimos la práctica dirigida que lleva por título *Implementación de un sistema que regula el uso de equipos multi gimnasio para evitar lesiones musculares de pecho, espalda y piernas en los usuarios que realizan ejercicios en el gimnasio del Polideportivo de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica*, elaborado por Greivin Rodríguez Gómez.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de forma, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Hispanoamericana.



Elena Redondo Camacho
Céd. 3 0447 0799
Bachiller en Filología Española
Carné ACFIL 247



Daniel González Monge
Céd. 1 1345 0416
Bachiller en Filología Española
Carné ACFIL 245

DEDICATORIA

Agradecimiento eterno a Dios por su amor, misericordia y la fuerza que ha depositado en mi para poder alcanzar este logro, sin él nada hubiera sido posible. Agradezco a mi madre por su consejo constante y apoyo incondicional durante todo este proceso. Finalmente agradezco a mi esposa por su compañía, interés, cooperación, motivación y confianza para alcanzar esta meta.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN JURADA.....	ii
CARTA DEL TUTOR	iii
CARTA DEL LECTOR	iv
CARTA DEL FILÓLOGO	iv
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
CAPÍTULO I. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....	3
1.2.1 Aspectos generales de la empresa	3
1.2.2 Visión.....	4
1.2.3 Misión	4
1.2.4 Objetivo general.....	4
1.2.5 Estructura administrativa durante el periodo 2017	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	5
1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	9
1.4.1 La idea del problema	9
1.4.2 Pregunta del problema.....	12
1.5 OBJETIVOS	12
1.5.1 Objetivo general.....	12
1.5.2 Objetivos específicos	12
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	13
1.6.1 Alcances	13
1.6.2 Limitaciones.....	14
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL.....	16
2.1.1 Sistema de control	16
2.1.2 Circuito electrónico lógico de control.....	17

2.1.3 Descripción de dispositivos electrónicos que conforman el circuito del proyecto...	20
2.1.4 La máquina multigimnasio	31
2.1.5 Ejercicios controlados por medio del sistema propuesto	33
2.1.6 Lesión deportiva.....	40
2.1.7 Causas más frecuentes de una lesión	40
2.1.8 Tipos de lesiones debidas al deporte de gimnasio	41
2.2 MARCO DE GESTIÓN DE PROYECTO	43
2.3 MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO	45
2.4 ANTECEDENTES DE TEORÍAS O PROYECTOS	46
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	48
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	49
3.1.1 Finalidad del proyecto	50
3.1.2 Dimensión temporal	50
3.1.3 Marco.....	50
3.1.4 Naturaleza	51
3.1.5 Carácter.....	51
3.2 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE LESIONES EN EQUIPOS DE GIMNASIO.....	51
3.2.1 Aplicación de la metodología para la construcción del sistema	53
3.3 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	59
3.3.1 Planteamiento para medición de las variables	59
3.3.2 Planteamiento para procesar la información de las variables.....	59
3.3.3 Planteamiento para comunicarse con el usuario y entrenador	60
3.3.4 Ensayo por etapas de la solución	60
3.3.5 Integración del control de las variables y sistema de monitoreo y alarmas.....	60
3.3.6 Confección de manual de usuario y entrenador	61
3.3.7 Implementación de prototipo del sistema de control en la máquina multigimnasio para usar en el campo	61
3.3.8 Corrección de errores en el diseño y afinamiento del sistema de control	61
3.3.9 Conclusiones y mejoras	62
3.4 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DEL PROYECTO	62
CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO.....	64
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	65
4.1.1 Instrumentos de diagnóstico	68

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS, CARACTERÍSTICAS Y PROTOTIPO.....	69
4.2.1 Datos recolectados por medio de la observación.....	69
4.2.2 Datos recolectados por medio del cuestionario aplicado a deportistas.....	71
4.2.3 Datos recolectados por medio de las entrevistas realizadas a los instructores	84
4.2.4 Requisitos del sistema de control electrónico para la reducción de lesiones en la máquina minigimnasio	91
CAPÍTULO V. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	93
5.1 DESCRIPCIÓN	94
5.2 SELECCIÓN DE LA PROPUESTA.....	95
5.2.1 Pantalla para la presentación de evento y teclado para ingreso de información al sistema	95
5.2.2 Sensor para la detección del desplazamiento de las barras de peso	97
5.2.3 Sensores para la detección de la ubicación del pin selector de peso	99
5.2.4 Indicadores de configuración de peso que se debe seleccionar.....	100
5.2.5 Indicador sonoro de teclado para el sistema	101
5.2.6 Indicador sonoro de alerta para informar errores en el uso de la máquina	102
5.2.7 Indicador visual de alerta para informar errores en el uso de la máquina.....	104
5.2.8 Control de desplazamiento de peso con sensor inductivo de proximidad.....	105
5.2.9 Sensor interruptor de paso para detectar el giro de los brazos de la máquina	106
5.2.10 Sistema de procesamiento de información obtenida de los sensores del sistema reductor de lesiones	107
5.3 DETALLES DE LA PROPUESTA.....	108
5.3.1 Diseño de conexión entre los componentes del circuito.....	108
5.3.2 Cableado de los componentes asociados al prototipo para el sistema reductor de lesiones	109
5.3.3 Diseño lógico del <i>software</i> de control del sistema reductor de lesiones	110
5.3.4 Fuente de poder para alimentar los diferentes dispositivos del sistema de control	113
5.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	115
5.4.1 Verificación de comunicación entre Arduino e interfaces periféricas	115
5.5 INTEGRACIÓN DE COMPONENTES Y RUTINAS EN SKETCH. PRINCIPAL PARA DESARROLLAR EL PROTOTIPO PROPUESTO	134
5.5.1 Propuesta de diseño a entrenadores para valorar aceptación.....	134
5.5.2 Desarrollo del programa para controlar la pantalla Nextion.....	136
5.5.3 Selección y pruebas de librería para comunicación entre Arduino y la pantalla ..	140
5.5.4 Envío de información desde el Arduino hasta la pantalla Nextion	141

5.5.5 Diagramas lógicos para el control del sistema reductor de lesiones en el uso de la máquina minigimnasio	143
5.6 PRUEBAS DE CAMPO EN EL GIMNASIO DEL POLIDEPORTIVO DE SANTA CRUZ Y RESULTADOS DE SATISFACCIÓN.....	153
5.6.1 Verificación del cumplimiento de las características y requisitos del diseño planteado.....	155
5.7 APLICACIÓN DE ENTREVISTA ABIERTA PARA MEDIR LA ACEPTACIÓN DEL SISTEMA REDUCTOR DE LESIONES.....	160
5.7.1 Entrevista al entrenador de Polideportivo.....	160
5.7.2 Entrevista a los usuarios del Polideportivo.....	161
5.8 COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	166
5.8.1 Consumo de energía promedio del equipo durante su funcionamiento	167
5.8.2 Beneficios a nivel de mercado y de consumidor final	169
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	171
6.1 CONCLUSIONES.....	172
6.2 RECOMENDACIONES	175
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	178
ANEXOS.....	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bloques que componen un sistema de control básico.....	17
Figura 2. Sensor TCRT5000.....	21
Figura 3. Símbolo de un led.....	21
Figura 4. Símbolo electrónico del fototransistor.....	22
Figura 5. Diagrama electrónico de conexión para el sensor TCRT5000.....	23
Figura 6. Movimientos de pith, roll y yaw.....	24
Figura 7. Sensor GY-521.....	24
Figura 8. Descripción de cómo opera el sensor HC-SR04.....	26
Figura 9. Arduino Mega2560.....	27
Figura 10. Microcontrolador Mega de Microship.....	28
Figura 11. Buzzer pasivo.....	29
Figura 12. Diodo led amarillo utilizado en el proyecto.....	29
Figura 13. Pantalla LCS de 16X2 para mensajes cortos.....	30
Figura 14. Pantalla HMI para control de procesos.....	31
Figura 15. Mini gimnasio Cicadex 303.2956, 120Lbs.....	32
Figura 16. Explicación de la técnica para ejercicio de flexión de piernas.....	35
Figura 17. Músculos relacionados al ejercicio contracción pectoral.....	36
Figura 18. Posición inicial y final de ejercicio contracción de pecho.....	37
Figura 19. Músculos relacionados al ejercicio polea al pecho.....	38
Figura 20. Posiciones correctas para ejercicio polea al pecho.....	39
Figura 21. Unidad biomecánica del ciclista.....	47
Figura 22. Máquinas para ejercicios del gimnasio del Polideportivo de Santa Cruz.....	65
Figura 23. TFT MEGA para Arduino.....	96
Figura 24. Pantalla Nextion instalada en la máquina de gimnasio.....	97
Figura 25. Descripción de la instalación del sensor ultrasónico en la máquina y su reflector sonoro.....	98
Figura 26. Detección de la posición del pin selector de peso en la máquina minigimnasio.....	100
Figura 27. Leds de señalización para configurar el peso correctamente.....	101
Figura 28. Buzzer utilizado en el sistema reductor de lesiones.....	102
Figura 29. Alarma electrónica de 15W para sistemas de seguridad.....	103
Figura 30. Luz soya utilizada para indicar un error en el uso de la máquina de gimnasio.....	104
Figura 31. Sensor inductivo para la detección del giro de polea.....	105
Figura 32. Sistema para detectar la velocidad angular de los brazos de la máquina.....	106
Figura 33. Esquema de cableado de los componentes electrónicos que controlan la máquina multigimnasio.....	110
Figura 34. Diseño virtual y físico de la placa de la fuente de poder para el sistema de control.....	114
Figura 35. Construcción de fuente de poder para la alimentación del sistema de control.....	115
Figura 36. Pantalla Nextion con sliders controlados desde Arduino.....	116
Figura 37. Ventana principal del ambiente constructor de Nextion.....	117
Figura 38. Instalación de sensor ultrasónico y reflector de sonido.....	119

Figura 39. Mediciones del sensor Ultrasónico con librería básica.	120
Figura 40. Resultados de sensor ultrasónico con rutina para filtrado de errores.	121
Figura 41. Sensor TCRT detectando objetos.	122
Figura 42. Nodificación del pin selector para las pruebas.	123
Figura 43. Detección de peso configurado en la máquina multigimnasio.	124
Figura 44. Sensor GY-521 instalado en la máquina de gimnasio para las pruebas.....	125
Figura 45. Sensor interruptor óptico IRT9608-F.	126
Figura 46. Apertura angular de los brazos de la máquina de gimnasio.	127
Figura 47. Disco media luna con 23 perforaciones alrededor.	127
Figura 49. Uso de rutina de prueba de leds.	130
Figura 50. Conexión de alarma sonora y visual al Arduino.....	131
Figura 51. Accionamiento de luz sogá por medio de la pantalla Nextion para pruebas.	132
Figura 52. Sensor inductivo para medir el giro de la polea inicial de la máquina de gimnasio.	133
Figura 53. Ambiente Nextion Editor para desarrollar programas.....	137
Figura 54. Diagrama lógico de pantallas Nextion.	138
Figura 55. Simulación uso de pantalla Nextion con programa para gimnasio.	139
Figura 56. Uso de la librería Nextion-master en el programa del sistema para reducir lesiones.	141
Figura 57. Pruebas de laboratorio para manipular pantalla Nextion.	142
Figura 58. Ejemplo de empleo de funciones para la pantalla Nextion.	143
Figura 59. Rutina para comparar cédula y contraseña del usuario.....	146
Figura 62. Pantalla para ejercicio contracción al pecho.	149
Figura 63. Traspaso de variables de perfil a variables de rutina.	150
Figura 64. Técnica para realizar múltiples tareas con Arduino.	152
Figura 65. Cooperación de la Srta. Nicole para la evaluación del sistema reductor de lesiones.	154
Figura 66.Cooperación de la Srta. Glenda para la evaluación del sistema reductor de lesiones.	155
Figura 67. Diseño de pantalla para las rutinas.	158
Figura 68. Descripción dinámica de las barras progresivas durante el ejercicio.....	159
Figura 69. Pantalla para el cálculo de los límites de cada rutina.	160
Figura 70. Mejora en la posición para realizar ejercicio.....	164
Figura 71. Pantalla ilustrativa de los músculos involucrados en la rutina extensión de piernas.	165
Figura 72. Cálculo de la corriente que consume el sistema reductor de lesiones.....	168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Administración de pines para la conexión de dispositivos electrónicos a Arduino. 109	
Tabla 2. Costo final del proyecto materiales y mano de obra.	167

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Relación de deportistas lesionados en función de la experiencia en las máquinas del polideportivo de Santa Cruz.	72
Gráfico 2. Análisis de los deportistas del polideportivo de Santa Cruz que han alguna vez modificado su rutina.	73
Gráfico 3. Cantidad de deportistas entrevistados que no han podido terminar al menos una vez la rutina.	74
Gráfico 4. Distribución porcentual de personas entrevistadas que no completaron la rutina al menos una vez.	75
Gráfico 5. Conocimiento de los deportistas acerca de otras personas que se hayan lesionado.	76
Gráfico 6. Conocimiento de los usuarios en tecnología de seguridad para reducir lesiones. ..	77
Gráfico 7. Porcentaje de personas que confían en la tecnología para reducir las posibilidades de una lesión en la máquina de gimnasio.	78
Gráfico 8. Personas interesadas en experimentar el uso de tecnología en máquinas de gimnasio para reducir la posibilidad de una lesión.	79
Gráfico 9. Personas que aceptan que el sistema de reducción de lesiones en las máquinas del gimnasio utilice una pantalla LCD.	80
Gráfico 10. Personas que no se sienten seguras durante el tiempo que el entrenador no los está supervisando.	81
Gráfico 11. Personas que han hecho ejercicio al menos una vez con una lesión presente. ...	82
Gráfico 12. Personas que tienen interés de asistir a un gimnasio con tecnología para la reducción de lesiones por medio del control de las variables deportivas.	83
Gráfico 13. Personas entrevistadas que se interesan por conocer cuantitativamente el desarrollo de su ejercicio.	84

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para calcular el avance del brazo.	128
Ecuación 2. Formula del círculo para calcular el perímetro de la polea.....	133
Ecuación 3. Cálculo de la potencia que consume el dispositivo reductor de lesiones.	169

CAPÍTULO I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad cuando se habla del tema de hacer ejercicio las personas lo ven como una responsabilidad. Al inicio, ejercitarse resulta desagradable y doloroso, esto se debe al estilo de vida sedentaria que la persona ha adoptado durante un largo periodo de su vida. Es indispensable para una vida saludable ejercitarse diariamente, como afirma Rehabili (2016) cuando explica que el ejercicio, así como un correcto descanso, es de suma importancia para desarrollar una óptima salud.

Los ejercicios pueden ser cardiovasculares o musculares, todos ayudan a alcanzar una mejor salud. Para las personas que inician en un gimnasio es muy importante conocer su organismo y su potencial para evitar una lesión, principalmente en las actividades de levantamiento de pesas o de esfuerzo muscular. Rehabili (2016) explica que las personas de edades superiores a los 30 años experimentan un cambio en el organismo y en la funcionalidad corporal, afectan principalmente articulaciones, tendones, músculos, ligamentos, pulmones, el corazón, entre otros.

Cuando un deportista sufre una lesión esto puede repercutir gravemente en la continuidad de sus ejercicios y en su vida normal, así lo afirma Expósito (2004) cuando se refiere a los cambios emocionales que experimenta un deportista como irritabilidad, ansiedad o depresión como en los casos en que la recuperación es lenta y dolorosa. Así se demuestran los efectos perjudiciales para un deportista que sufre una lesión, por lo tanto, es importante que exista disciplina y monitoreo continuo durante el desarrollo de los ejercicios para resguardar la salud en todos los niveles, principalmente los noveles.

Debido a la necesidad de hacer ejercicio de una manera segura que reduzca el riesgo de sufrir una lesión, se desarrollará e implementará un dispositivo electrónico en un equipo minigimnasio de la marca Cicadex modelo 303-2956 de una capacidad de 120 lbs, el cual se probará en el gimnasio del polideportivo de Santa Cruz, para medir y comprobar que es capaz de aportar la seguridad que el usuario requiere, principalmente cuando es novato en el área de los ejercicios. Este dispositivo guiará al usuario en sus rutinas y le ayudará a cumplir satisfactoriamente las sesiones de acuerdo con los parámetros que el instructor le definió a la máquina, los cuales se configuran en función del estado físico del usuario y los objetivos o metas que este se plateó.

1.2 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

1.2.1 Aspectos generales de la empresa

El proyecto se desarrolla en el gimnasio del polideportivo de Santa Cruz de Guanacaste, ubicado a 300m de la esquina suroeste del parque central Bernavela Ramos. Es un lugar que cuenta con amplias instalaciones que se utilizan para el desarrollo del deporte. Entre las disciplinas que se destacan están: ciclismo, fútbol, natación, atletismo, beisbol, judo, halterofilia y boxeo.

El polideportivo de Santa Cruz opera bajo la administración del comité cantonal de deportes y recreación de Santa Cruz "Ccdr Sc", el cual se enfoca en el deporte, salud y recreación de las personas del cantón. El deporte se práctica en forma recreativa o de competición con la finalidad de alejar a la sociedad de las drogas y otros vicios,

así se da una imagen positiva a la comunidad por medio de la formación de seres humanos y atletas con altos valores cívicos, físicos y morales.

Para tener más información del comité cantonal de deportes de Santa Cruz se puede realizar por medio de su página web: <http://ccdrsc.com/>.

1.2.2 Visión

Ser una organización sin fines de lucro, enfocados en el desarrollo de programas recreativos en función de la niñez, adolescencia, adulto mayor y tercera edad.

Cimentado en los valores humanísticos y de bien social.

1.2.3 Misión

Promover el deporte y la recreación en el cantón de Santa Cruz mediante una gestión eficaz, eficiente e innovadora al ofrecer una estructura deportiva apta con implementos tecnológicos de primer mundo.

1.2.4 Objetivo general

Promover deporte y recreación en las diversas poblaciones étnicas de la comunidad de Santa Cruz brindando un servicio eficiente y de alta calidad en el desarrollo de los programas.

1.2.5 Estructura administrativa durante el periodo 2017

En el diagrama 1 se explica cómo se encuentra estructurada la parte administrativa del comité cantonal de deportes de Santa Cruz al año 2017.

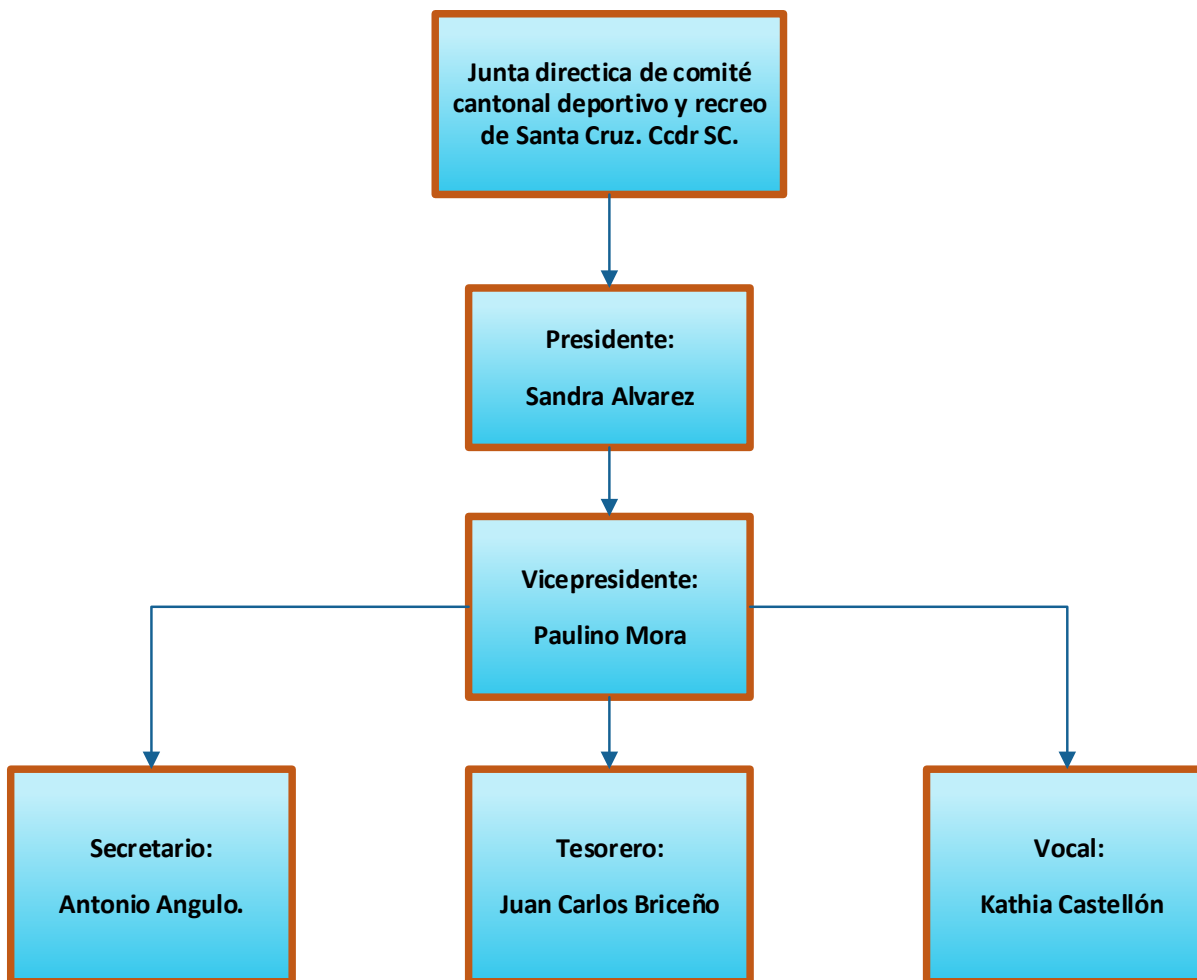


Diagrama 1. Estructura organizacional del Ccdr de Santa Cruz.

Fuente: elaborada por el autor.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente, es común encontrar una serie de enfermedades que afectan a un alto porcentaje de personas a nivel mundial, “en los últimos años, numerosos estudios epidemiológicos y experimentales han confirmado que la inactividad es causa de enfermedad y que existe una relación dosis/respuesta entre actividad física y/o forma física y mortalidad global” (Márquez, 2006, s. p.). La inactividad física cobra la vida

de una gran cantidad de personas a nivel mundial, por esta razón la organización mundial para la salud (OMS) ha puesto en marcha un plan de acción mundial para el control y la prevención de enfermedades no transmisibles 2013-2020 (OMS, 2017). Las empresas dedicadas a la salud y los gobiernos también motivan a las personas a realizar ejercicio físico. “Especialistas de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) se lanzarán esta semana a las calles para promover estilos de vida saludables y que con ellos los ticos aprendan a cuidar su corazón” (Rodríguez, 2013, s. p.), por lo tanto, el corazón es el principal órgano afectado producto del sedentarismo y el cual tiene mayor atención en el campo médico “En Costa Rica, los males cardíacos son la principal causa de muerte desde 1970, y en más de 40 años los números no han bajado” (Rodríguez, 2013, s. p.).

En la motivación social por realizar ejercicios se deben tomar en cuenta algunos factores al inicio y durante el desarrollo del mismo, por ende, es aconsejable tener la asistencia y supervisión de algún instructor profesional en la materia. “Lo primero, para empezar a hacer ejercicios regularmente, es tener motivación y fuerza de voluntad, sostiene el entrenador personal certificado Carli Dieppa” (NUEVODIA.COM, 2010, s. p.), un entrenador da las pautas a seguir durante las labores físicas y definirá variables en función del estado físico de la persona como: el ritmo de ejercicio, la intensidad y el tiempo del mismo. “El entrenador te va a llevar desde lo simple hasta lo complejo, va a estar pendiente de que no te lesiones y de que hagas los ejercicios correctamente” (NUEVODIA.COM, 2010, s. p.). Las personas que fracasan durante el hábito de hacer ejercicios se deben a la desmotivación por algún tipo de lesión en una actividad física no supervisada.

Debido a eso, muchas veces se lastiman y dejan de hacer ejercicios, se atrasan y al final pierden la motivación. Los instructores de los gimnasios vigilan la rutina de varias personas instantáneamente lo que complica la supervisión continua a cada deportista. En algunas ocasiones las personas cumplen con su rutina y por falta de un monitorio continuo resulta estar mal ejecutada, por lo que se retrasan los resultados esperados. Dieppa indica “Es recomendable hacer uso de tecnología como video tutoriales que te indique como hacer el ejercicio” (NUEVODIA.COM, 2010, s. p.).

Los avances científicos y tecnológicos apoyan fuertemente el desarrollo deportivo a altos niveles “En Colombia, la aplicación de la tecnología y la ciencia en diferentes prácticas deportivas se han convertido en una constante para ayudar a mejorar el rendimiento y las técnicas de los deportistas en menor tiempo y con mejores resultados” (Pedraza, 2010, s. p.), sin embargo, en el los equipos de gimnasio o mini gimnasio para el hogar donde se trabajan los músculos de las piernas, brazos, pecho y espalda se requiere de mayor aporte tecnológico. Es recomendable que estos dispositivos cuenten con un guía interactivo que indique en forma visual la técnica de cada ejercicio, la configuración de las variables asociadas al ejercicio, así como monitorear y guiar al usuario en la configuración del equipo para tener mayor confianza y seguridad. Para reducir las incidencias de lesiones el dispositivo electrónico debe medir y monitorear los parámetros biomecánicos asociados a cada ejercicio como: la posición inicial y final del intervalo de operación de cada ejercicio, la velocidad de ascenso y descenso del peso a trabajar, control de número de repeticiones y series, así como el peso recomendado. Como resultado de este

control se pueden corregir malos hábitos como: evitar los descansos extensos o muy cortos durante la ejecución de una serie, ciclos de mayor o menor frecuencia entre series, aumento de peso según la rutina, mayor extensión de las extremidades entre ciclos por descontrol y falta de ritmo, golpe agresivo en la última serie por desconocimiento. Al aplicar las recomendaciones del sistema de control y conocer su evaluación durante la rutina las personas no se sentirán desubicadas o inseguras durante el ejercicio pues sentirán como un reto alinear su ejercicio al control del sistema que solo traerá beneficios y protección al usuario según recomendación de su entrenador.

La implementación de este proyecto es importante porque reduce el riesgo de sufrir una lesión física que posteriormente puede producir la deserción de los clientes del gimnasio del Polideportivo de Santa Cruz, además, como consecuencia acarreará un efecto negativo en el estilo de vida y una futura frustración. Esta herramienta motivará a las personas que visitan el gimnasio porque será todo un desafío obtener una buena evaluación por parte de la máquina.

En la época actual, todos los procesos se automatizan y la información está al alcance de las personas, por lo tanto, este dispositivo será parte de la modernización de las técnicas tradicionales de hacer ejercicio de una manera más segura y confiable para el usuario.

1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1 La idea del problema

En la actualidad una gran parte de la población tiende a optar por una vida sedentaria debido a una alta demanda laboral que implica poco movimiento o actividad muscular. Este tipo de labores comúnmente se realizan en oficinas con horarios que abarcan la jornada diurna, por lo que posteriormente reduce la motivación de las personas para realizar ejercicio o practicar algún deporte. Luego de un tiempo estas personas sufren de estrés y obesidad, dos aspectos que desatan enfermedades cardíacas, por lo tanto, luego de varios años, esta población toma la decisión de cambiar su estilo de vida y deciden ir al gimnasio y retomar de nuevo la condición física y salud que gozaron en su juventud. Irene (2016) del periódico La Nación explica que:

En una encuesta realizada sobre la salud costarricense se demostró que en los últimos 5 años que hombres con edades entre los 45 a 64 años tuvieron un gran avance en la mejora de su estilo de vida al empezar a comer saludablemente e incorporarse a las actividades deportivas (s. p.).

Esta población muy posiblemente visite los gimnasios en las zonas urbanas o hayan comprado sus propios equipos de gimnasio para ejercitarse, sin embargo, se requiere de un instructor que les defina una rutina y una dieta. Uno de los grandes beneficios que brinda un entrenador personal es ayudar a la persona a mantener un nivel de motivación adecuado para realizar el programa de ejercicios a largo plazo (Vidasaludable, 2013).

Un gimnasio normalmente cuenta con dos o tres instructores que atienden las inquietudes de todas las personas que hacen ejercicio, por ese motivo es muy difícil que todos encuentren motivación y guía continua durante sus rutinas, en caso de las personas que realizan ejercicios en casa con sus máquinas, crean sus rutinas empíricamente por algún conocimiento heredado o porque escucharon un consejo, sin embargo, lo ideal para encontrar mejores resultados y evitar lesiones es contratar los servicios de un instructor. El costo de un instructor privado en la zona costera de Santa Cruz es de alrededor de \$300 (Cruz Matarrita, 2017) el cual es un monto muy elevado para una persona de clase media o baja que quiere incursionar en el campo del deporte.

El protocolo que se sigue al ir al gimnasio es similar al que un instructor personal aplica a sus clientes, pero con el beneficio de que está allí para motivar al deportista, ajustarse a la disponibilidad del tiempo del cliente para hacer ejercicios y principalmente tener la mirada fija sobre el deportista para corregir errores y explotar al máximo sus capacidades físicas. De los aspectos anteriormente mencionados el que se relaciona de forma directa con la salud es la observación constante y corrección que hace el instructor al usuario, sin embargo, luego de conocer la rutina un deportista podría continuar con ayuda de algún sistema interactivo que refuerce el conocimiento y verifique que la tarea se realiza correctamente, por lo tanto, con el uso de tecnología que pueda cuantificar los resultados de manera instantánea y genere sugerencias y alarmas de estado del trabajo realizado, el usuario será capaz de orientarse y trabajar sin una observación continua de su instructor, por lo que esto generará ahorro con el pago por la reducción del número de sesiones de trabajo y

por otro lado, habrá más demanda en la contratación de un instructor privado por reducción de costos.

En el área de la motivación si la deportista toma como un desafío alcanzar buenos resultados con la evaluación de la máquina, esta actitud será un motivador durante el periodo de trabajo y sus resultados le darán confianza. Al final los resultados obtenidos son la recomendación directa del entrenador mientras la máquina solamente vela porque los objetivos se alcancen de una manera segura y planificada.

El desarrollo de un equipo que regule la forma como se realiza ejercicio según la recomendación de un instructor es indispensable en esta era tecnológica, porque reducirá las cargas de trabajo en los instructores. Los usuarios se sentirán comprometidos con cumplir con los parámetros que define el instructor por medio de la configuración en equipo del perfil de cada persona, además, al ser un dispositivo interactivo se sentirán comprometidos con mejorar sus rutinas y acercarse firmemente a sus objetivos con mayor seguridad al saber que cuentan con un dispositivo electrónico que reduce el riesgo de padecer una lesión.

Es muy claro que la tecnología por sí misma no puede operar exitosamente, se requiere de un instructor que sepa operar la máquina, conocer a sus clientes, pues con base en esta información diseñará un perfil seguro y adecuado.

Cuando las personas inician el uso de las máquinas de gimnasio, desconocen aspectos básicos como los pesos a usar, los tiempos de descanso entre las repeticiones, los límites de cada movimiento en los que los músculos realizan el

mejor trabajo y con el menor riesgo de lesión e incluso desconocen cuántas series deben hacer por sesión. Es por este motivo que el instructor debe guiarlos, sin embargo, en algunas ocasiones los deportistas son negligentes o simplemente olvidan las pautas asignadas por el instructor, por tal motivo es necesario que el usuario cuente con un control que le corrija los errores y contabilice y cuantifique los resultados del deportista.

1.4.2 Pregunta del problema

¿De qué manera la tecnología puede influir en el uso correcto de los equipos de gimnasio que requieren una supervisión continua por parte del instructor para reducir las posibilidades de una lesión en el deportista mientras realiza su rutina?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Implementar un sistema que regule el uso de las máquinas de gimnasio por medio de una plataforma electrónica, programable y configurable para la reducción de lesiones físicas en los deportistas que asisten al gimnasio del polideportivo de Santa Cruz durante el año 2017.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar las lesiones a nivel de tendones y músculos que pueden presentarse con el uso de un equipo de gimnasio, por medio de la observación y recolección de datos durante las sesiones de trabajo del gimnasio en el Polideportivo de Santa Cruz.

- Identificar las variables físicas involucradas en los ejercicios: polea al pecho, contracción pectoral y extensión de piernas, que al dimensionarlas de mala forma producen lesiones en los deportistas.
- Diseñar un dispositivo electrónico que regule instantáneamente las variables asociadas a un ejercicio para trabajar pecho, espalda y piernas, a partir de los parámetros configurados por el instructor del gimnasio.
- Evaluar el costo beneficio que tendrá la puesta en funcionamiento del dispositivo de control en las máquinas de gimnasio a un nivel económico y de mercado.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1 Alcances

- La implementación del sistema para regular el uso de los equipos de gimnasio será de uso sencillo, por lo que cualquier persona puede utilizarlo con leer el manual de usuario.
- El sistema de regulación reducirá las posibilidades de que una persona se lesione si el perfil está correctamente configurado y el usuario acata las indicaciones del dispositivo, pues le guiará en cómo hacer el ejercicio de la misma manera que lo haría el instructor en relación a las variables asociadas a la rutina.
- El equipo es de uso comercial o personal, su confección es de bajo costo y los resultados serán favorables en el gremio deportista.

- La información que entrega la máquina se puede almacenar para generar estadísticas que posteriormente permitirán mejorar los resultados en cada sesión.

1.6.2 Limitaciones

- La máquina depende de una programación previa que debe hacer un instructor certificado para que el usuario no corra el riesgo de sufrir una lesión.
- El dispositivo en su etapa inicial funcionará únicamente en una máquina minigimnasio marca Cicadex de 120 lbs.
- Para poner a funcionar el dispositivo en cada máquina de gimnasio se requiere modificar los programas y ajustar los sensores de acuerdo al trabajo que se realiza en máquina, esto implica trabajo adicional que no se contempla en este diseño.
- La máquina solo es capaz de medir y representar los resultados del trabajo realizado, no puede determinar valores como ritmo cardiaco, calorías quemadas entre otros.
- El dispositivo no es capaz de diseñar rutinas a los usuarios pues para esto se requiere la opinión profesional la cual no se puede manipular por la programación, esta depende del entrenador.
- El dispositivo ilustra la técnica de cómo hacer cada ejercicio, sin embargo, el instructor es quien aprueba si está bien. La máquina solo se limita a medir valores, evaluar y prevenir que dichos parámetros se cumplan.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL

Este proyecto involucra primordialmente dos campos: la ingeniería electrónica y la gimnasia, donde el primero le da soporte al segundo para obtener resultados satisfactorios en aspectos como: la mejora de las técnicas en el uso de las máquinas de gimnasio, reducción de incidencias por lesiones en los deportistas durante sus rutinas y una gran motivación a continuar constante en la disciplina. A continuación, se explicará cada uno de los términos necesarios para la comprensión del proyecto. Se inicia con los conocimientos teóricos básicos para comprender el funcionamiento del dispositivo de control y monitoreo del ejercicio, posteriormente se desarrollarán los conocimientos necesarios en el campo de la gimnasia.

2.1.1 Sistema de control

Un sistema de control es un dispositivo que tiene como fin el cumplimiento de una serie de tareas con un objetivo determinado, esto lo logra por medio de los elementos de control y los valores de las señales de entrada (Kuo, 1996). Todo sistema de control está compuesto de tres bloques que son: entrada, lógica de control y salida (Maloney, 1997). Ver figura 1.

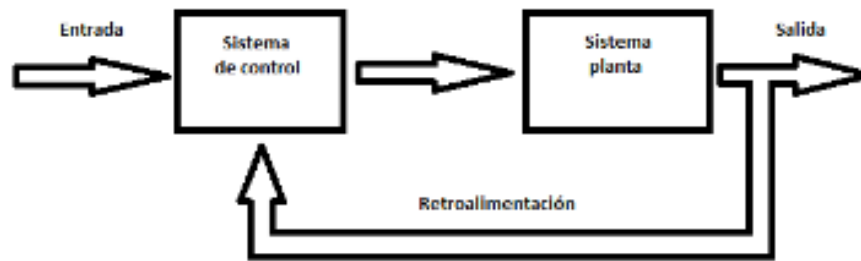


Figura 1. Bloques que componen un sistema de control básico.

Recuperado de: http://instrucontrol.bogspot.com/p/tipos-de-sistemas-de-control_16.html

2.1.2 Circuito electrónico lógico de control

Un circuito destinado al control debe obtener información del exterior por alguna interfaz de entrada de información la cual puede ser del tipo analógica o digital, en caso de ser analógica deber ser convertida en analógica para que el sistema la pueda interpretar y procesar, posteriormente la información resultante se debe enviar al exterior por medio de una interfaz de salida, esta información se entrega en forma digital o se debe transformar a una magnitud analógica para que el operador la pueda comprender con facilidad. A continuación, se explican las partes del sistema.

2.1.2.1 Entradas lógicas

“Es la etapa encargada de recoger información del estado del sistema o de las disposiciones del operador” (Maloney, 1997, p. 2). Esto lo logra por medio de una serie de dispositivos llamados sensores, la información recolectada se transfiere a la unidad lógica de procesamiento.

2.1.2.2 Unidad central de procesamiento (CPU)

Es una estructura digital formada por dos bloques, la unidad aritmética lógica y la unidad de control. En los computadores convencionales se encuentra en solo circuito integrado. Cuentan con registros de memoria para almacenar información a corto plazo durante el procesamiento de la información (Tocci, 2003). Sus principales funciones son: proporcionar señales de sincronización y control para todos los elementos (memorias y dispositivos periféricos), buscar instrucciones y datos en memoria, transferir datos hacia y desde memoria y dispositivos de entrada y salida, contar instrucciones de programa, realizar operaciones aritméticas y lógicas, responder a señales de control generadas por otros dispositivos de entrada y salida como restablecer (*reset*) e interrumpir (*interrupt*). El **ALU** es la unidad lógica y aritmética que se encarga de calcular datos que recibe de memoria o de dispositivos externos, se encarga de generar un resultado final (Tocci, 2003).

2.1.2.2.1 La memoria

Es un dispositivo encargado de almacenar la información que se requiere para el eficiente funcionamiento de la computadora, existen varios tipos con diferentes formas de operación (Tocci, 2003).

2.1.2.2.2 Memoria de solo lectura (ROM)

Es una memoria de solo lectura, quiere decir que cuando se encuentra en operación solo se puede extraer información dentro de ella. Una ROM se puede escribir solo una vez y esta operación se lleva a cabo solo una vez y en la fábrica del dispositivo, posteriormente esta información solo se puede leer (Tocci, 2003). En el

microcontrolador PIC esta memoria se puede borrar y volver a escribir con un equipo especial que se llama programador, en ella lo que se encuentra es el programa que correrá el microcontrolador y el cual es un diseño original del usuario o diseñador del sistema (Palacios, 2009).

2.1.2.2.3 Memoria de acceso aleatorio (RAM)

Memoria de acceso aleatorio a todos sus registros de memoria, por lo cual tarda el mismo tiempo para acceder a cualquier dirección de memoria (Tocci, 2003). Un registro es un espacio de memoria para almacenar una pequeña información.

La memoria RAM es volátil, quiere decir que los datos que contiene solo estarán presentes mientras la memoria cuente con alimentación, de lo contrario perderá la información (Tocci, 2003).

2.1.2.2.4 Memoria EEPROM

Es un tipo de memoria ROM con la característica de que es una memoria programable que se puede borrar eléctricamente al someterle un voltaje de 21V entre dos pines del chip, esta técnica permite ingresar a los bancos de memoria y ser cambiados uno a uno si no se requiere cambiar el resto de la información (Tocci, 2003).

2.1.2.3 Salidas lógicas

Maloney afirma que “son los dispositivos involucrados en el sistema de control que se encargan de recoger las señales de la etapa de salida de los circuitos de

procesamiento lógico para amplificarlas y realizar tareas” (1997, p. 2). Comúnmente son luces informativas, arranque de motores, contactos automáticos y solenoides.

2.1.3 Descripción de dispositivos electrónicos que conforman el circuito del proyecto.

Para realizar una descripción estructurada se presentará la explicación de los dispositivos del proyecto en función de las etapas de cada proceso.

2.1.3.1 Componentes de etapa de entrada:

Estos son los dispositivos que se encargan de captar información del medio ambiente. Son la interfaz que traduce la información entrante por medio de la digitalización de los datos para que sean de uso para la etapa de control. En alguna ocasión la misma etapa de procesamiento transformará los valores analógicos a digitales porque cuenta con la circuitería especial para realizar esta labor.

2.1.3.1.1 Sensor TCRT5000

El sensor TCRT500 es un arreglo de dos componentes: un fototransistor y un diodo led emisor de luz infrarroja que se encuentran en una misma construcción apuntando ambos hacia la misma dirección. En la figura 2 se exhibe un ejemplar del dispositivo donde el encapsulado color azul es el fototransistor y el de encapsulado negro es el diodo infrarrojo.



Figura 2. Sensor TCRT5000.

Recuperado de: <http://showmeyourcode.org/p-content/uploads/2015/12/tcrt5000.jpg>

Un **diodo led** es un elemento semiconductor capaz de conducir la corriente eléctrica en un solo sentido como lo indica su simbología. Según Boylestad y Nashelsky (1989) el diodo es un dispositivo de dos terminales que, en una situación ideal, se comporta como un interruptor común con la condición especial de que solo puede conducir en una dirección. En el caso de los diodos cuando por él fluye corriente genera una luz de distintos colores según el diseño, en este caso la luz es infrarroja y no visible para el ojo humano. En la figura 3 se presenta la simbología de un led y cómo se debe conectar para que funcione.

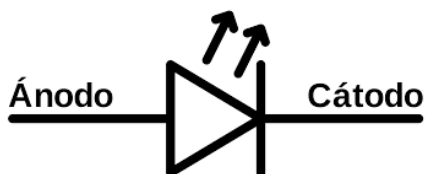


Figura 3. Símbolo de un led.

Recuperado de: <https://www.zonamaker.com/electronica/intro-electronica/componentes/el-diodo-led>

Un **fototransistor** es un dispositivo que es sensible a la luz infrarroja, por lo tanto, cuando la detecta se satura dejando que la corriente pase de colector a emisor. En la figura 4 se presenta el símbolo del fototransistor tradicional el cual aparece con su pin de base físicamente el cual puede accionar eléctricamente el transistor o con luz infrarroja, para efectos del dispositivo TCRT5000 este pin no aparece porque su función exclusiva es accionarse solo por presencia de luz infrarroja.

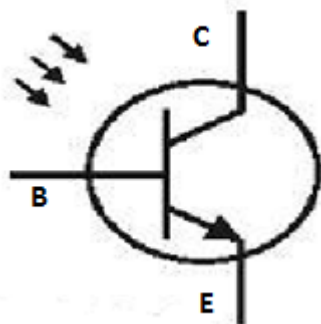


Figura 4. Símbolo electrónico del fototransistor.

Recuperado de: <http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/20061/SensorCor.html>

Para hacer uso correcto del sensor TCRT5000 sin error a dañar alguna de sus partes u obtener resultados errados, se deben acatar las recomendaciones del fabricante.

Según la hoja de datos que proporciona Vishay Telenfukem (2017) recomienda que el led se debe alimentar con una corriente de 20mA y con un voltaje de 1.25V, también indica que con un voltaje de 5V entre colector y emisor la corriente de colector debe ser de 10mA.

En la figura 5 se aprecia la forma en cómo debe conectar y alimentar el sensor para obtener un buen rendimiento.

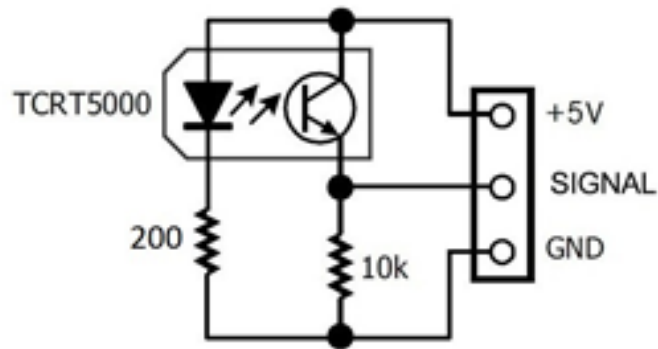


Figura 5. Diagrama electrónico de conexión para el sensor TCRT5000.

Recuperado de: <http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/20061/SensorCor.html>

2.1.3.1.2 Sensor giroscopio modelo GY-521:

Rodríguez (2012) explica que un giroscopio es un dispositivo capaz de medir tres variables de posición en un cuerpo en el espacio; *pitch*, *roll* y *yaw*.

Pith es el movimiento de ascenso y descenso, por ejemplo, de un avión, *roll* es el movimiento de tambaleo hacia los costados, por ejemplo, el tambaleo de un barco por el movimiento de las olas y *yaw* es la dirección que toma, por ejemplo, un vehículo al doblar a la izquierda o la derecha. Ver figura 6.

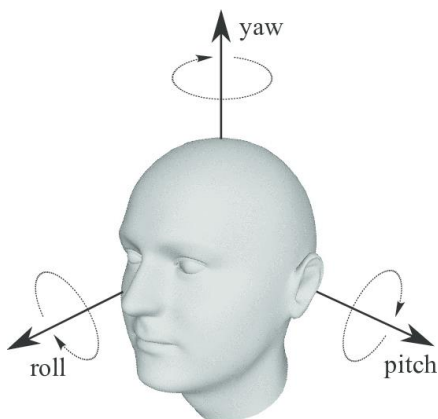


Figura 6. Movimientos de pith, roll y yaw.

Recuperado de: https://www.researchgate.net/figure/309543534_fig3_Figure-3-Head-pose-can-be-decomposed-in-pitch-yaw-and-roll-angles

En el caso del sensor GY-521 es un giroscopio y un acelerómetro por lo que también puede determinar la aceleración de una partícula en los tres ejes X, Y, Z.

En la figura 7 se presenta un ejemplo del componente GY-521 donde se explican los pines de conexión.



Figura 7. Sensor GY-521.

Recuperado de: https://es.aliexpress.com/store/product/MPU-6050-3-Axis-gyroscope-accelerometer-module-3V-5V-compatible-For-Arduino/2130127_32651621824.html

Según la especificación técnica del dispositivo, explica Arduino (2017) la alimentación entre Vcc y GND es de 3V a 5V. La comunicación con otros dispositivos es por medio del protocolo I2C. Palacios (2009) describe que I2C es un puerto serial desarrollado por la empresa Phillips, se caracteriza por bajo costo y fácil cableado, baja tasa de transferencia comparado con transmisión paralela y requiere de un protocolo de comunicación. Para efectos del proyecto el dato que se requiere obtener es el *yaw*.

2.1.3.1.3 Sensor ultrasónico HC-SR04

Un sensor ultrasónico es un dispositivo autónomo de estado sólido diseñado para la detección sin contacto de objetos sólidos de los cuales destaca el monitoreo del nivel de agua en un tanque (Bradley, 2017).

En el caso del sensor HC-SR04 su diseño consiste en dos transductores, un micrófono y un parlante, para realizar la medida el parlante genera una señal ultrasónica no audible por el humano a una frecuencia de 40KHz que viaja en el espacio rebota en el objeto que se va medir la distancia y la onda mecánica incide en el micrófono de regreso (ELECTRONILAB, 2017), posteriormente por medio del *software* se calcula el tiempo que tardó la onda en salir y regresar. Para realizar este cálculo se consideran aspectos como: la velocidad del sonido y la fórmula de velocidad promedio. En la figura 8 se describe cómo la onda mecánica se genera del sensor, rebota en el objeto y se dirige al sensor de regreso. Mientras eso sucede el microcontrolador está midiendo el tiempo.

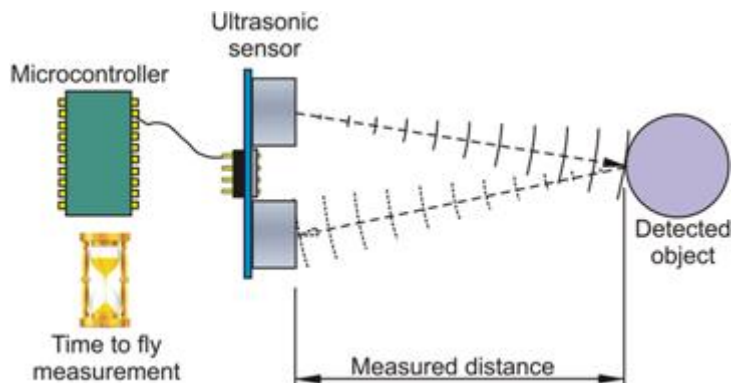


Figura 8. Descripción de cómo opera el sensor HC-SR04.

Recuperado de: <http://www.techmake.com/tutorialhcsr04>

2.1.3.2 Componente de procesamiento microcontrolador

Generalmente la etapa de procesamiento es un microcontrolador, sin embargo, es un dispositivo que está conformado por una serie de secciones lógicas interconectadas para realizar un trabajo en común.

Un microcontrolador es un pequeño computador en un solo chip, por lo que cuenta con toda la estructura física equivalente a una computadora. “Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes necesarios para controlar el funcionamiento de una tarea determinada, como el control de un teclado de ordenador, una impresora, un sistema de alarma, una lavadora, etc.” (Palacios, 2009, p. 1). A continuación, las partes de un microcontrolador.

2.1.3.2.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo *open-source* construida con un microcontrolador modelo Atmega256, como se ilustra en la figura 9. Este dispositivo cuenta con pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales (Ojeda, 2017).

Arduino es un desarrollo que se fortalece a nivel de *software* por una comunidad mundial que continuamente desarrolla bibliotecas para el uso de una gran variedad de dispositivos sensores y actuadores.



Figura 9. Arduino Mega2560.

Recuperado de: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

El procesador Atmega 2560 es un procesador de gama media, cuenta con 54 pines de entrada o salida digital y dieciséis pines de entrada o salida analógicos. Por medio de estos pines se reciben señales del exterior o se gobiernan dispositivos externos (Palacios, 2009). La plataforma Arduino cuenta con un cristal oscilador de 16MHz, un botón de reseteo y un puerto usb para fácil conexión a la computadora.

En la figura 10 se observa la presentación del Microcontrolador Maga 2560.



Figura 10. Microcontrolador Mega de Microship.

Recuperado de <http://atmega32-avr.com/atmega2560-datasheet/>

2.1.3.3 Componentes de etapa de salida

En el diseño del sistema de regulación del uso de la máquina minigimnasio se requiere contemplar elementos indicadores que le permitan al usuario interpretar lo que debe hacer o corregir para hacer uso seguro de la máquina. Como normalmente el ambiente en que se hace ejercicio es en un ambiente ruidoso se utilizarán dispositivos audibles y visuales. Se explican a continuación:

2.1.3.3.1 Buzzer o altavoz

Un buzzer pasivo o un altavoz son dispositivos que permiten convertir una señal eléctrica en una onda de sonido. Este tipo de dispositivo no dispone de electrónica interna, por lo que se le debe proporcionar una señal eléctrica para conseguir el sonido deseado (Llamas, 2017). Este dispositivo se utiliza para informar al usuario eventos que ocurren en forma sonora.



Figura 11. Buzzer pasivo.

Fuente: elaborada por el autor.

2.1.3.3.2 Leds indicadores

Para indicarles a los usuarios sobre los eventos que suceden en la máquina e interactuar con el dispositivo se utilizan led de alta intensidad.

Un led es un diodo emisor de luz que producirá una luz visible cuando se energiza (Boylestad y Nashelsky, 1989).



Figura 12. Diodo led amarillo utilizado en el proyecto.

Recuperado de: <http://www.electrososn.com/producto/diodo-led-amarillo/L5A>

2.1.3.4 Dispositivos de comunicación entre el sistema reductor de lesiones y el usuario

En la industria se utilizan componentes electrónicos que despliegan información por medio de mensajes de texto como las pantallas LCD. En la figura 13 se presenta un ejemplo de una pantalla de cristal líquido de 16 columnas por dos filas.



Figura 13. Pantalla LCS de 16X2 para mensajes cortos.

Recuperado de: <https://programarfacil.com/tutoriales/fragmentos/arduino/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/>

En los últimos años los sistemas más complejos han optado por otro tipo de dispositivos para informar al usuario y que el usuario controle la máquina, un ejemplo son los dispositivos HMI, se trata de una interfaz entre el usuario y la máquina que permite visualizar y controlar un proceso (HETPRO, 2017). La ventaja de usar este tipo de dispositivos, es que el fabricante ofrece los recursos suficientes para un mejor control de los sistemas. En la figura 14 se presenta un ejemplo de este tipo de dispositivos y la diferencia en el diseño gráfico, colores y resolución con respecto al

LCD tradicional, se puede ver que es posible crear elementos como botones o textos.



Figura 14. Pantalla HMI para control de procesos.

Recuperado de: https://www.researchgate.net/figure/317640268_Figura-3-11-HMI-del-generador-4-pantalla-1-13

2.1.4 La máquina multigimnasio

La máquina de gimnasio Cicadex código: 303-2956, tipo *home*, cuenta con un sistema hecho a partir de cables y poleas donde cada ejercicio produce el levantamiento de placas de hasta 120Lbs, también cuenta con dos barras para realizar trabajos con los brazos y un grillete para realizar trabajos con los pies. (CICADEX, 2016). En la figura 15 se presenta el kit completo de la máquina con sus accesorios.



Figura 15. Mini gimnasio Cicadex 303.2956, 120Lbs.

Fuente: <http://cicadex.com/producto/mini>

Una máquina es un conjunto de piezas o partes que están destinadas a realizar un trabajo físico. Reulaux define máquina como una "combinación de cuerpos resistentes de manera que, por medio de ellos, las fuerzas mecánicas de la naturaleza se pueden encauzar para realizar un trabajo acompañado de movimientos determinados" (Shigley y Uicker, 2016). En la máquina para hacer ejercicios la fuerza mecánica proviene del usuario el trabajo realizado es el desplazamiento vertical de las placas de peso.

La gimnasia es la actividad física que realizan los humanos para ejercitar y perfeccionar la condición física por medio de rutinas (Díaz y Bollea, 2012). Explican que la gimnasia proviene del griego *gymnos* que consistía en la preparación física por medio de ejercicios al desnudo, esta actividad la practicaban los griegos para

prepararse para la guerra o los juegos olímpicos. Por lo tanto, la máquina de gimnasia es un dispositivo compuesto por una serie de partes físicas diseñadas para que las personas realicen diferentes trabajos que ejercitarán el cuerpo del usuario para darle una correcta preparación física ante cualquier deporte o exigencia física.

2.1.5 Ejercicios controlados por medio del sistema propuesto

La máquina minigimnasio es una herramienta biomecánica que le permite a las personas ejercitar sus extremidades y diversos músculos del cuerpo por medio del movimiento repetitivo de un trabajo. Según Biomecánica Martínez (2014) la biomecánica es una disciplina que estudia el movimiento del cuerpo en sus diferentes circunstancias, esta rama se dedica a analizar la actividad del ser humano y la respuesta que tiene el organismo ante esto.

A continuación, se explica el procedimiento de cada uno de los ejercicios que se controlarán por medio del sistema electrónico propuesto para reducir lesiones en deportistas.

2.1.5.1 Ejercicio extensión de piernas en máquina de gimnasio

Cuando se realiza el ejercicio extensión de piernas se trabajan los cuádriceps, esto es un grupo muscular compuesto de cuatro músculos que son: recto femoral, vasto medial, vasto lateral y vasto intermedio (PROZIS, 2017). En la figura 19 se exhibe la ubicación de estos músculos en la pierna.

Para realizar este ejercicio correctamente se debe seguir los siguientes pasos:

1. Siéntese sobre el aparato y coloque su espalda paralela al respaldar hasta que la parte superior de los glúteos toque el respaldar, luego apóyese del sentadero o de los brazos de la máquina.
2. Coloque sus dos pies por debajo de los rodillos de extensión. En esta posición inicial las piernas deben formar un ángulo de 90° si se considera las rodillas como vértice.
3. A continuación, haga fuerza gradualmente con ambas piernas a una velocidad moderada hasta lograr una extensión de piernas donde el nuevo ángulo que se forma con las piernas tomando como vértice las rodillas sea de 180° .
4. Seguidamente comience a bajar en forma lenta las piernas hasta alcanzar la posición inicial.
5. Una vez logrado repita sucesivamente el ciclo de ejercicio la cantidad de veces que se propone en la rutina asignada por el instructor.

El tiempo de ascenso, el tiempo de descenso, el peso de trabajo, los tiempos de descanso, el número de series y el número de repeticiones son variables deportivas asociadas a este ejercicio y las asigna el instructor.

La recomendación en este ejercicio es que la postura debe ser rígida, erguida y paralela al respaldar de la máquina, de tal forma que el cuerpo quede haciendo la figura del sillín, se debe apoyar firme a los brazos de soporte o sentadera de la máquina de tal forma que solo las piernas generen movimiento durante el ejercicio. (Cruz Matarrita, 2017). En la figura 16 se describe la posición correcta al hacer el ejercicio de extensión de piernas.

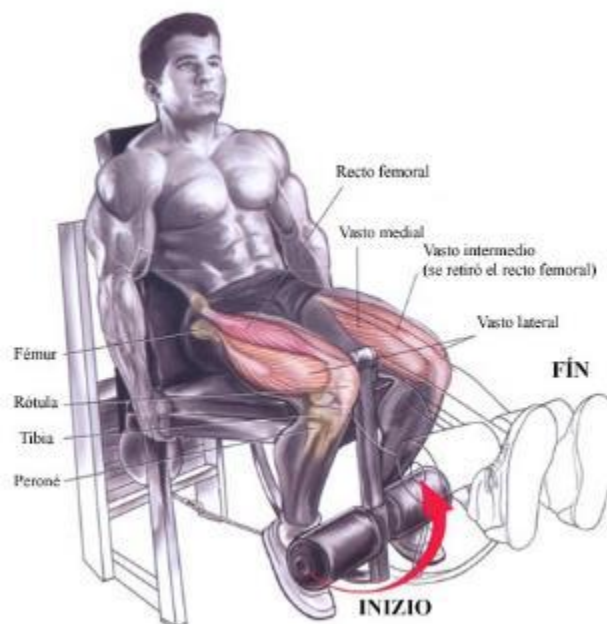


Figura 16. Explicación de la técnica para ejercicio de flexión de piernas.

Fuente recuperada de: <https://www.prozis.com/blog/es/ejercicio-extensión-piernas-leg/>

2.1.5.2 Contracción de pecho en máquina de gimnasio

Cuando se realiza el trabajo de apertura en contracción de pecho el mayor trabajo se realiza con en el pectoral mayor y secundariamente se requiere esfuerzo del musculo coracobraquial y de la porción corta de los bíceps (Delaiver, s.f.). En la figura 17 se explica la ubicación de estos músculos.

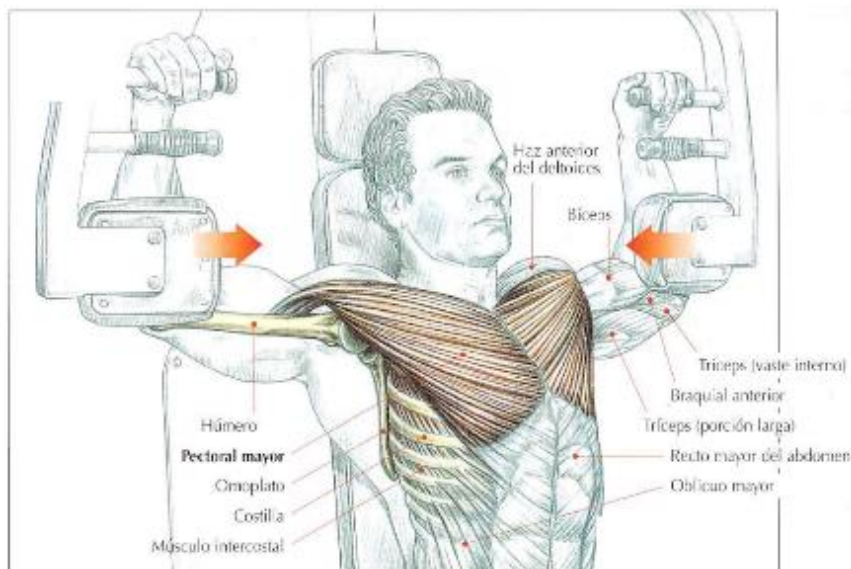


Figura 17. Músculos relacionados al ejercicio contracción pectoral.

Fuente recuperada de: Guía de los movimientos de musculación, descripción anatómica.

A continuación, el protocolo para realizar este ejercicio.

1. Seleccionar el peso de trabajo asignado por el instructor.
2. Sentarse en el banquillo y colocarse en forma erguida y con la espalda paralela al respaldo.
3. Colocar los brazos por la parte trasera de los cojines de tal forma que el brazo y el antebrazo formen un ángulo de 90° donde el codo es el vértice, en esta posición el antebrazo debe quedar perpendicular al torso también.
4. Con las muñecas relajadas se comienza a hacer fuerza gradualmente por medio de la contracción pectoral hasta que ambos antebrazos queden paralelos. Durante este ejercicio se inspira oxígeno y se sostiene la respiración cuanto se alcanza el punto máximo.

5. Luego lentamente se retrocede el movimiento hasta alcanzar la posición inicial, durante esta etapa se exhala el dióxido de carbono cuando se está llegando a la posición inicial. En la figura 18 se exhibe la posición de partida y la posición final que es al alcanzar a que los antebrazos queden paralelos.

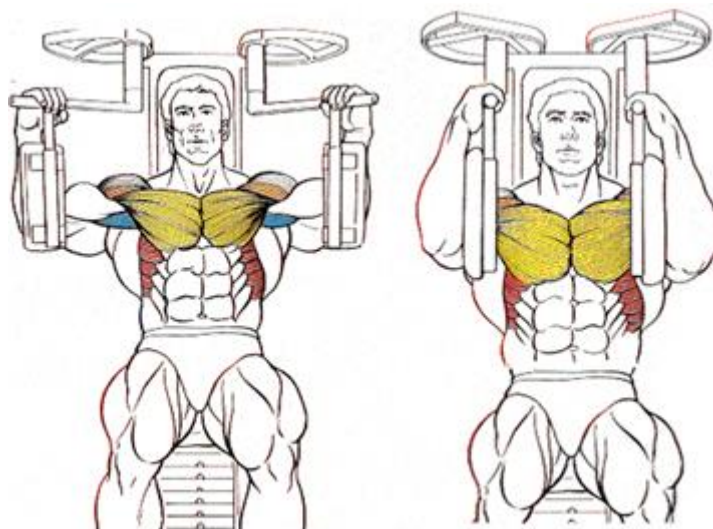


Figura 18. Posición inicial y final de ejercicio contracción de pecho.

Fuente: https://es.fitness.com/forum/imagenes/ejercicios/pectoral_contractor.bmp

2.1.5.3 Ejercicio polea al pecho en máquina de gimnasio

Cuando se trabaja con la rutina polea al pecho se trabaja con mayor intensidad los grupos de músculos de la espalda entre estos: el dorsal ancho y el redondo mayor (Vitónica, 2017). Si se trabaja con una barra de agarre estrecho se desarrollan más todos los dorsales inferiores y se desea trabajar con una barra de agarre ancho se desarrollan más los dorsales superiores. Existen otros músculos asociados que realizan un trabajo de menor esfuerzo como: trapecios, bíceps branquial y branquial

interior. En la figura 19 se representan los músculos asociados al ejercicio polea al pecho.

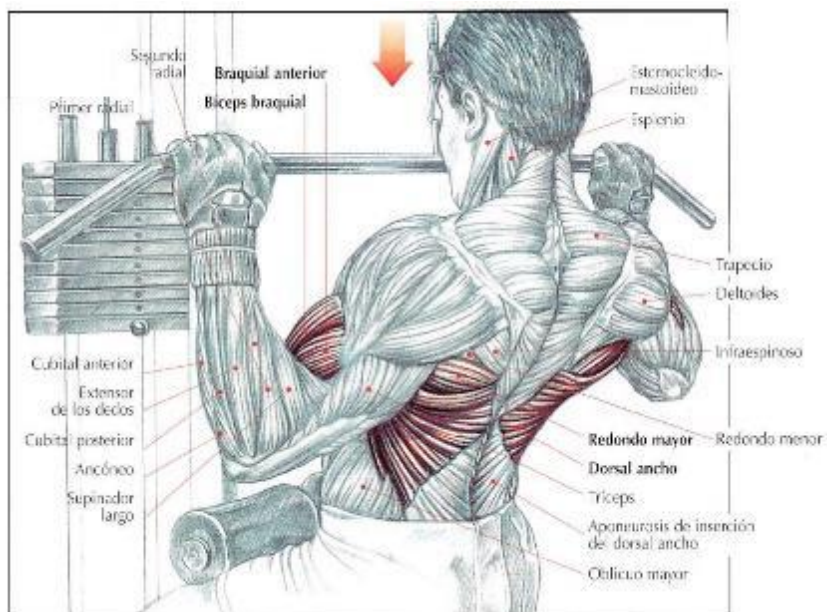


Figura 19. Músculos relacionados al ejercicio polea al pecho.

Fuente recuperada de: Guía de los movimientos de musculación, descripción anatómica.

A continuación, el protocolo para realizar este ejercicio:

1. Inicialmente se selecciona el peso con el que se requiere trabajar según recomendación del instructor.
2. Seguidamente el usuario se debe sentar frente a la polea con sus piernas fijas bajo los cojines.
3. Posteriormente se carga la polea con ambas manos en cada extremo de la barra en forma de pronación de tal forma que las palmas queden hacia abajo separadas.

4. Ahora con la espalda recta se inspira y se tira de la barra mientras se flexionan los codos y se descienden por los lados del cuerpo hasta el punto que la barra toque el pecho, hasta que la barra llegue a la altura del esternón, es decir se lleva la polea hacia el pecho.
5. Luego se retira la barra del pecho lentamente con un movimiento contrario al anterior.

Durante el movimiento no se debe dejar caer el peso abruptamente y el movimiento del torso no debe movilizarse demasiado durante el ejercicio y en la posición inicial los brazos deben estar extendidos (Delaiver, s.f.). En la figura 20 se explica cómo deben estirarse los brazos para el movimiento final que se hace lentamente y no de golpe.

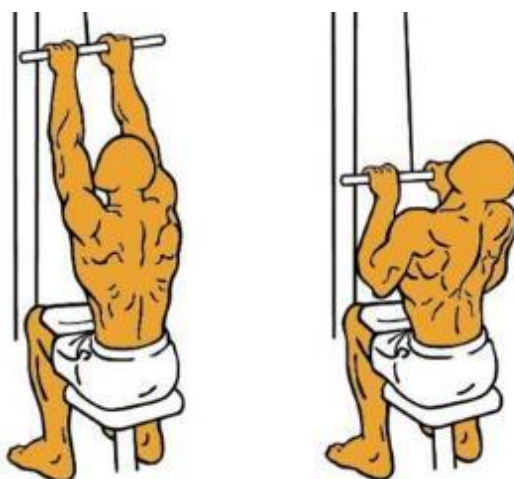


Figura 20. Posiciones correctas para ejercicio polea al pecho.

Fuente recuperada de: <https://www.vitonica.com/musculación/guia-para-principiantes-xxxix-polea-al-pecho>

2.1.6 Lesión deportiva

Según MedlinePlus (2017) una lesión es un daño que ocurre en el cuerpo, el cual puede ser por: caídas, golpes, quemaduras, armas u otras cosas. Estas lesiones pueden ser menores o severas y ponen en peligro la vida. En el campo del deporte una lesión es una alteración que ocurre durante la práctica de ejercicio físico y se clasifica según su ubicación anatómica (fisioterapia-online, 2017).

2.1.7 Causas más frecuentes de una lesión

Existen varios factores que son los que pueden provocar una lesión y se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Factores predisponentes:

Entre este grupo puede mencionarse la inadecuada preparación física. Las personas se tienden a lesionar por no hacer un buen calentamiento y estiramiento antes de hacer ejercicio (Vitónica, 2017). Otro motivo es la desmotivación, por ejemplo, una mala relación entre entrenador y deportista. El cansancio es otro factor muy riesgoso porque el deportista no da el cien por ciento de su capacidad. Por último, la mala nutrición es otro factor que puede desembocar en una lesión.

2. Factores extrínsecos:

Son todos aquellos factores externos al deportista pero que se requieren para realizar el deporte como: los equipos y los servicios del gimnasio, el calzado, características relacionadas al deporte que se practica y aparatos ortopédicos para ajustar mejor la experiencia del deportista.

3. Factor principiante:

Cuando el deportista es novel aspectos como el sobre esfuerzo, mala técnica de cada ejercicio y traumatismos son aspectos que pueden conllevar a un principiante sufrir una lesión (Vitónica, 2017).

2.1.8 Tipos de lesiones debidas al deporte de gimnasio

Las lesiones se clasifican en dos tipos: las lesiones agudas y por uso excesivo, las primeras ocurren en forma repentina y tienen causa o un comienzo claramente definido. La segunda se desarrolla en forma gradual. En el caso de las lesiones en las máquinas de trabajo se consideran del tipo excesivo pues es en la práctica de deportes técnicos en el que se repite el mismo movimiento varias veces (Cover, Bahr, Maehlum, Bolic y Merlo, 2007).

2.1.8.1 Lesiones por sobre carga

Inciden sobre el aparato locomotor con una intensidad de leve a moderada. Actúa de forma repetitiva y acumulativa. Es la lesión que se presenta durante el ejercicio, no es tan grave para detener el entrenamiento, pero se convierten en crónicas si no se tratan a tiempo (WebConsultas Healthcare, S. A., 2017).

2.1.8.2 Lesiones en los ligamentos

Los ligamentos son estructuras de tejido colágeno que conectan un hueso con otro (fisioterapiaonline, 2017), su función básica es estabilizar las articulaciones de manera pasiva. Una lesión en un ligamento ocurre por lo general como resultado de un traumatismo agudo. El mecanismo típico de lesión consiste en una sobrecarga

repentina con distensión de ligamento mientras la articulación se encuentra en una posición extrema.

2.1.8.3 Lesiones musculares

Los músculos conforman el 45 % de la masa corporal, su función principal es generar potencia al organismo. Las lesiones musculares, según Cover, Bahr, Maehlum, Bolic y Merlo (2007) obedecen generalmente a dos mecanismos: 1) distensión (estiramiento muscular) y 2) traumatismo directo que produce contusión de músculo. Por otra parte, también ocurren desgarros (laceraciones) musculares, pero son poco comunes en el deporte.

2.1.8.4 Lesiones en los tendones

Los tendones son tejidos conjuntivos que unen el músculo con el hueso, su función esencial es transferir la fuerza desde el músculo al esqueleto para producir movilidad y estabilidad a la articulación.

Las lesiones tendinosas pueden ser tanto del tipo agudo como por excesivo. Las roturas tendinosas agudas se producen cuando la fuerza aplicada excede la tolerancia del tendón (Cover, Bahr, Maehlum, Bolic y Merlo, 2007). Los tendones son el tejido más susceptible a padecer lesiones por uso excesivo, por lo tanto, se considera como una lesión común en el uso de la máquina de gimnasio. Las lesiones tendinosas se caracterizan por ser del tipo inflamatoria pero la patogenia real de las lesiones por uso excesivo aún se desconocen.

2.1.8.5 Lesión cartilaginosa

El cartílago está compuesto por elementos básicos del tejido conjuntivo que incluyen células y matriz extracelular. Existen tres tipos: elástico hialino, el más importante y fibrocartílago. La superficie articular de la mayoría de las articulaciones está revestida por el cartílago hialino.

Según Cover, Bahr, Maehlum, Bolic y Merlo (2007) la lesión del cartílago hialino puede ser consecuencia de una contusión aguda, que ocasiona la ruptura o bien de fuerzas de cizallamiento aplicadas a la articulación, que producen desgarros verticales y horizontales.

2.1.8.6 Lesiones esqueléticas

El esqueleto se compone de huesos que es un tipo de tejido conjuntivo que continuamente se remodela como consecuencia del complejo juego interno entre cargas mecánicas, hormonas sistemáticas y homeostasis del calcio (Cover, Bahr, Maehlum, Bolic y Merlo, 2007).

La principal lesión son las fracturas que producen alteración estructural de la alineación, trastornos de movilidad y acortamiento de una extremidad.

2.2 MARCO DE GESTIÓN DE PROYECTO

Para la elaboración del proyecto las actividades se realizarán a partir de la metodología DMAIC que permitirá valora durante la ejecución de las diversas tareas si se va por la ruta correcta para culminar con éxito el proyecto.

La primera fase es el planeamiento. En esta fase se aplicará el método de definir, por medio del cual se concretará puntualmente la idea del problema, a partir de esto se recopila información referente a los temas que rodean al problema y a partir de estos datos se formula cómo solucionarlo, además, de la técnica o parámetros para medir los resultados del trabajo realizado en las siguientes etapas.

La segunda fase es el desarrollo, en esta etapa se tienen los insumos necesarios para diseñar la solución al problema, la cual se mide y analiza conforme se va ajustando cada una de sus partes hasta tener el resultado esperado.

La tercera fase consiste en la implementación, en esta fase la solución al problema se pone a prueba y se analiza cómo opera y los resultados que se obtienen por parte de los usuarios. En esta etapa se reconocen los resultados de la solución propuesta.

La cuarta fase es control. En esta etapa del proyecto se debe tomar la decisión de hacer las modificaciones necesarias para asumir el control de la solución al problema, para esto se da un vistazo a las etapas anteriores para verificar que no ha habido algún error que aleje al proyecto de la solución al problema. Siempre es importante reconocer que todo proyecto requiere afinamiento luego de ser sometido a pruebas.

La quinta fase consiste en evaluación. Esta última fase del proyecto es la que califica los resultados de todo el trabajo realizado. En esta etapa se certifica que el objetivo general se debe cumplir en su totalidad.

2.3 MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO

El proyecto consiste en un sistema que reduce los riesgos de sufrir una lesión cuando se hace uso de una máquina biomecánica de gimnasio. Las posibilidades de que una persona se lesione dependen de varios factores, entre estos: el tiempo de calentamiento previo al ejercicio, la ropa o calzado inadecuados para el ejercicio, el cansancio y la alimentación del deportista. El dispositivo no puede corregir estos factores, sin embargo, puede corregir otros parámetros deportivos como el peso de trabajo, las series, repeticiones e incluso una recomendación de la postura del cuerpo.

De todos los aspectos que influyen en una futura lesión sí se pueden controlar ciertos parámetros, con relación a la técnica se puede afirmar que esto reducirá el porcentaje de lesiones en la población de deportistas que visitan el gimnasio del Polideportivo de Santa Cruz. Esto es beneficioso en la población de deportistas principalmente los novatos que visitan las instalaciones pues les dará más confianza en la ejecución de los trabajos asignados por el instructor al punto de que esto generará una necesidad en los usuarios la cual no se encuentra en otros gimnasios.

Al ser este sistema de control un monitor y guía continuo, el instructor cuenta con un ayudante que llevará una medición más precisa de la evolución y desarrollo del ejercicio, esto aumenta la imagen del negocio y las personas sentirán que están experimentando el uso de máquinas con tecnología de última generación

Al ser un sistema funcional para diferentes ejercicios se puede adaptar a cualquier máquina biomecánica que trabaje con poleas.

El diseño total, incluyendo *hardware* y *software*, es de bajo coste, fácil adquisición y de fuente abierta por lo que se puede adaptar con poco esfuerzo a diferentes máquinas biomecánicas.

Al incorporar tecnología la vida útil de las máquinas será mayor porque mientras mecánicamente estén bien no serán antiguas, más bien tendrán el concepto de que fueron actualizadas.

Este tipo de tecnología no se encuentra en ningún gimnasio de la zona por lo que la idea es comercializable al resto de los negocios relacionados al ejercicio.

2.4 ANTECEDENTES DE TEORÍAS O PROYECTOS

Actualmente, existen diferentes empresas dedicadas al campo de la salud que se han especializado en el campo de la biomecánica en los deportistas. En el campo del ciclismo (Policlínica Gipuzkoa, 2017) se ha dedicado a implementar el uso de una unidad biomecánica del ciclista, que consiste en un sistema de última generación que le permite encontrar la postura perfecta en cada disciplina del ciclismo: *mountain bike*, carretera, triatlón, ciclocrós, etc. En la figura 21 se presenta a un deportista y un experto del deporte realizando pruebas en una bicicleta de laboratorio.



Figura 21. Unidad biomecánica del ciclista.

Fuente recuperada de: www.policlinicagipuzkoa.com/oferta-especial-en-la-unidad-de-biomecanica-del-ciclista/

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para la confección correcta del sistema que regulará el uso de las máquinas de mini gimnasio se requiere hacer una investigación previa donde se recolectarán datos durante el uso cotidiano de la máquina por parte de los usuarios de edades superiores a los 35 años. La información recolectada servirá para definir las variables y las características que se deben tomar en cuenta para el diseño del sistema electrónico a desarrollar. Durante la implementación se tomará una muestra de diez usuarios para comprobar su funcionalidad y se tomará nota para las correcciones que sean necesarias.

Hernández, Zapata y Mendoza (2010) explican que por medio de los estudios descriptivos lo que se quiere es especificar los propiedades, características y perfiles de personas, comunidades, procesos, objetos o fenómenos para recolectar información importante de acuerdo con las variables que se requieren estudiar para describir lo que se está investigando.

Cuando se realice la implementación se continuará con una investigación del tipo correlacional donde se observarán los beneficios físicos que tienen los individuos de estudio en función con las variables consideradas durante el diseño del sistema que regula el uso del equipo de gimnasio para evitar lesiones. “Los estudios correlaciones tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular” (Hernández, 2010, p. 75).

3.1.1 Finalidad del proyecto

El proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema electrónico el cual se fabrica a partir de una investigación hecha en el campo de la educación física y el deporte de gimnasio para comprender las variables necesarias que se deben considerar para su diseño, luego se hace uso de los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Electrónica para plantear el diseño y la selección de dispositivos útiles en la construcción del dispositivo, por lo tanto, la finalidad de la investigación es aplicada tecnológica porque a partir de los conocimientos puros de dos diferentes ramas busca producir un dispositivo tecnológico que traerá resultados positivos a los individuos que se dedican al deporte. Von Braun (s. f.) plantea que la investigación científica aplicada pretende transformar el conocimiento 'puro' en conocimiento útil, esto lo logra con la producción de tecnología al servicio del desarrollo humano.

3.1.2 Dimensión temporal

Es del tipo transversal porque desde el inicio de la investigación hasta la implementación y conclusión de resultados se abarca siempre el mismo tema de investigación, en este caso referente a la regulación del uso del equipo de gimnasio para reducir las posibilidades de una lesión.

3.1.3 Marco

La investigación se caracteriza como macro porque el estudio se realiza en una máquina específica del gimnasio del polideportivo de Santa Cruz y todas las

pruebas, recolección de datos y análisis se harán únicamente a partir de este dispositivo.

3.1.4 Naturaleza

La naturaleza del proyecto es del tipo cualitativo porque el estudio se enfoca en cómo mejorar las técnicas en el uso de las máquinas de mini gimnasio por medio de las recomendaciones que genera al usuario automáticamente mientras hace su rutina.

3.1.5 Carácter

Con base en la investigación se realiza un dispositivo electrónico que es el proyecto que es el resultado esperado al final del proceso.

3.2 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE LESIONES EN EQUIPOS DE GIMNASIO

Por la naturaleza del proyecto, se emplea el método DMAIC de seis sigmas para la gestión del proyecto, el cual es un proceso estructurado y disciplinado que consiste en cinco fases lógicas conectadas entre sí: analizar, definir, analizar y mejorar (McCarty, Bremer, Lorraine y Praveen, 2005).

La primera fase es **identificar** un proyecto para mejorar algún proceso, en este caso se visita el gimnasio del polideportivo de Santa Cruz, para observar una carencia que se pueda mejorar con el uso de tecnología electrónica. Durante la visita se observa que alguna porción de la población tiende a salirse de las instrucciones establecidas por el entrenador, esto sucede por tres aspectos: negligencia, exceso de confianza

del deportista y por falta de conocimiento en el uso de la máquina. Por lo tanto, se plantea que este proceso tiene que mejorar porque entre los objetivos del gimnasio están: velar por la salud e integridad de los habitantes del cantón y es notable que este comportamiento o carencia en el proceso aumenta la posibilidad de una lesión en los deportistas que visitan el gimnasio.

En la segunda fase por medio de la observación e investigación de campo se determina cómo funcionan las máquinas para diferentes ejercicios y el comportamiento de los usuarios del gimnasio durante la rutina. Luego, por medio de un cuestionario aplicado a diez deportistas se determinará el conocimiento de lesiones en torno a las máquinas y la percepción del usuario en el uso de tecnología en cada máquina para reforzar la seguridad al reducir las posibilidades de sufrir una lesión. Luego se aplicará una entrevista a los instructores para generar información acerca de las variables que se deben controlar en el proceso. El resultado de esta fase permite **medir** los parámetros asociados al proceso y reconocer cuales lo afectan, a partir de aquí se tiene claramente documentado e identificado el problema.

En la tercera fase se **analizan** los resultados obtenidos en la fase dos y permite identificar cómo debe ser el diseño del sistema de control para que cumpla con el objetivo del proyecto. Aquí se diseñan las diferentes etapas del circuito electrónico que será capaz de medir y corregir las variables mal manipuladas por el usuario, así como notificar los errores cometidos para que el usuario los corrija o el instructor que también se entera lo haga por la seguridad del usuario.

En la cuarta fase se implementan y validan posibles soluciones para lograr el uso correcto de las variables que ocasionan el problema, por lo tanto, se hacen pruebas

individuales donde cada una controla una variable, esto permite **mejorar** el diseño final que es la integración de todas las partes. Se requiere de investigación y ensayos antes de dar el diseño total, pues lo primero que se plantea no precisamente es lo que se requiere. Se pone a prueba el sistema en el lugar donde se produce el problema para verificar que la solución es pertinente.

En la última fase del proyecto se debe certificar que los objetivos se cumplan y que los resultados del sistema cumplan con lo establecido en el diseño planteado. Se verifica que los usuarios hagan uso del sistema y que el producto final sea el **control** y monitoreo de las variables deportivas que por mala manipulación pueden lesionar a una persona. Por medio de un manual el instructor y los usuarios de la máquina podrán hacer uso del sistema a partir de su implementación.

3.2.1 Aplicación de la metodología para la construcción del sistema

Con el uso de la metodología DMAIC se establece el siguiente orden de pasos o actividades para identificar el problema, diseñar la solución, implementar la solución al problema y posteriormente evaluar sus resultados para generar conclusiones y recomendaciones.

3.2.1.1 Investigación acerca de los ejercicios en las máquinas de gimnasio

Se realiza una investigación teórica relacionada con los ejercicios con máquinas para comprender los diferentes tipos de ejercicios que se hacen en el gimnasio, así como los resultados que se esperan con cada uno. Esta información se recolectará de medios electrónicos, libros y el conocimiento facilitado por los entrenadores. Por

medio de esta actividad se alcanzará un conocimiento riguroso que permitirá determinar variables asociadas a las máquinas de ejercicio que se requieren controlar, también se definirán tres ejercicios para modelar el sistema de control para la reducción de lesiones.

La finalidad de esta actividad es generar un conocimiento básico en el autor que le permita incorporarse en el área del deporte relacionado con las máquinas de gimnasio para inicialmente aportar ideas al diseño del sistema de control y también para interpretar correctamente la información que se obtendrá en las siguientes etapas por parte de los instructores y usuarios.

3.2.1.2 Identificación de factores que ponen en riesgo a los deportistas con el uso de las máquinas del gimnasio de Santa Cruz

Se visitará el gimnasio del polideportivo de Santa Cruz para realizar una observación detallada del trabajo que realizan los instructores y del comportamiento de los usuarios durante el uso de las máquinas de gimnasio. Posteriormente, con el conocimiento adquirido en el apartado 3.2.1.1, se identificarán los siguientes factores: las carencias del entrenador para identificar de forma oportuna los riesgos físicos a los que se exponen los deportistas durante el uso de las máquinas de gimnasio y los errores y hábitos negativos que comenten los deportistas por negligencia o falta de conocimiento cuando realizan su rutina en las máquinas del gimnasio.

3.2.1.3 Aplicación de cuestionario a usuarios del gimnasio del Polideportivo de Santa Cruz

Se aplicará el cuestionario que se encuentra en el anexo xxx. a 11 usuarios del gimnasio para conocer acerca de sus experiencias como deportistas. Esta actividad va a reforzar lo observado en el apartado 3.2.1.2. por medio de las respuestas de los usuarios. Este cuestionario se enfoca en la necesidad de los usuarios de contar con un sistema que regule el uso de las máquinas del gimnasio para reducir la posibilidad de una lesión. Los resultados obtenidos arrojarán los siguientes datos importantes que determinarán si se requiere el uso de tecnología en las máquinas de gimnasio:

- A. Número de personas que asisten actualmente al gimnasio y han sufrido una lesión cuando usaban las máquinas de levantar peso.
- B. Si alguna vez ha alterado la rutina que le asignó el instructor.
- C. Si alguna vez no ha podido terminar su rutina por alguna dolencia.
- D. Si ha tenido algún conocido que se lesionó y no pudo continuar en el gimnasio.
- E. Si han hecho uso de tecnología en las máquinas del gimnasio.
- F. Si confían en algún desarrollo electrónico que regule el uso de la máquina y así evitar una lesión.
- G. Si consideran que es mejor que algún dispositivo controle las variables y la técnica durante el tiempo que el instructor no está presente para guiarle.

- H. Si el uso de videos interactivos le ayuda a controlar mejor las técnicas de cada ejercicio.
- I. Determinar la confianza del deportista al realizar la rutina mientras no lo están monitoreando.
- J. Lesión en el deportista que no ha sido reportada y continúa haciendo ejercicio.
- K. Medir el interés que el deportista muestra al asistir a un gimnasio con sistemas que regulan las máquinas para evitar que se lesione.
- L. El interés del deportista por tener una medida de su evolución deportiva con mayor precisión para evaluar su rendimiento.

3.2.1.4 Entrevista a entrenadores de gimnasio acerca del sistema de control para máquinas de gimnasio

Con esta actividad se conocerá la aceptación del producto por parte de los entrenadores, quienes se pueden sentir atacados al existir una máquina que se basa en el trabajo que ellos realizan, se debe dejar claro que es una herramienta y no un sustituto del entrenador pues para operar eficientemente requiere de la definición de los parámetros para cada usuario, los cuales solo el profesional del deporte puede asignar. Con esta actividad se confirma qué aspectos se deben controlar durante la rutina para evitar lesionarse.

3.2.1.5 Entrevista a propietarios en relación con los aspectos de valor agregado sobre el sistema y la aceptación comercial

Por medio de esta entrevista se determinan las características que un propietario requeriría de la máquina para mejorar sus ingresos y generar más *marketing* para atraer clientes.

3.2.1.6 Diseño electrónico del dispositivo de que regula el uso de la máquina de gimnasio

Con base en la información recopilada en la investigación se evalúan las distintas etapas del sistema en forma modular para definir sus componentes, los cuales deben ser precisos, discretos y aceptados por los usuarios.

En este apartado se hacen pruebas técnicas entre sensores, sistemas de procesamiento de información y dispositivos de comunicación por variable para interpretar la información y corregir errores en forma estructurada. Este método ahorra tiempo y reduce errores durante la confección del sistema electrónico.

3.2.1.7 Instalación del hardware en la máquina multigimnasio Cicadex

Cuando se han definido los componentes para el sistema electrónico se continua con la instalación de todas las partes al equipo minigimnasio Cicadex, entre estos se encuentran: sensores, actuadores, sistema de procesamiento, fuente de alimentación, cableado, cajas de protección y sistemas de comunicación. Una vez instalados se debe garantizar que están ubicados de tal forma que el usuario pueda acceder a la información cómodamente y que no afecten el desarrollo del ejercicio.

3.2.1.8 Desarrollo de software de control y uso de la máquina de gimnasio

En esta etapa inicialmente se confeccionará la lógica de cómo debe funcionar el sistema por medio de diagramas de flujo por etapas de las actividades que contemplan el total del sistema a implementar. Para realizar esta etapa se requiere investigar y estudiar las bibliotecas que hayan desarrollado otras personas o empresas y en caso de que no existan desarrollar las propias para la puesta en funcionamiento del sistema diseñado.

3.2.1.9 Pruebas de laboratorio para afinamiento del sistema de control

Con la experiencia de personas deportistas se harán los primeros ensayos para ajustar el *software* y el *hardware* a satisfacción de los usuarios de prueba. En esta fase se pone la máquina a operar en el punto para que entregue los resultados planteados en el diseño inicial. Se identificará carencias o partes que no son necesarias para obtener los mismos resultados.

3.2.1.10 Pruebas de campo en el gimnasio del Polideportivo de Santa Cruz

Se pone en funcionamiento la máquina en el gimnasio para que los usuarios que llenaron el primer cuestionario aprendan a usar la máquina y realicen el ejercicio acatando los parámetros, alarmas y recomendaciones del dispositivo electrónico.

3.2.1.11 Entrevista de aceptación del sistema que regula el uso de la máquina de gimnasio para evitar lesiones

Se aplica un cuestionario que va a determinar la aceptación del dispositivo por parte de los usuarios. Las preguntas se enfocarán en la experiencia en el uso de la máquina para determinar confianza, la evaluación del ejercicio y la percepción del usuario como una herramienta importante en las máquinas que la vuelven interesantes para implementar en todo el gimnasio.

3.3 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Según lo explica el método DMAIC a partir de la fase de análisis se determina que el problema existe y es real por lo que es viable diseñar un sistema o proceso que satisfaga la solución al problema.

Para implementar el proyecto se sigue el siguiente método lógico diseñado por el autor.

3.3.1 Planteamiento para medición de las variables

Para controlar las variables y corregirlas se requiere primero poder interpretarlas, por lo tanto, es necesario investigar qué tipo de componentes electrónicos pueden realizar este trabajo. Se requiere hacer una investigación técnica y de mercado para adquirir los componentes que se utilizarán en el diseño.

3.3.2 Planteamiento para procesar la información de las variables

La información que proviene de las variables debe procesarse para posteriormente realizar la corrección de errores, en esta etapa se evalúa qué componente se

encargará de este proceso y la compatibilidad con los sensores que se recomendaron en el punto 3.3.1.

3.3.3 Planteamiento para comunicarse con el usuario y entrenador

Una vez que se pueden medir las variables se requiere que los usuarios las puedan interpretar y corregir los errores con base en las mediciones que realiza el sistema, por lo tanto, se deben identificar los dispositivos electrónicos apropiados para orientar a los usuarios en el uso correcto del sistema de reducción de lesiones.

3.3.4 Ensayo por etapas de la solución

En esta etapa se hacen pruebas para la medición y procesamiento de las variables en forma individual entre cada sensor y el sistema de procesamiento para comprender y manejar en forma estructurada el desarrollo de *software* y realizar los ajustes de *hardware* de cada una de las variables. También se harán pruebas con cada variable, el uso de las interfaces de monitoreo y alarmas.

3.3.5 Integración del control de las variables y sistema de monitoreo y alarmas

Cuando se ha logrado medir las variables y generar información para el usuario, se requiere integrar todos estos pseudo procesos en un programa lógico e interactivo con el usuario que va a determinar la secuencia del uso de la máquina y el comportamiento que debe adquirir el usuario para reducir la posibilidad de una lesión por el mal empleo de las variables deportivas.

3.3.6 Confección de manual de usuario y entrenador

Para el uso de la máquina se requiere confeccionar un manual que le permita al usuario interactuar con el sistema implementado para la reducción de lesiones y también un manual al instructor que le permita generar por medio de la máquina los perfiles de cada usuario. El sistema respaldará la información en una base de datos por lo cual el manual para el instructor contemplará el conocimiento para manipular esta información.

3.3.7 Implementación de prototipo del sistema de control en la máquina multigimnasio para usar en el campo

Se pondrá en operación la máquina de ejercicios con la tecnología desarrollada en el gimnasio del polideportivo de Santa Cruz, esto será por un periodo de 15 días en el que los deportistas experimentarán los beneficios del sistema y producirán información acerca del uso del sistema que posteriormente será insumo para generar conclusiones y recomendaciones. En el caso de que alguna de las partes de la máquina trabaje inadecuadamente se tomará y analizará la recomendación a partir de la opinión del instructor y los usuarios.

3.3.8 Corrección de errores en el diseño y afinamiento del sistema de control

Si el instructor o los usuarios sugieren mejoras o detectan ineficiencias en el sistema de control, se harán las correcciones si guardan relación con el cumplimiento del objetivo general del proyecto.

3.3.9 Conclusiones y mejoras

En este último apartado se evaluarán los resultados del proyecto en aspectos tanto funcionales como económicos y comerciales. Se destacarán mejoras que se pueden hacer en el sistema para darle valor agregado al producto. Estas mejoras son adaptaciones adicionales a la idea principal que es la implementación del sistema para la reducción de lesiones en la máquina minigimnasio. Estas recomendaciones pueden generar resultados adicionales en beneficio del deportista y el empresario.

3.4 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DEL PROYECTO

La metodología empleada para cuantificar los avances del proyecto y verificar que los entregables se están cumpliendo es por medio de un sistema de calendario que llevará el orden cronológico para garantizar el correcto desarrollo del proyecto. Las etapas que se consideran son: recopilación de la información, análisis de los resultados, diseño de la solución, implementación de la solución, corrección de errores, por último, las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Para medir y validar los resultados de cada fase se hará una tabla tipo lista de chequeo en la que se anotará la actividad por realizar y los resultados que se esperan. Conforme se avanza en las actividades enlistadas se verifica que las tareas planteadas se cumplan y que los resultados sean los requeridos. El desarrollo de este método lo define el autor y para su cumplimiento requiere de la cooperación de un grupo de usuarios y los instructores del gimnasio, pues son los individuos que giran en torno a la problemática.

En el diseño de la metodología se reserva un tiempo adicional de 10 % que puede utilizarse en caso de que haya retrasos en alguna fase del proyecto.

CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En los gimnasios de la zona de Guanacaste y especialmente en Santa Cruz, las máquinas biomecánicas de gimnasio orientadas al trabajo muscular no cuentan con tecnología que informe al usuario cuando está incurriendo en un error. Son equipos de gimnasio tradicionales que se han usado al servicio de la comunidad, en la figura 22 se muestran algunos ejemplos.



Figura 22. Máquinas para ejercicios del gimnasio del Polideportivo de Santa Cruz.

Fuente: creada por el autor

La falta de tecnología en sistemas de seguridad expone a los usuarios del gimnasio a sufrir una lesión, principalmente a los que inician en el campo del deporte por la inexperiencia. En otra ocasión la ansiedad de los usuarios por obtener resultados a corto plazo los incita a alterar sus rutinas y realizar técnicas inapropiadas que no certifica o recomienda ningún instructor. Otro motivo que pone en riesgo al usuario es el comportamiento de algunos instructores que explican la rutina al inicio, pero no dan una continuidad sobre la técnica de cada deportista, esto sucede en los gimnasios más concurridos. Descuidar a los deportistas y no tener comunicación con el instructor genera inseguridad, desinterés y confusión, tres aspectos que favorecen para exponerse a ser víctima de una lesión.

El gimnasio de Santa Cruz cuenta solo con un instructor profesional y dos personas con gran conocimiento adquirido con base en la experiencia. Este equipo de trabajo cubre un horario de 5:00pm a 10:00pm en dos turnos. Entre sus labores se dedican a: supervisar, recomendar y llevar el seguimiento de la evolución física de los deportistas que asisten al gimnasio. Los entrenadores del gimnasio de Santa Cruz son personas muy disciplinadas y comprometidas con su trabajo, por lo tanto, tratan de abarcar al 100 % el ejercicio que desarrollan todos los usuarios, sin embargo, es imposible que puedan detectar el total de los errores en todos los usuarios.

Una lesión sucede repentinamente, quizá en el momento en que el instructor asistía a otro deportista, el primero decidió modificar alguna variable en su rutina, que pudo ser por omisión o desconocimiento y se lesionó. Debido a estos espacios muertos de asistencia al usuario, queda abierta una opción para lesionarse que es el uso inapropiado de las variables deportivas asignadas por el entrenador al usuario.

El gimnasio cuenta con promedio de 80 clientes que asisten a hacer ejercicio y la información de los parámetros físicos de cada usuario, así como su evolución se documenta por escrito y esta información la mide, la recopila y documenta el entrenador sobre papel porque no existe un sistema de cómputo para apoyar esta labor.

Durante un recorrido en los gimnasios de la zona de Santa Cruz se pudo observar que ninguna de las máquinas biomecánicas cuentan con algún tipo de tecnología que monitoree las variables relacionadas con un sano ejercicio según criterio del instructor, de hecho los únicos equipos que cuentan con tecnología son los que se utilizan para trabajo cardiovascular como las caminadoras, máquinas elípticas y cierto tipo de bicicletas estacionarias, sin embargo, estas solamente monitorean valores como: calorías quemadas, tiempo del ejercicio y en algunas ocasiones el ritmo cardíaco.

Cuando las personas hacen uso de las máquinas de gimnasio no suelen ser constantes en su técnica, algunas veces los tiempos de cada sesión y los tiempos de cada ciclo varían, puede ser por desconocimiento del deportista o por falta de controles que le indiquen los intervalos en los que debe hacer la rutina, así como los tiempos de ascenso y descenso que son factores que inciden en la técnica y que permiten cumplir con el objetivo del usuario satisfactoriamente.

En la mayoría de los gimnasios se trabaja con dos o tres entrenadores para la atención. Durante la jornada nocturna asisten un promedio de 15 personas entre las 7:00pm y 9:00pm por lo que en este momento los tiempos de atención por cliente es más breve y menos continuo, esto obliga a que el trabajo se retrase o que una

persona se lesione por su deseo de avanzar con su rutina. En algunas ocasiones se notó que las personas se preguntaban entre ellos y se daban consejos, sin embargo, esto no es buena práctica porque se pudo notar que en algunas ocasiones las recomendaciones eran aumentar peso o el número de repeticiones y estas variables no se deben cambiar sin el consentimiento del entrenador.

En resumen, los entrenadores requieren de cooperación para monitorear y corregir a sus usuarios de tal forma que los consejos sean acordes a su recomendación. Este proceso se debe dar en forma interactiva de tal manera que el usuario sienta la confianza de continuar por medio de una guía tecnológica sin tener que esperar la atención personalizada del instructor.

4.1.1 Instrumentos de diagnóstico

4.1.1.1 Observación de campo

Con el uso de este instrumento se conocerá el ambiente que existe en los gimnasios, los motivos por los cuales no existe tecnología en las máquinas biomecánicas, información referente al uso de las máquinas, las costumbres de los usuarios, la relación entre el entrenador y los deportistas y los errores que cometen los deportistas que pueden producir una lesión.

4.1.1.2 Cuestionario para aplicar a los usuarios

Se confecciona un cuestionario de 12 preguntas para aplicarlo a una muestra de 11 usuarios. Estas preguntas han sido elaboradas por autor para recopilar información de los usuarios en materia de lesiones, negligencias, diseño de rutinas propias sin supervisión, problemas encontrados durante el ejercicio, conocimiento y uso de

tecnología de seguridad en máquinas minigimnasio y la percepción del cliente desde un punto comercial y de imagen con respecto a un gimnasio que cuente con este tipo de tecnología.

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS, CARACTERÍSTICAS Y PROTOTIPO

4.2.1 Datos recolectados por medio de la observación

Por medio de la observación se puede comprender que la tecnología no ha llegado a las máquinas biomecánicas para gimnasio en la zona de Santa Cruz porque por el factor económico no es fácil adquirirlas, pues los precios son muy altos aún, por lo que comercialmente no es factible la inversión.

Otro motivo es que las lesiones según el entrenador no se dan con tanta frecuencia como para invertir en nuevo equipo que proteja al usuario. Esto es común en todos los gimnasios. En una ocasión un instructor afirmó que no era necesaria la tecnología, pues afirmó que con su experiencia y la explicación que él da antes del ejercicio es suficiente para el deportista. Al parecer también hay resistencia en la aceptación de la tecnología en el gimnasio por parte de cierto tipo de instructores, manejan la idea de que no se requiere cambiar el mecanismo “porque con solo explicar la técnica el usuario está capacitado para realizar el trabajo junto a mi supervisión, si luego tiene duda me consultan y les evacuo la duda”.

Se han presentado situaciones en que las personas dejan de asistir al gimnasio porque se lesionaron. En la mayoría de los casos esta información no se documenta porque no se generan reportes, por lo tanto, el instructor y la administración no

consideran necesario invertir en tecnología. Esto sucede comúnmente en los gimnasios de la zona.

La falta de conocimiento en materia de tecnología en el deporte es otro aspecto que no ha motivado al comité para incorporar soluciones tecnológicas en sus instalaciones.

No existe un planteamiento económico y asesoría técnica que le explique al comité de deportes cómo implementar la tecnología con un bajo costo.

Durante la observación de las técnicas empleadas para usar las máquinas biomecánicas se percibió que existen las siguientes variables físicas que influyen en el deportista para que se lesione: peso de trabajo, número de repeticiones, número de series, la frecuencia de las repeticiones y los tiempos de descanso. Por otro lado, está la postura del cuerpo la cual para medirse resulta muy complicado y el instructor siempre la explica al inicio.

Los deportistas tienen malas costumbres como dejar caer el peso al final de cada serie, esto es perjudicial para la máquina porque acelera su desgaste y compromete a los demás usuarios cuando las tengan que utilizar. Al dejar caer el peso súbitamente el cuerpo pasa de hacer una fuerza a liberarla de inmediato y este cambio abrupto puede comprometer algunas extremidades del cuerpo.

4.2.2 Datos recolectados por medio del cuestionario aplicado a deportistas

Con la aplicación del cuestionario a una muestra de 12 personas entre ellos jóvenes, adultos, expertos, principiantes, hombres y mujeres se obtuvieron los siguientes resultados por cada pregunta.

La **pregunta 1** busca identificar si las personas han tenido alguna lesión por el uso de las máquinas de gimnasio. Se define persona con experiencia aquel con más de un año continuo de ejercicio y sin experiencia con menos de un año de asistir al gimnasio.

En el gráfico 1 se comprende que un 73 % de las personas nunca han sufrido una lesión, donde un 55 % tienen experiencia y un 18 % no tienen experiencia. Luego se comprende que un 27 % de las personas encuestadas se han lesionado, donde un 18 % son personas con experiencia y un 9 % personas sin experiencia.

En esta pregunta se detectó el caso de un joven que se lesionó al segundo mes de asistir al gimnasio pues por recomendación de sus compañeros aumentó el peso que le asignó el instructor y esto le produjo mucho dolor muscular por varios días en sus brazos y pectorales. El joven confiesa que no se lo había comentado a nadie por vergüenza y aun así continuó haciendo ejercicio.



Gráfico 1. Relación de deportistas lesionados en función de la experiencia en las máquinas del polideportivo de Santa Cruz.

Fuente informativa creada por el autor.

Como resultado de esta pregunta se demuestra que:

1. Existen lesiones relacionadas con el uso de las máquinas de gimnasio.
2. La negligencia es un factor que conduce a una lesión.
3. El instructor no logra detectar siempre los errores que comenten los deportistas.
4. No se generan reportes de lesiones o errores en los deportistas del gimnasio.

La **pregunta dos** tiene como objetivo detectar si las personas que usan las máquinas de gimnasio alguna vez han modificado las variables recomendadas por el instructor. Según el gráfico un 55 % han modificado los parámetros asignados por el instructor mientras que un 45 % los han respetado. En los comentarios de los

deportistas entrevistados se detectó que han aumentado el número de repeticiones, series y el peso, explican que lo han hecho porque sintieron más energía de la que le exige la rutina pero que al hacer los últimos ejercicios con otras máquinas o levantamiento de peso libre lo hacían muy agotados y en ocasiones, no los completaban.



Gráfico 2. Análisis de los deportistas del polideportivo de Santa Cruz que han alguna vez modificado su rutina.

Fuente informativa creada por el autor.

Como resultado de la pregunta dos se puede resaltar que la mayoría de los usuarios han modificado su rutina, los motivos pueden ser que subestiman los parámetros establecidos o buscan resultados más rápidos al producir una rutina más exigente.

La **pregunta tres** pretende conocer si los deportistas logran cumplir sus rutinas. La pregunta pretende valorar el desgaste físico que un deportista puede sufrir durante,

pues por agotamiento se puede lesionar durante el uso de la máquina multigimnasio. En el gráfico 3 se describe que un 27 % de los entrevistados al menos una vez no han podido completar la rutina. Entre de los motivos ha sido debilidad corporal, estirón muscular y dolor de cabeza.



Gráfico 3. Cantidad de deportistas entrevistados que no han podido terminar al menos una vez la rutina.

Fuente informativa creada por el autor.

Del 27 % de las personas que no han completado su rutina al menos una vez, se obtiene la siguiente distribución: uno de ellos fue por debilidad corporal, uno por estirón muscular y otro una mujer dolor de cabeza y mareo. En el gráfico 4 se representa la información.



Gráfico 4. Distribución porcentual de personas entrevistadas que no completaron la rutina al menos una vez.

Fuente informativa creada por el autor.

La **pregunta cuatro** pretende identificar el conocimiento de los deportistas acerca de otras personas que se hayan lesionado en cualquier deporte. En el gráfico 5 se puede notar que un 73 % de las personas entrevistadas conocen de al menos un caso de una persona lesionada.



Gráfico 5. Conocimiento de los deportistas acerca de otras personas que se hayan lesionado.

Fuente informativa creada por el autor.

Actualmente, una de las personas que participan como parte de la investigación, su nombre es Luis Gómez, sufrió una lesión en su trabajo producto de un movimiento abrupto, comenta que todo inició por un ejercicio excesivo que le produjo desgarre muscular y posteriormente en su trabajo se lesionó durante un mal movimiento. El señor comenta que él generó su propia rutina la cual pensó que podía realizar sin problemas pues en el pasado era atleta por lo que confió que su rutina no lo iba a afectar a tal escala. El señor Luis Gómez fue incapacitado por un tiempo de un mes y medio pues según el dictamen médico experimentó un desgarre del 40 % en la parte superior del músculo recto femoral y un 60 % en la parte inferior del mismo músculo. Ver anexo3.

Como resultado de esta pregunta los deportistas han hecho conciencia de que están expuestos a una lesión cada vez que se desarrolla una actividad física y que lo mejor para evitar lesionarse es atender toda recomendación del entrenador. Y no confiar en rutinas personales.

Por medio de la **pregunta cinco** se pretende medir el conocimiento de los deportistas en el tema de uso de tecnología para la reducción de lesiones en máquinas de gimnasio.



Gráfico 6. Conocimiento de los usuarios en tecnología de seguridad para reducir lesiones.

Fuente informativa creada por el autor.

Con base en la gráfica 6 se identifica que solo un 9 % de la población ha conocido un equipo que tenga algún sistema de seguridad que proteja al usuario de sufrir una lesión, explica la persona entrevistada que se trata de un dispositivo que se

encuentra en una bicicleta de *spinning* que se encarga de medir el ritmo cardiaco e indicarle al usuario que si sigue con el mismo ritmo puede sufrir un problema cardiorrespiratorio. Explica la mujer entrevistada que utilizó este dispositivo en un distinguido gimnasio en Estados Unidos de Norteamérica y que los usuarios atendían las alarmas de la máquina con total confianza y disciplina

Seguidamente, la **pregunta seis** pretende medir la confianza de las personas con respecto al uso de tecnología en las máquinas del gimnasio para reducir lesiones y mejorar las técnicas deportivas. Con el gráfico 7 se afirma que el 100 % de las personas entrevistadas ven viable que la tecnología pueda mejorar su experiencia en el gimnasio y aportar ayuda en la reducción de lesiones por el mal empleo de las máquinas del gimnasio.

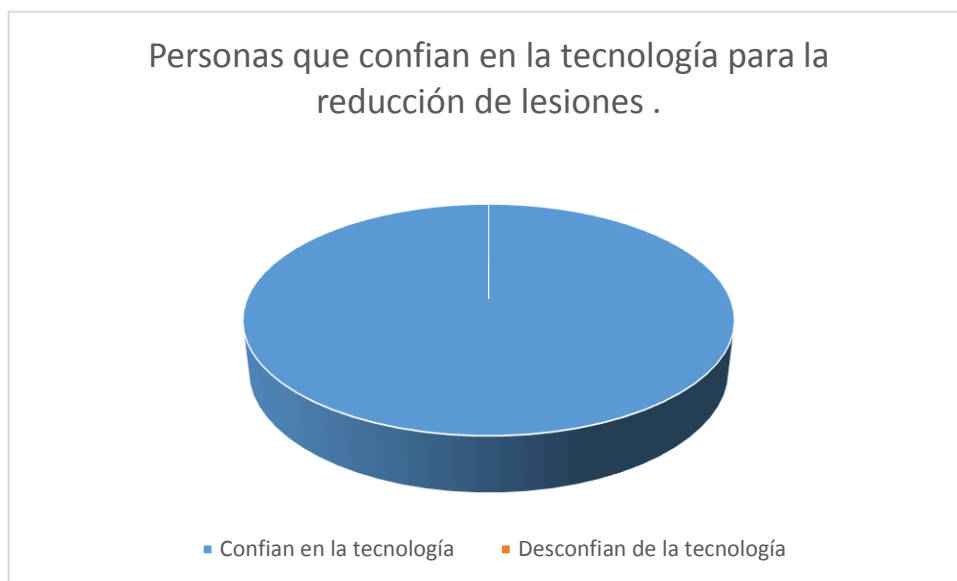


Gráfico 7. Porcentaje de personas que confían en la tecnología para reducir las posibilidades de una lesión en la máquina de gimnasio.

Fuente informativa creada por el autor.

La **pregunta siete** mide la seguridad y confianza de los usuarios al suponer que un dispositivo electrónico les guía durante el ejercicio realizado en la máquina por medio del control de las siguientes variables deportivas: peso de trabajo, conteo de repeticiones, conteo de series, recomendación de peso para trabajar, tiempos de descanso, tiempos de ascenso y tiempo de descenso. Según se explica en el gráfico 8 un 91 % de las personas entrevistadas consideran que es interesante mientras que un 9 % no lo ven atractivo. Se puede comprender con este resultado que los deportistas tienen una actitud positiva ante la idea de utilizar alguna tecnología relacionada con el uso de las máquinas de gimnasio en función de su seguridad.



Gráfico 8. Personas interesadas en experimentar el uso de tecnología en máquinas de gimnasio para reducir la posibilidad de una lesión.

Fuente informativa creada por el autor.

Para acerca la idea del sistema a los usuarios y comprender cómo aceptarían un diseño, por medio de la **pregunta ocho** se les cuestionó si el usar una pantalla LCD

que permita visualizar cada técnica se fortalecería su conocimiento del deporte y así se pueden reducir los riesgos de una lesión. Según el gráfico 9 % un 91 % de las personas consideran viable el uso de una pantalla LCD para recibir información del sistema, esto se debe a la similitud que tendría con el diseño y uso de los dispositivos móviles y PDAS que actualmente existen en el mercado de las telecomunicaciones. De acuerdo con el resultado de esta pregunta, se concluye que las personas entrevistadas ven como parte del requerimiento del diseño de control contar con una pantalla de visualización de información y descripción de eventos.



Gráfico 9. Personas que aceptan que el sistema de reducción de lesiones en las máquinas del gimnasio utilice una pantalla LCD.

Fuente informativa creada por el autor.

Al aplicar la **pregunta nueve** se pretende medir la confianza que tienen los usuarios al realizar la rutina sin la supervisión total del instructor, pues lo común es que luego de explicar y garantizar que se realiza bien el ejercicio, el instructor se retire a

atender a otros clientes. En la gráfica 10 se demuestra que un 36 % de los usuarios siente desconfianza en el lapso que el instructor los deja solos, pues temen que pierdan el ritmo y ejecuten mal la técnica del ejercicio.

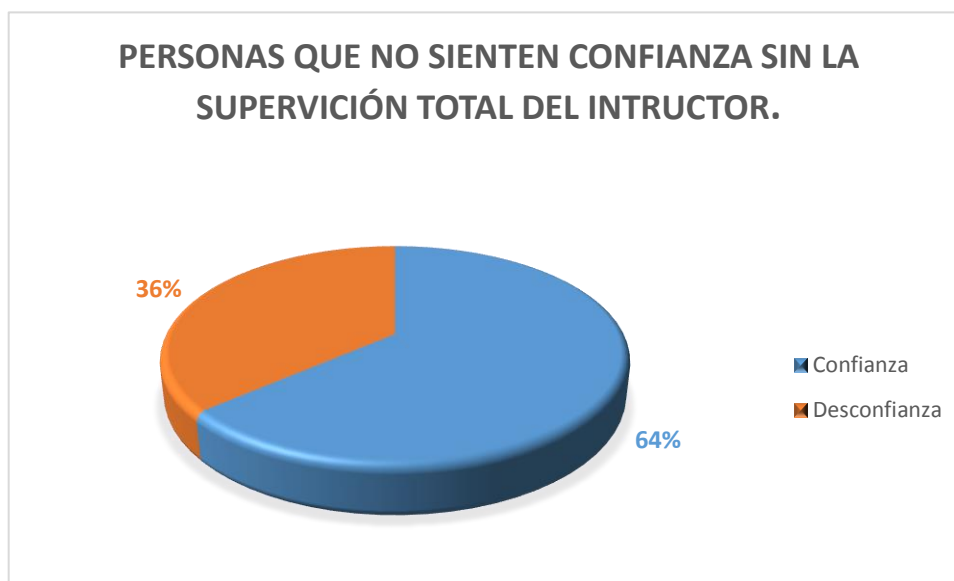


Gráfico 10. Personas que no se sienten seguras durante el tiempo que el entrenador no los está supervisando.

Fuente informativa creada por el autor.

Con el resultado de esta pregunta se puede comprender que existe un porcentaje mayor a un tercio de los entrevistados que requieren de mayor supervisión porque su inseguridad los puede inducir a una lesión.

Al aplicar **la pregunta diez** se pretende conocer si los deportistas entrevistados han sufrido una lesión mínima y en esa condición han continuado haciendo ejercicio sin reportar su problema físico. En el gráfico 11 se demuestra que un 55 % de las personas entrevistadas han sentido alguna vez una dolencia y esa condición han

continuado haciendo ejercicio sin generar ningún reporte al instructor del gimnasio. Este comportamiento expone al deportista a sufrir una lesión, si el deportista no informa su problema el instructor por medio de la observación podría detectarlo. Una forma de sospechar de un problema de esta naturaleza es comparar los resultados del deportista durante el uso de la máquina con otros resultados de su historial deportivo.



Gráfico 11. Personas que han hecho ejercicio al menos una vez con una lesión presente.

Fuente informativa creada por el autor.

Por medio de la **pregunta once** se investiga acerca de las preferencias y gustos de los usuarios al elegir entre un gimnasio con tecnología dedicada a la reducción de lesiones y otro convencional. En el gráfico 12 se describe el comportamiento de las personas, donde el 100 % prefieren asistir a un gimnasio con tecnología que les de

seguridad y protección de la salud al reducir las posibilidades de sufrir una lesión por medio del control y monitores de las variables deportivas asociadas a la máquina.



Gráfico 12. Personas que tienen interés de asistir a un gimnasio con tecnología para la reducción de lesiones por medio del control de las variables deportivas.

Fuente informativa creada por el autor.

La **pregunta doce** pretende determinar el interés que presentan los usuarios al hacer uso de tecnología que les permita conocer el desarrollo de sus ejercicios para comprender sus límites físicos e interpretar si la rutina que hacen es apropiada o requieren aumentar o reducir la intensidad. El gráfico 13 expresa que un 100 % de las personas entrevistadas ven con optimismo poder cuantificar los resultados de sus rutinas pues así comprenden gráficamente la evolución que han desarrollado desde el inicio de su trabajo en el gimnasio.



Gráfico 13. Personas entrevistadas que se interesan por conocer cuantitativamente el desarrollo de su ejercicio.

Fuente informativa creada por el autor.

4.2.3 Datos recolectados por medio de las entrevistas realizadas a los instructores

Por medio de la entrevista se recopila información referente a la opinión de los instructores acerca de la implementación de un sistema electrónico para reducir lesiones en los usuarios. Al inicio del planteamiento del proyecto el instructor del gimnasio del Polideportivo de Santa Cruz Mario Gómez Zúñiga aconsejó que orientará el sistema al control y monitoreo de tres ejercicios, uno para trabajar piernas, otro para trabajar pecho y, por último, uno para trabajar los músculos de la espalda. Posteriormente se plantea esta propuesta a los otros dos instructores y concuerdan con la decisión.

Los entrenadores que participaron en la entrevista son:

Josué Cruz Matarrita, instructor del gimnasio de Huacas de Cabo Velas.

Jeoshua García, instructor y socio del gimnasio Tamarindo Fitness ubicado en Tamarindo.

Mario Gómez Zúñiga, licenciado en educación física e instructor del polideportivo de Santa Cruz.

A continuación, la información recopilada por parte de los tres instructores al aplicar la entrevista que se ubica en el anexo xxx.

Los tres instructores entrevistados superan los diez años de experiencia, por lo tanto, los resultados que se obtengan es información confiable para desarrollar el diseño del proyecto.

Al preguntarles si conocen o han tenido experiencia con algún dispositivo que reduzca la posibilidad de lesionarse al hacer uso de las máquinas de gimnasio, el señor Mario Gómez Zúñiga indica que ha visto algo similar durante su preparación profesional, sin embargo, se trata de una herramienta de investigación para evaluar las técnicas de los deportistas y corregirla. Él explica que esta máquina mide y permite corregir la postura del deportista durante el empleo de la máquina, describe que es un sistema que cuenta con una serie de sensores instalados en el cuerpo del deportista que permiten medir su posición en tres dimensiones. Los otros instructores dicen conocer la tecnología, pero en máquinas para ejercicio cardiovascular como la bicicleta y la banda caminadora.

Se les consultó a los instructores si consideran que el uso de la tecnología en las máquinas de gimnasio puede mejorar los resultados de su trabajo. Ante esta

pregunta el instructor Josué Cruz Matarrita opina que no porque considera que parte de su trabajo es velar por que los usuarios hagan bien sus rutinas, indica que para otro tipo de instructores que no asumen un compromiso con su trabajo les puede beneficiar. El instructor Gómez Zúñiga afirma que no podría dar una opinión hasta que haya experimentado trabajar de esta manera. En el caso del instructor Jeoshua García ve en la tecnología la oportunidad de delegar responsabilidades y motivar a los deportistas por medio de algo novedoso, esto es posible si la tecnología cumple con lo propuesto, que en este caso es un control y monitoreo automático.

Al preguntar a los tres instructores acerca de los perjuicios o beneficios que podría traer la tecnología en las máquinas de gimnasio, indican que traería beneficios por los resultados que generan en el campo del deporte, en este caso los tres instructores concuerdan con la reducción en la posibilidad de sufrir una lesión durante el uso de la máquina.

Se les consultó a los tres instructores si han sufrido una lesión y cuánto tiempo han tenido que reposar para recuperarse. Josué Cruz Matarrita indica que ha sufrido varias lesiones entre ellas: lesión de hombro por un movimiento mal hecho, lumbalgia por una torcedura de tobillo, un tirón haciendo sentadillas y cada una por un tiempo aproximado de seis meses por recomendación médica. Se informa que el señor Cruz Matarrita práctica halterofilia a nivel competitivo. El instructor Jeoshua García indica que sufrió una lesión hace mucho tiempo cuando iniciaba en el deporte. También el instructor Gómez Zúñiga indica haber sufrido alguna vez una lesión.

Al preguntarles a los entrenadores por qué motivo opinan que ocurren las lesiones, indican que se puede deber a una mala alimentación, desgaste físico pero que el principal motivo es una mala técnica donde los deportistas aplican una mala postura e irrespetan los parámetros deportivos que se les asignan, esto produce un mayor desgaste muscular y pérdida de energía para completar satisfactoriamente toda la rutina.

En relación con las máquinas biomecánicas del gimnasio se les preguntó a los entrenadores cuáles ejercicios son los que pueden reportar mayor cantidad de lesiones. El entrenador Josué Cruz Matarrita indica que la contracción pectoral, pues los casos que ha podido observar los deportistas sufren tendinitis por un mal estiramiento o porque en ocasiones los usuarios tienen la mala costumbre de dejar caer el peso súbitamente y esto produce un golpe que se asemeja al efecto latigazo en un accidente automovilístico. El instructor Jeoshua García indica que el ejercicio extensión de piernas produce mayor desgaste muscular porque los usuarios perciben que con sus piernas tienen suficiente fuerza para levantar un peso mayor al sugerido y al aumentarlo resienten el conjunto muscular involucrado en el ejercicio como el recto femoral y los vastos, posteriormente esto reduce la resistencia del deportista durante el transcurso de la semana. El instructor Mario Gómez Zúñiga indica que los casos son aislados y que de cualquier ejercicio puede surgir una lesión.

Al preguntar a los instructores cuál es la meta principal de los deportistas que asisten al gimnasio, ellos indican que es quemar grasa corporal y aumentar masa muscular, sin embargo, el principal alcance es ser personas más saludables.

Al preguntarles a los instructores acerca de si los clientes son más disciplinados en función de la edad, Jeoshua García y Josué Cruz Matarrita indican que la disciplina no está relacionada con la edad sino con la actitud. Opina Mario Gómez Zúñiga que las personas que practican algún deporte en el gimnasio demuestran más disciplina que otros.

Al preguntarles acerca de cuál grupo de la población se lesiona con mayor frecuencia si expertos o novatos, el instructor Josué Matarrita Cruz indica que según su experiencia las personas que son expertas manejan rutinas de mayor intensidad donde un error puede producir un gran daño en la salud del deportista. El instructor Jeoshua García indica que las personas que no tienen experiencia son más vulnerables pues siempre pretenden hacer más de lo que se le solicita por su ansiedad.

Al preguntarles si manejan un registro de la información de los usuarios, indican que realizan medidas antropométricas que consiste en medir el grosor de las extremidades, la grasa corporal, el peso y otros aspectos relacionados al físico. En el caso de los tres instructores esta información la archivan en papel solamente, no queda respaldada en un computador.

Como aspecto final se les preguntó a los instructores por qué motivo consideran que las personas desertan. El señor Josué Cruz Matarrita indica que se debe a la actitud de las personas como aspecto principal y como segundo aspecto la falta de colaboración por parte de algunos instructores. El señor Jeoshua García opina que en la mayoría de casos se debe a la atención al cliente, la falta de una rutina progresiva y la motivación por falta del instructor. Indica Mario Gómez que aparte de

los aspectos mencionados por los otros dos instructores se debe a la falta de costumbre o cultura por hacer ejercicio que las personas han adquirido por el sedentarismo.

Por medio de la entrevista también se recopiló información adicional a las preguntas que surgió durante el proceso de concertación del diseño del proyecto. A continuación, aspectos importantes aportados por los entrenadores:

Las variables deportivas que se deben controlar son las siguientes: intensidad y el volumen. La intensidad es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, en relación con el ejercicio en las máquinas, está determinado por varios factores: la velocidad de ejecución del ejercicio o frecuencia del ciclo, esta depende de factores como: tiempos de ascenso y descenso de cada repetición y el número de repeticiones, además, de los descansos entre ciclos de trabajo (Gómez Zuñiga, 2016). Otro aspecto que se debe considerar es la carga a vencer que es el peso que se selecciona para cada ejercicio (Gómez Zuñiga, 2016). La siguiente variable es el volumen, el cual se define como el trabajo total realizado en cada ejercicio, en él está involucrado el número de repeticiones, las series y el peso nuevamente (Gómez Zuñiga, 2016).

No es posible que una máquina pueda sugerir una rutina a las personas como si se tratara de un menú de opciones, porque al confeccionar una rutina se requiere conocer una serie de variables en relación a cada persona, por ejemplo, la resistencia del individuo, historial clínico y sus objetivos por medio del deporte. Para hacer una rutina se requiere la experiencia y conocimientos de un profesional (Cruz Matarrita, 2017).

Una máquina que pretenda reducir lesiones se debe orientar a controlar las siguientes variables: peso, número de repeticiones, tiempos de ascenso y descenso, los descansos entre series y repeticiones. La máquina se debe enfocar en estos puntos porque el entrenador no los puede medir constantemente por lo que el usuario está en la libertad de hacer cambios y esto no es correcto (Cruz Matarrita, 2017).

Si se logra diseñar el sistema de control debe ser el instructor que lo configure por cada usuario y no el usuario, además, las mediciones deben ser confiables y deben existir elementos visuales para comprender la información que despliega la máquina (Cruz Matarrita, 2017).

Es interesante la propuesta de este proyecto porque también la información que genera puede ser útil para mejorar como instructor pues con sus resultados es posible analizar los comportamientos de cada persona con respecto a su condición física. También es una opción para innovar y ganar la confianza de más clientes. Esto permite aumentar los ingresos al negocio (García, 2017). Resaltar que el señor Jeoshua García es parte de los socios del Gimnasio Tamarindo Fitness, él aporta que la máquina debe ajustarse a cada persona porque no todas son iguales, el sistema debe crear un perfil con el criterio del entrenador y luego almacenarlo por cada persona para que sea de fácil manejo y de utilidad en el gimnasio (García, 2017).

El desarrollo del proyecto no puede calificarse como un instructor automático, no es posible que una máquina abarque todos los conocimientos en torno al deporte como para que sea capaz de recomendar y asesorar a las personas (Gómez Zuñiga,

2016). Mi consejo es que, si se emplea en un gimnasio como el polideportivo de Santa Cruz las alarmas que le indican al instructor que el usuario está haciendo algo mal, debe ser visual y audible porque así lo exige el ambiente pues es muy ruidoso.

4.2.4 Requisitos del sistema de control electrónico para la reducción de lesiones en la máquina minigimnasio

Con base en la información obtenida por medio de la recolección de datos en el gimnasio del polideportivo de Santa Cruz, se genera la siguiente lista de requerimientos para el diseño del sistema reductor de lesiones por medio de control de las variables deportivas, intensidad y volumen.

1. El sistema debe ser diseñado de tal forma que no comprometa el movimiento de los mecanismos ni el espacio que requiere el usuario para ejecutar el ejercicio.
2. Deber ser capaz de indicarle al usuario en forma visual por medio de una pantalla LCD tipo *touch* la información necesaria para realizar los ejercicios.
3. Debe tener un sistema visual y audible que informe al deportista sus errores, en caso que este actúe negligentemente, el sistema debe generar una alarma visual y sonora que le informe al instructor.
4. Debe conectarse con una computadora para poder modificar los perfiles que se crean para cada usuario
5. Debe ser capaz de informar y detectar que los usuarios configuren el peso recomendado por el instructor para cada rutina

6. Debe ser capaz de reconocer e interpretar los siguientes parámetros deportivos asociados al ejercicio: peso, número de series, descansos, control de tiempo de ascenso, descanso en tiempo ascenso, tiempo de descenso, descanso en tiempo de descenso.
7. Debe contar con la opción de brindar una breve presentación de la postura que se requiere para hacer la rutina.
8. Debe suministrar en forma visual los siguientes valores asociados al ejercicio: conteos de series y repeticiones, ritmo del ejercicio por medio de barras gráficas de barrido de tiempo, evaluación por medio de cálculo de margen de error.
9. Debe contar con una opción que le permita al instructor conocer los límites de cada ejercicio para confeccionar los perfiles de cada usuario.

CAPÍTULO V. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 DESCRIPCIÓN

El diseño del sistema de control para la reducción de lesiones está compuesto por varias etapas que se representan en el diagrama 4.

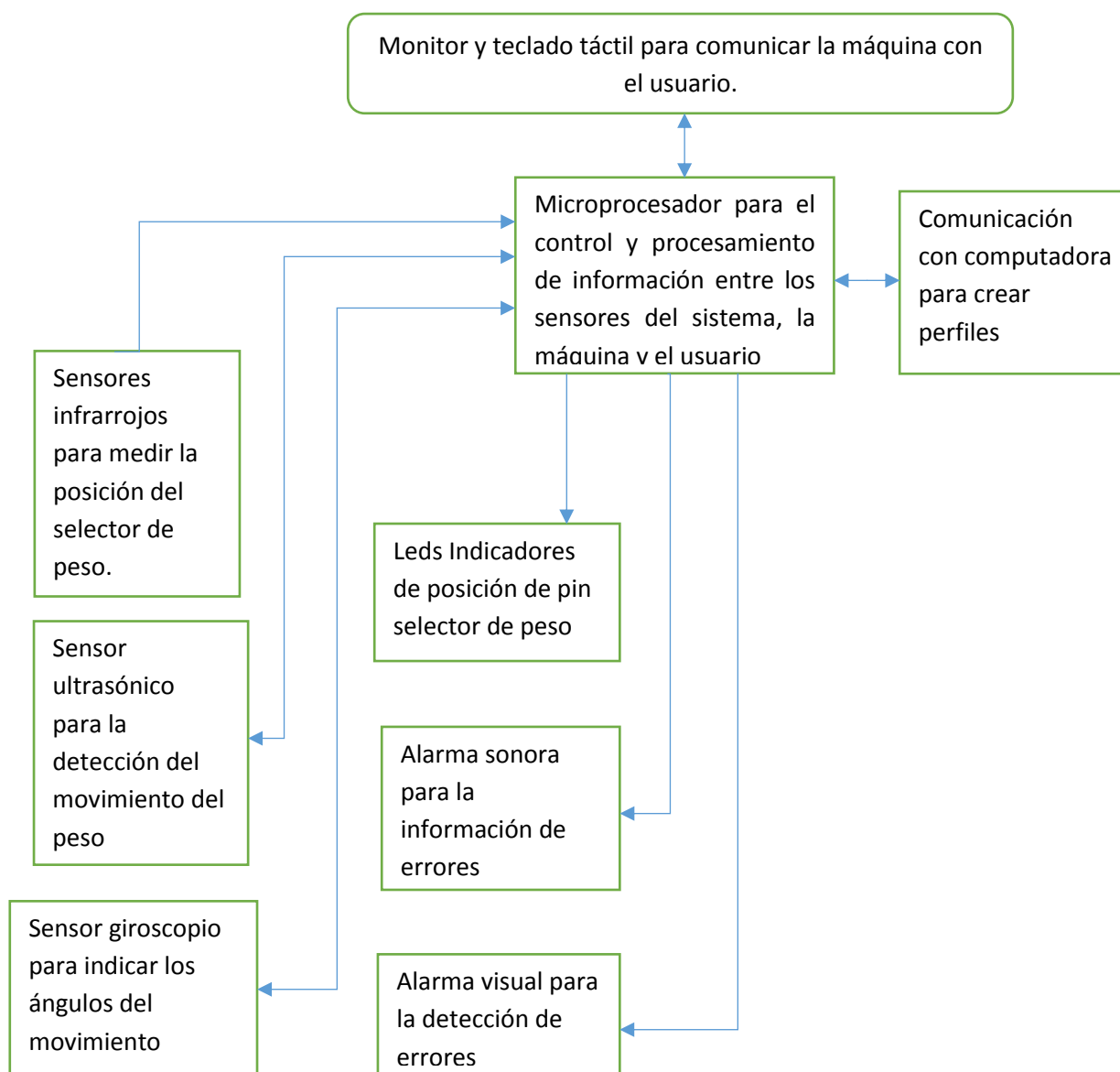


Diagrama 4. Diseño lógico del sistema reductor de lesiones para máquina minigimnasio.

Fuente: creada por el autor

5.2 SELECCIÓN DE LA PROPUESTA

Para confeccionar el prototipo se debe realizar un estudio técnico que permita determinar los componentes y accesorios apropiados en el diseño del mismo. El estudio se basa en: funcionalidad, precisión, interoperabilidad y costos. Se hace una investigación por etapas con una descripción de cada componente y se justifica por qué se considera dentro del diseño.

5.2.1 Pantalla para la presentación de evento y teclado para ingreso de información al sistema

Esta sección del sistema es funcional para el usuario y el instructor pues por este medio se interpretan las indicaciones que sugiere el sistema y se programan los perfiles del usuario por medio de teclado táctil como los que poseen las interfaces HMI, la cual permite una clara comunicación entre el hombre y la máquina, como lo explica el apartado 2.1.3.4.1.

Durante la investigación se sugiere el uso de la pantalla Nextion por costos y características. Este dispositivo se comparó con otros dispositivos táctiles como el shield TFT MEGA que se encuentra en la figura 23, sin embargo, por el tamaño de la pantalla no era viable su uso en el sistema, pues es de 3.5 pulgadas y su visualización es muy pequeña para incorporar toda la información que se requiere durante el ejercicio, también estos modelos de pantalla requieren de procesamiento por parte del microcontrolador Arduino y esto no es beneficioso para el sistema que requiere hacer muchas tareas en intervalos de tiempo muy cortos. La pantalla Nextion es superior porque cuenta con su propio ambiente de programación y una

serie de objetos y galerías para dar una mejor interpretación y apariencia a la información que se transmite a los usuarios. Esta pantalla cuenta con su propio microprocesador y espacio de memoria y se comunica con Arduino por un puerto UART de dos líneas TX y RX por lo que es más sencillo su instalación, cableado y manipulación.



Figura 23. TFT MEGA para Arduino.

Recuperado de: <http://rcibernetica.com>

A continuación, los beneficios del uso de este dispositivo:

1. Se conecta al sistema principal por medio de dos líneas lo que ahorra diseño de *software* y uso de pines de comunicación del sistema de procesamiento.
2. Utiliza el protocolo de comunicación UART que le da interoperabilidad con varios dispositivos.
3. Cuenta con su propio ambiente de programación para configurar el *software* de visualización y envío de comandos lo que permite reducir procesamiento al sistema principal y desplegar información por métodos gráficos.

4. Cuenta con una amplia galería para el control y monitoreo por medio de: barras, teclados, botones, indicadores de crecimiento y decrecimiento circular o lineal.
5. En la figura 24 se representa la conexión serial por medio de 2 cables de datos Tx, Rx y la alimentación a 5V.



Figura 24. Pantalla Nextion instalada en la máquina de gimnasio.

Fuente: creada por el autor

5.2.2 Sensor para la detección del desplazamiento de las barras de peso

La máquina debe determinar la posición en la que se encuentra la barra de pesas porque durante el ejercicio y la creación del perfil de cada usuario se requiere conocer el límite superior e inferior del desplazamiento y la velocidad de ascenso y descenso de la barra de peso que se va a utilizar. Para esta tarea se determina que el sensor HC-SR04 es una opción viable y económica. Las ventajas de usar este

sensor es que la forma de medir la distancia es por medio de una señal ultrasónica a una frecuencia de 40KHz, al ser una frecuencia baja en comparación con la frecuencia de trabajo de los microcontroladores más modernos del mercado, es sencillo su uso y adaptación al sistema. Otra ventaja es que el *software* que se requiere para manipular este dispositivo es de baja complejidad. Es un dispositivo muy confiable para las distancias que se medirán las cuales no superan 1.10m, según el fabricante su margen de error es de $\pm 3\text{mm}$ como se menciona en el apartado 2.1.3.1.3. En la figura 25 se presenta la forma en que se instala el sensor y el reflector sonoro que mejora la señal reflejada para una mejor lectura de la distancia real.



Figura 25. Descripción de la instalación del sensor ultrasónico en la máquina y su reflector sonoro.

Fuente: creada por el autor.

5.2.3 Sensores para la detección de la ubicación del pin selector de peso

Cuando se usa la máquina minigimnasio se debe seleccionar el peso para cada rutina, esto es por medio de un pin que permite sumar las barras de peso mientras se baja de nivel. La máquina sin seleccionar ninguna barra trabaja con un peso de 4kg, cada vez que se coloca el pin al hueco inferior aumentará en 5kg como lo ilustra la figura 28, por lo tanto, poder confirmar que la barra está colocada en el peso correcto se requiere instalar un sensor por cada una de las 10 barras de peso para determinar en qué hueco está colocado el pin y por ende cuánto peso se va a levantar.

El sensor recomendado en este prototipo es el TCRT 5000 por su facilidad de instalación, estabilidad en la detección y sencilla configuración. Este sensor está conformado por dos partes: un diodo emisor de luz infrarroja y un fotodiodo detector de luz infrarroja. Ambos están instalados estratégicamente para que cuando un objeto se coloque de frente al sensor la luz del fotodiodo se refleje en dicho objeto y el fotodiodo perciba esta luz y empiece a conducir corriente. Como lo explica el apartado 2.1.3.1.1. En la figura 26 se observa que paralelo a cada hueco para seleccionar el peso se encuentra un sensor que al colocar el pin selector de peso queda tan cerca del sensor que la luz del diodo se reflejará lo suficiente para ser detectada por el fotodiodo.



Figura 26. Detección de la posición del pin selector de peso en la máquina minigimnasio.

Fuente: creada por el autor.

Se selecciona este sistema por su bajo costo en el mercado y lo sencillo de alcanzar una correcta detección. También en el caso de una avería o para realizar pruebas de funcionamiento por medio de esta técnica se reducen costos por mantenimiento.

5.2.4 Indicadores de configuración de peso que se debe seleccionar

El sistema debe indicarle al usuario dónde colocar el pin para que seleccione el peso recomendado, sin embargo, aunque el mensaje se puede desplegar por pantalla es muy incómodo para el usuario ubicar la posición correcta para seleccionar el peso. Para ayudar al usuario en esta tarea se usarán led color verde que indiquen dónde se debe colocar el pin.

El led se utiliza comúnmente en dispositivos electrónicos para informar al usuario acerca de eventos o cambios en el sistema, por lo tanto, los usuarios sabrán interpretar y familiarizarse con esta propuesta que agilizará y asegurará una correcta configuración del peso. En la figura 27 se plantea la forma de instalar los leds indicadores.



Figura 27. Leds de señalización para configurar el peso correctamente.

Fuente: creada por el autor.

5.2.5 Indicador sonoro de teclado para el sistema

Cuando se utiliza la pantalla táctil se va avanzando por menús y también se requiere ingresar información al sistema por medio de teclados o botoneras virtuales. Según la experiencia con dispositivos táctiles como los celulares móviles, el uso de un tono indicador de presión de tecla facilita la manipulación del dispositivo al usuario. Con base en esta apreciación el sistema cuenta con un *buzzer* para generar tonos

audibles como se explica en el apartado 2.1.3.3.1. Es posible generar varios tipos de tonos para interpretar diferentes mensajes. En la figura 28 se ilustra el *buzzer* que se utilizará en el sistema para la reducción de lesiones.



Figura 28. Buzzer utilizado en el sistema reductor de lesiones.

Fuente: creada por el autor.

5.2.6 Indicador sonoro de alerta para informar errores en el uso de la máquina

Cuando se comete un error durante el uso de la máquina el usuario es informado por medio del *buzzer* propuesto en el apartado 5.2.6, sin embargo, generará un sonido diferente y continuo hasta que se corrija el error, luego de 5 segundos si el usuario

no soluciona el error, una alarma de sirena generará un sonido más fuerte para indicarle al usuario y al instructor que algo está mal. Esta característica se requiere para los gimnasios donde es común escuchar música a alto volumen que impide percibir el tono del *buzzer*. En la figura 29 se describe la sirena electrónica que se usará para el diseño del sistema electrónico, consiste en un circuito electrónico que genera una señal a una frecuencia audible, luego es amplificada y dispersa por medio de una bocina

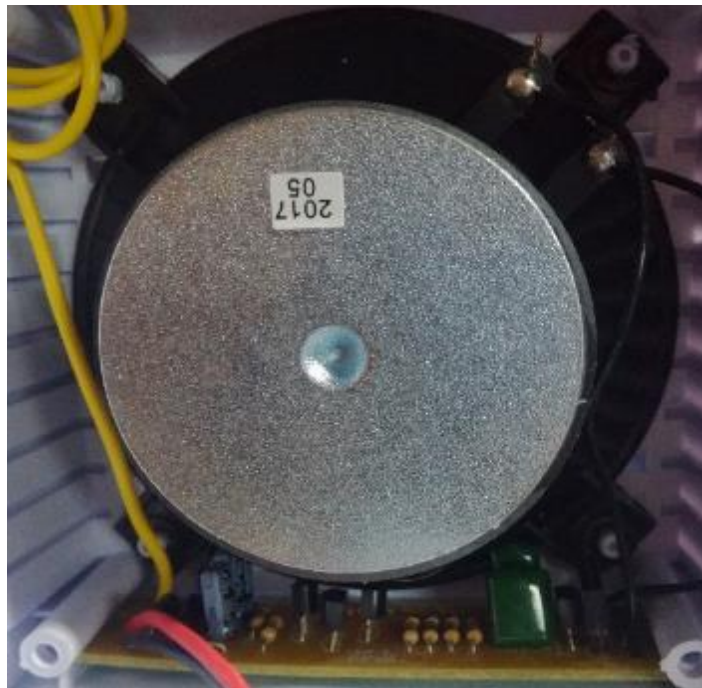


Figura 29. Alarma electrónica de 15W para sistemas de seguridad.

Fuente: creada por el autor.

5.2.7 Indicador visual de alerta para informar errores en el uso de la máquina

El sistema requiere que durante un error el usuario se entere pero también que el entrenador conozca del problema en tiempo real para corregir el problema inmediatamente y así evitar una posible lesión física en el deportista, por lo tanto, una manera viable es tomar de ejemplo lo que se utiliza en la industria durante una emergencia, porque se garantiza que las personas se enteren, por lo tanto, se plantea el uso de una luz soga de baja potencia que pueda ser controlada por el sistema de reducción de lesiones. En la figura 30 se presenta un ejemplar para instalar en la máquina.



Figura 30. Luz soga utilizada para indicar un error en el uso de la máquina de gimnasio.

Fuente: creada por el autor.

5.2.8 Control de desplazamiento de peso con sensor inductivo de proximidad

Para controlar la distancia en conjunto al sensor ultrasónico se utiliza un sensor inductivo modelo LJ12A3-4 que controlará los límites capturados por el sensor ultrasónico. Se utiliza este mecanismo porque realizará mediciones directamente en el desplazamiento de la polea con una precisión de 0.8cm por pulso. Esto permite que el sistema sea y permita un margen de error apropiado al movimiento inercial del ascenso y descenso del peso de trabajo. En la figura 31 se ilustra la instalación del sensor inductivo que detecta el paso de unas líneas metálicas que se encuentran adheridas en la circunferencia de la polea. Este sensor trabaja con una frecuencia de respuesta de 500Hz y se espera que pueda medir satisfactoriamente la posición de la polea en todo momento.



Figura 31. Sensor inductivo para la detección del giro de polea.

Fuente: creada por el autor.

5.2.9 Sensor interruptor de paso para detectar el giro de los brazos de la máquina

El ejercicio contracción al pecho requiere que ambos brazos se muevan uniformemente por lo que se debe medir la diferencia entre la velocidad angular de ambos brazos para advertirle al usuario su error. La técnica para medir esta velocidad consiste en contar las interrupciones del haz de luz que genera el dispositivo entre su diodo emisor de luz infrarroja y el fotodiodo que está colocado de frente por medio de un disco con perforaciones siguiendo la circunferencia y con distancia constante para medir la velocidad angular de ambos brazos. En la figura 32 se ilustra el dispositivo y el disco que describe los grados del recorrido del brazo. En la imagen se encuentra en su posición inicial, si se moviera el brazo hacia el frente empezaría a detectar los huecos, cada paso representa un avance de 5°.



Figura 32. Sistema para detectar la velocidad angular de los brazos de la máquina.

Fuente: creada por el autor.

Se recomienda el uso de este mecanismo antes del uso de un giroscopio o magnetómetro porque es una medida directa del ángulo de desplazamiento tomando como referencia la posición inicial de la máquina, por lo tanto, es más confiable pues no habrá algún factor externo que altere las medidas como es el caso de la presencia de metal cuando se usa un magnetómetro y mide el ángulo en el eje Z de manera específica y directa.

5.2.10 Sistema de procesamiento de información obtenida de los sensores del sistema reductor de lesiones

La información obtenida por los sensores debe ser manipulada para generar una respuesta a los usuarios, esta tarea se debe llevar a cabo por un dispositivo microcontrolador. Como propuesta inicial se hará uso del microcontrolador Arduino Atmega 2560, porque cuenta con la cantidad necesaria de puertos analógicos que se requiere para interconectar los sensores que detectan señales analógicas como los infrarrojos de presencia e interrupción, también cuenta con la opción para configurar hasta cuatro puertos seriales que permiten comunicarse con la computadora y la pantalla HMI de Nextion, cuenta con un puerto específico para crear un bus I2C para conectar los sensores giroscopio, cuenta con 31 puertos digitales para señales discretas que permiten controlar los leds indicadores, el sensor ultrasónico, el sensor inductivo, el *buzzer*, la activación de las sirenas audible y visual. También es importante recalcar que cuenta con una plataforma de código abierto y una gran cantidad de librerías para el control de diferentes dispositivos aportadas por los desarrolladores de la comunidad Arduino, estas ventajas agilizan el diseño del *software* de control del proyecto.

5.3 DETALLES DE LA PROPUESTA

Con la información recopilada en el apartado 4.2.4 se plantea un diseño que cumpla con estos requerimientos. Con base en la investigación técnica hecha para la selección de la propuesta en el apartado 5.2, se hace un planteamiento y se definen cuáles componentes se deben utilizar, los niveles de voltaje que debe entregar la fuente de poder que los va a alimentar, la labor que desarrollan dentro del sistema y la forma como deben ir instalados en la máquina para ejercicios.

El proyecto es una idea novedosa, por lo tanto, el concepto del proyecto no cuenta con antecedentes, por esta razón las ideas para realizar las mediciones de variables, recomendaciones de uso y alertas de error, parten de un estudio que resulta de la observación del entorno electrónico que ha podido experimentar el autor, la investigación de campo y experiencias de otros colegas.

5.3.1 Diseño de conexión entre los componentes del circuito

El centro de operación es el Arduino Atmega 2560, este componente tiene la responsabilidad de recibir la información de todos los componentes que miden los parámetros físicos de la máquina para determinar e informar el uso correcto de la máquina, en caso contrario debe tomar la decisión de activar algunos de los componentes de salida para indicar un error y corregir al usuario. Para conectar los componentes al microcontrolador se debe definir la función de cada pin en la placa Arduino en función de las características del dispositivo que se va a conectar.

En la tabla 1 se explican los sensores y actuadores y sistemas de comunicación de los dispositivos asociados a sus respectivos pines.

Tabla 1. Administración de pines para la conexión de dispositivos electrónicos a Arduino.

Ordenamiento del uso de los pines del Arduino Mega 2560	
Uso	Número de pines
1). Sonido Buzzer	Digital 13
2). Sensores de posición pin selector de peso	analógicos de A0 hasta A9
3). Luces led indicadoras de selección de peso	Digitales del 22-31
4). Sensor ultrasónico para medir distancia	Digitales Eco = 34, Trigger = 35
5). Alarma sonora de precaución	Digital Rele1 =32
6). Alarma visual de precaución	Digital Rele2 =33
7. Puerto serial comunicación pantalla HMI	Digitales Tx = 14 RX = 15. equivale Serial 3
8. Puerto serial para comunicación WIFI	Digitales Tx = 16 RX = 17. equivale Serial 2
9). Sensor interrupción giro brazo derecho	Analógico A11
10). Sensor interrupción giro brazo izquierdo	Analógico A10
11). 10. Sensor inductivo giro polea inicial	Digital 40

Fuente: creada por el autor.

5.3.2 Cableado de los componentes asociados al prototipo para el sistema reductor de lesiones

Posterior a la definición del uso de los pines se procede a cablear físicamente los componentes, como se describe en la figura 33. En este diagrama no aparece la fuente de poder y algunos dispositivos que no se pueden modelar en Fritzing por lo tanto, están incluidos como imágenes.

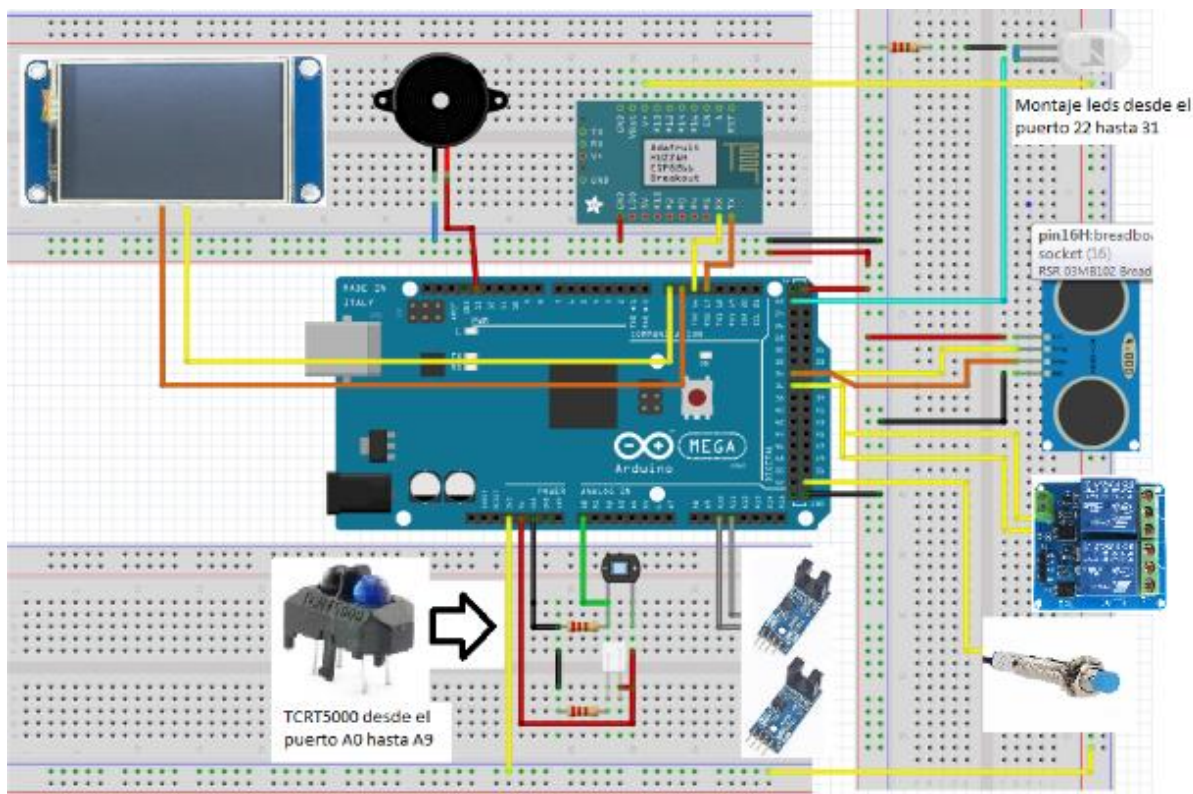


Figura 33. Esquema de cableado de los componentes electrónicos que controlan la máquina multigimnasio.

Fuente: creada por el autor.

5.3.3 Diseño lógico del *software* de control del sistema reductor de lesiones

El diseño lógico del *software* se divide en dos partes para su mejor comprensión. La primera parte es en función al entrenador o programador del equipo. Ver diagrama 5.

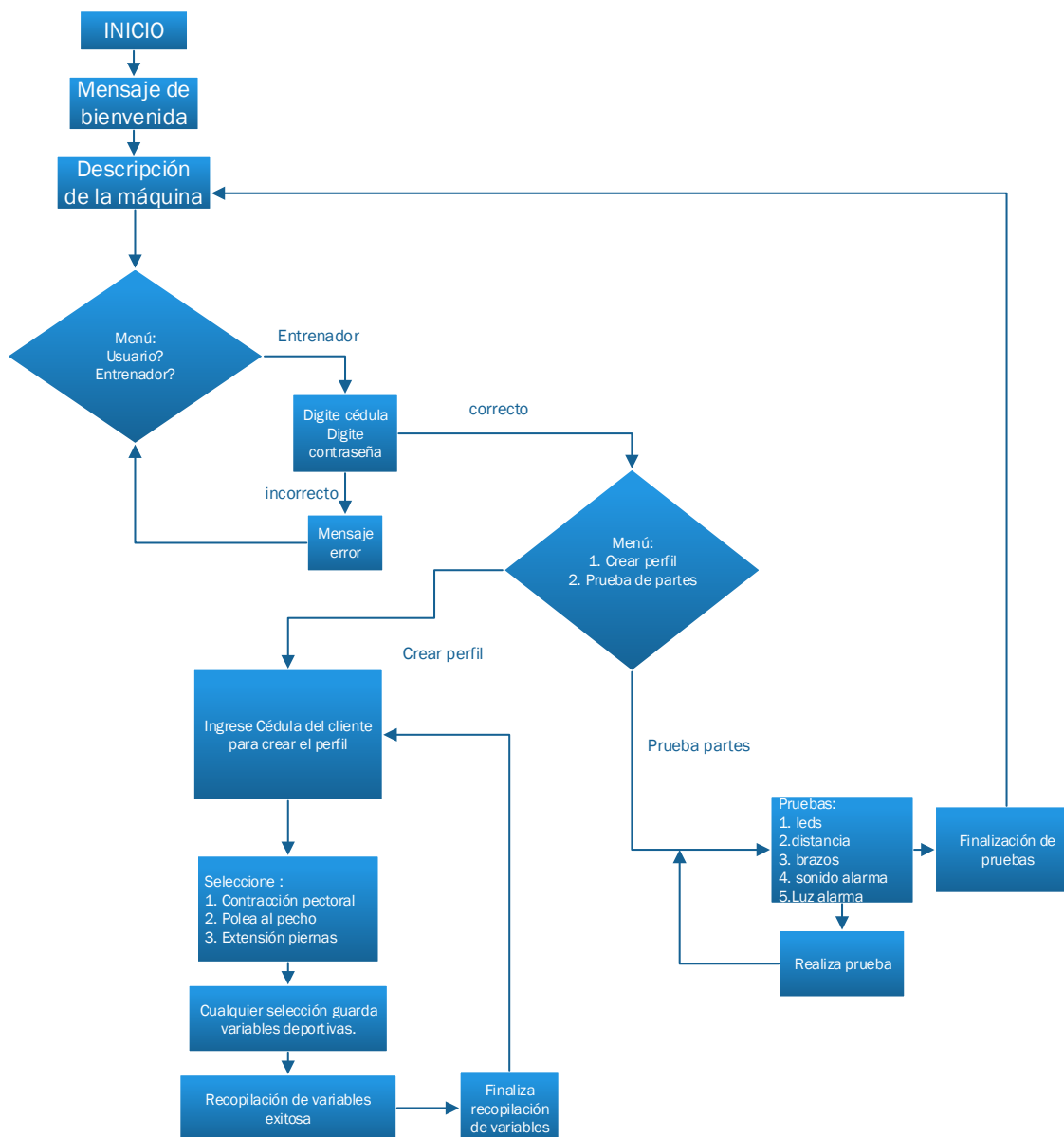


Diagrama 5. Control de flujo para programar la máquina en modo entrenador.

Fuente: creada por el autor.

Con base al diagrama 5, se interpreta que al iniciar la máquina se recibe por pantalla un mensaje de bienvenida durante 5 segundos, luego se describe la función de la máquina para el conocimiento del usuario durante 8 segundos, posteriormente aparece un menú para seleccionar entre usuario y entrenador. Al ingresar como

entrenador la máquina solicitará el número de identidad y un pin de cuatro dígitos que es de uso exclusivo del entrenador. Si el dato ingresado es incorrecto saldrá un mensaje de error por 3 segundos y regresará a la pantalla ingreso de identidad y pin. En el caso de ser correcta colocará un mensaje de aceptación y aparecerá un segundo menú que permite escoger entre: probar partes de la máquina y crear perfil.

En el diagrama 6 se explica el funcionamiento de la máquina en modo usuario. Al iniciar igual que en el caso del entrenador recibirá un mensaje de bienvenida por 5 segundos, luego una explicación breve de la máquina por 8 segundos, a continuación, aparece el menú de selección para que ingrese como usuario, seguidamente se le solicita la cédula de identidad y el pin, si están correctos se abre el menú de selección de rutinas, de lo contrario aparece un mensaje de error y se saldrá hasta el menú de selección entre usuario y entrenador.

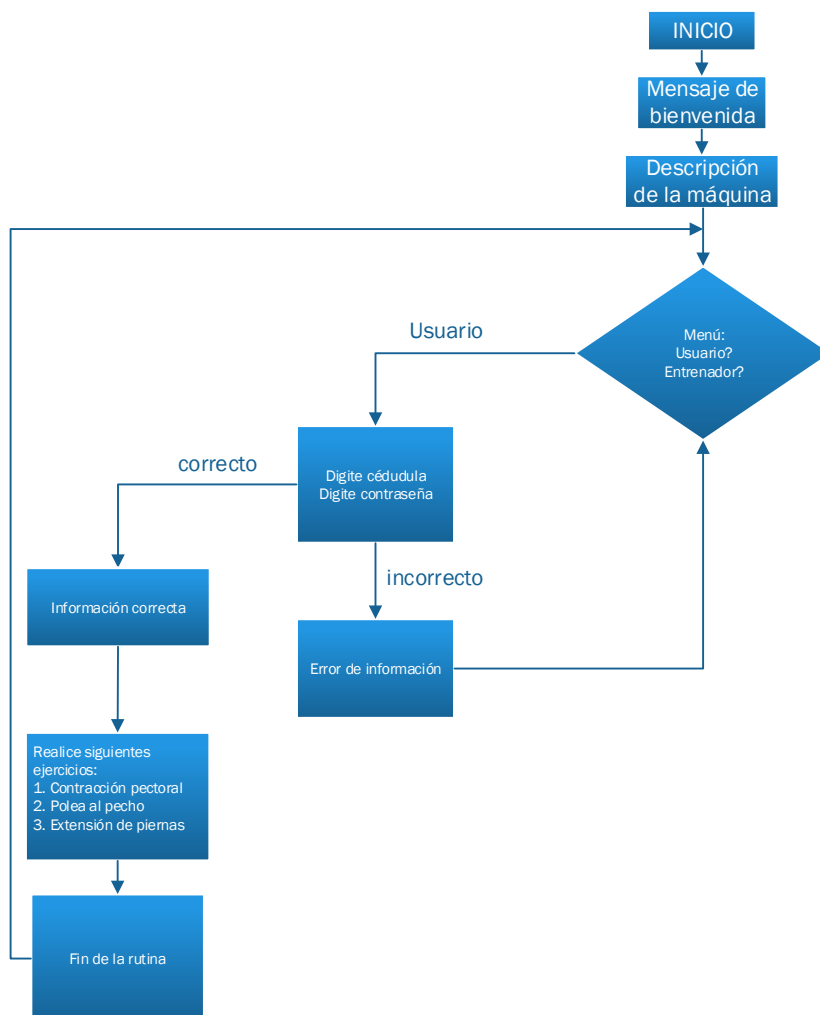


Diagrama 6. Control de flujo para utilizar la máquina como usuario.

Fuente: creada por el autor.

5.3.4 Fuente de poder para alimentar los diferentes dispositivos del sistema de control

Los dispositivos seleccionados para el control de la máquina trabajan con diferentes valores de voltaje de: 3.3V, 5V y 12V, por lo que se requiere confeccionar una fuente con estas características. Para realizar el diseño se utilizó *LiveWire* el cual es un

software para diseñar circuitos electrónicos para posteriormente confeccionarlos sobre una placa de baquelita. En la figura 34 se representan el diseño de ambos.

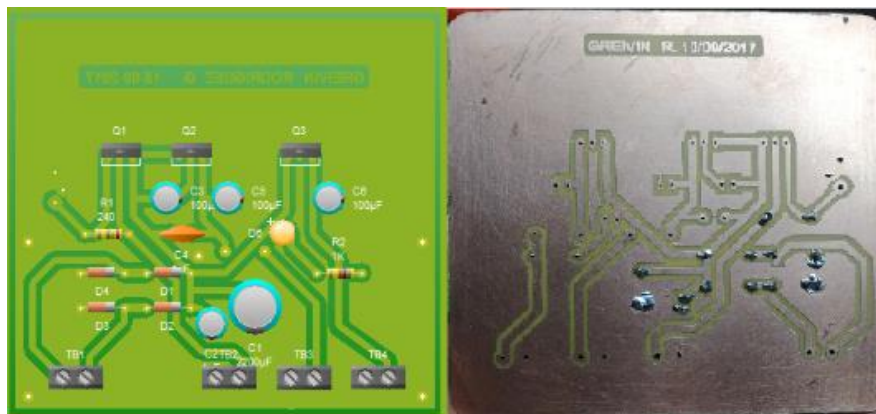


Figura 34. Diseño virtual y físico de la placa de la fuente de poder para el sistema de control.

Fuente: creada por el autor.

El *software* genera diseño llamado *artwork* como el de la figura 35 sección izquierda. Posterior a esto se transfiere a la tarjeta aplicando la técnica que se describe en el anexo 4.

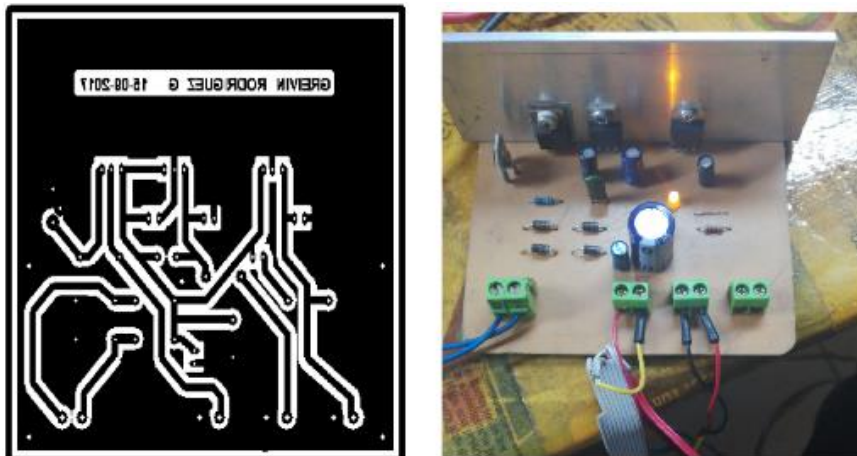


Figura 35. Construcción de fuente de poder para la alimentación del sistema de control.

Fuente: creada por el autor.

En la figura 35 sección derecha se observa la fuente operando, donde el conector verde del lado izquierdo entra la alimentación de 24VAC que proviene de un transformador reductor de voltaje de 110VAC a 24VAC, esta señal es rectificadora, filtrada y finalmente, regulada para utilizarla en los conectores verdes de la izquierda en valores de 3.3VDC, 5VDC y 12VDC respectivamente. Refiérase al anexo 5.

5.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Al realizar estas pruebas todos los componentes propuestos están instalados en la máquina y se encuentran alimentados por la fuente fabricada en el apartado 5.3.4.

5.4.1 Verificación de comunicación entre Arduino e interfaces periféricas

Las pruebas que se realizan son para verificar la comunicación a nivel de *software* entre los dispositivos de comunicación, la interpretación de los resultados obtenidos por medio de los sensores y el control de los dispositivos actuadores. Posterior a

esto se desarrolla el programa principal que responderá finalmente, a los requerimientos del sistema reductor de lesiones para cumplir con las necesidades de los usuarios e instructores.

5.4.1.1 Pruebas de comunicación entre Arduino y pantalla Nextion

NX48T070_011

La pantalla Nextion se comunica con Arduino por medio de un puerto serial, en este caso el puerto serial3. La pantalla Nextion consume un promedio de 500mA por lo que se debe conectar directamente a la fuente de voltaje como se exhibe en la figura 36, donde la pantalla tiene cargado un programa con dos barras de progreso que se controlan desde Arduino.

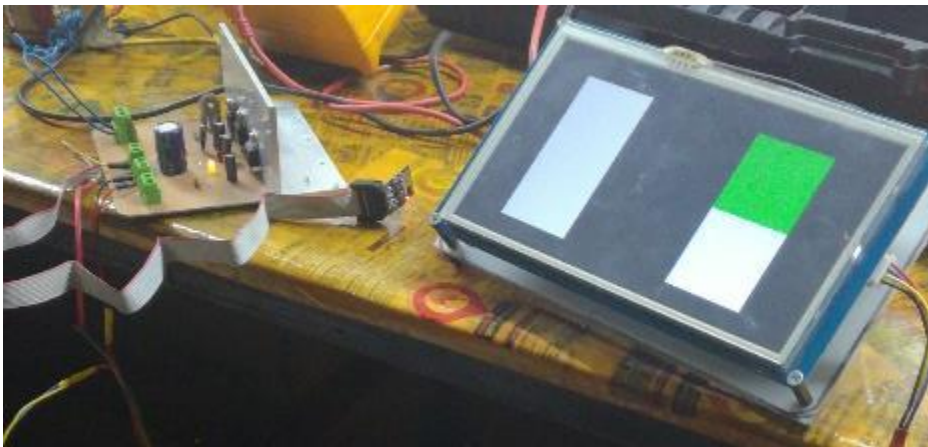


Figura 36. Pantalla Nextion con sliders controlados desde Arduino.

Fuente: creada por el autor.

Para realizar el programa que debe estar instalado en la pantalla se utiliza un *software* llamado el IDE de Nextion. En la figura 37 se presenta la ventana principal en proceso de construcción de un nuevo *software*.



Figura 37. Ventana principal del ambiente constructor de Nextion.

Fuente: creada por el autor.

Luego de que se realiza el *software* para la pantalla Nextion se debe crear un *sketh* en Arduino que debe contener todas las rutinas para controlar los avances y descensos de las barras, para este proceso se requirió utilizar la librería ITEADLIB_Arduino_Nextion-master. Esta librería es apropiada para trabajar la pantalla pues fue hecha por ITEAD fabricante de Nextion. En el anexo 9 se encuentra el código empleado.

5.4.2.2 Pruebas sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor ultrasónico se conecta a los pines 34 y 35 del Arduino, la lógica de operación de este sensor es que genera un eco por el pin 34, este eco es una señal de sonido no audible por el humano a una frecuencia de 40Khz luego de generarse

el sonido por el pin 35 se espera la respuesta de la señal que regresa luego de chocar con un objeto como se explica en el apartado 2.1.3.1.3.

Estas pruebas se realizaron con el uso de la rutina que se encuentra en el anexo 8 creada por el autor como resultado de la investigación.

Las pruebas en laboratorio dieron resultados exitosos, sin embargo, al incorporar el sensor a la máquina hubo un problema de medición causado por el área del objeto que se estaba detectando, en este caso la pila de pesas que se levanta durante el uso de la máquina, por lo tanto, se tuvo que incorporar un reflector con el diámetro apropiado para tener suficiente señal de rebote para la detección del sensor. Ver figura 38. Luego de implementar esta solución se obtuvieron los resultados más cercanos a la realidad.



Figura 38. Instalación de sensor ultrasónico y reflector de sonido.

Fuente: creada por el autor.

Durante el uso del sensor se obtuvieron resultados imprecisos como se demuestra en la figura 39, donde los resultados oscilan entre 92cm y 95cm por lo que no son valores confiables.



```
COM5 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
Pruebas sensor US,maquina de gimnasio
92cm
92cm
93cm
93cm
94cm
94cm
94cm
94cm
95cm
95cm
93cm
93cm
95cm
95cm
94cm
94cm
93cm
93cm
93cm
93cm
94cm
94cm
95cm
95cm
94cm
94cm
```

Figura 39. Mediciones del sensor Ultrasónico con librería básica.

Fuente: creada por el autor.

Como consecuencia de este error se desarrolló un filtro para reducir errores que consiste en tomar dos mediciones y compararlas, luego verificar que entre ellas no haya 1cm de diferencia, si cumple se vuelve a hacer el proceso 3 veces y los resultados se van sumando, luego el valor final se divide entre 3 para obtener un promedio, luego este valor se resta a la última medición y se define que la diferencia debe ser ± 1 cm, de lo contrario no se toma como valor real y se inicia la subrutina.

En la figura 40 se presentan los resultados obtenidos por medio de la aplicación de este filtro. Para verificar la rutina de medidas del sensor ultrasónico utilizando un filtro por *software* ver anexo 11.

```
COM5 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
Pruebas sensor US,maquina de gimnasio
93
94
93
93
93
93
94
94
93
93
93
93
94
94
93
93
93
93
94
93
93
93
93
93
93
93
93
94
93
93
93
94
94
93
94
```

Figura 40. Resultados de sensor ultrasónico con rutina para filtrado de errores.

Fuente: creada por el autor.

5.4.1.3 Prueba de sensores de selección de peso.

Esta etapa se llevó a cabo con 10 sensores TCRT5000 que consisten en un dispositivo formado por un diodo infrarrojo y un fotodiodo apuntando hacia la misma dirección y cuando un objeto se pone frente a ellos a una distancia corta la señal que se refleja genera un cambio de voltaje en el pin de salida. En la figura 41 se ilustra cómo el sensor detecta objetos.



Figura 41. Sensor TCRT detectando objetos.

Fuente: creada por el autor.

Durante las pruebas de laboratorio el sensor detectaba correctamente objetos y enviaba el pulso al puerto analógico del Arduino y este entendía que se había detectado un objeto, sin embargo, cuando se instalaron los 10 sensores para detectar en qué posición se colocaba el pin resultó que no detectaba su presencia, por lo tanto, se tuvo que pintar la cabeza del pin color plata y lijar la circunferencia en la zona que detecta el sensor, como se ilustra en la figura 42, porque el ángulo que forma la circunferencia de la cabeza con el rayo de luz refleja parte de la señal en otra dirección y al ser la cabeza color negra absorbía la longitud de onda que emite el led infrarrojo.



Figura 42. Modificación del pin selector para las pruebas.

Fuente: creada por el autor.

Luego de hacer esta modificación se obtuvieron los resultados esperados y en cualquiera de las 10 posiciones se detecta la colocación del pin por parte del Arduino.

Para el montaje oficial de los sensores en la máquina no se utiliza la placa de la figura 50 sino que se realizó el circuito que se presenta en la figura 5, esta decisión se debe a la reducción de costos y mejor uso del espacio, por tal motivo la señal que generan estos sensores se detecta con los puertos analógicos pues las señales que generan no son digitales.

En la figura 43 se demuestra el empleo de la rutina y la detección del peso. Cada hueco de selección de peso suma 5Kg, como el pin está en el hueco 4 quiere decir que el peso total es de 20Kg, la subrutina empleada se encuentra en el anexo 12.

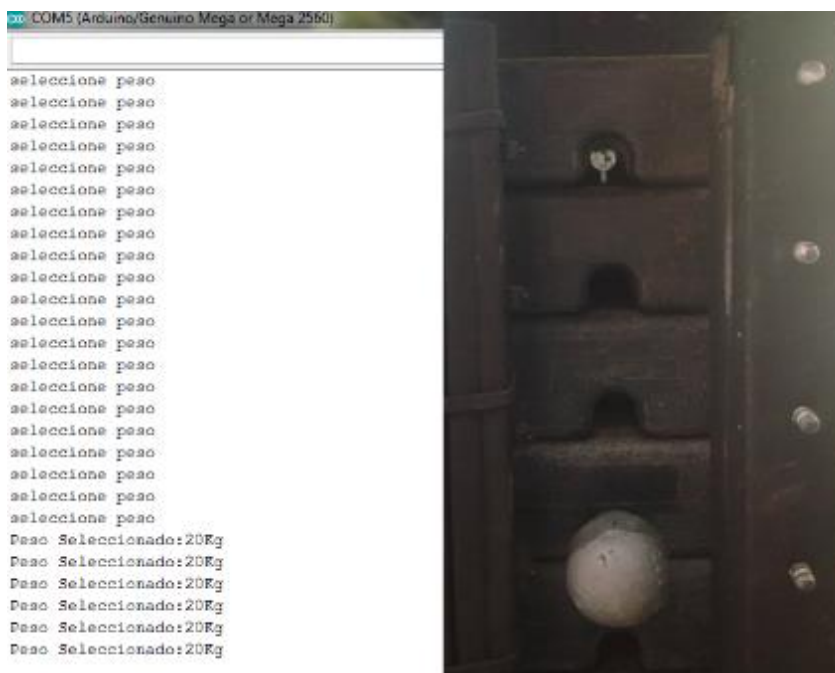


Figura 43. Detección de peso configurado en la máquina multigimnasio.

Fuente: creada por el autor.

5.4.1.4 Pruebas del sensor giroscopio GY-521

Para medir la velocidad angular y la simetría del movimiento de los brazos se empleó un IMU o unidad de medición inercial, el MPU6050 que se encuentra instalado sobre la placa GY-521. Este dispositivo se instaló en la máquina como se aprecia en la figura 44, para su funcionamiento se emplearon las rutinas más utilizadas para el desarrollo de proyectos, sin embargo, las medidas que daban no eran muy aceptables, se investigó a fondo y se determinó que solo es capaz de medir los ángulos en el eje x y el eje Y, para obtener el valor del ángulo en el eje Z se realiza de forma indirecta, sin embargo, los resultados generan derivaciones importantes por lo que se optó no utilizarse en el proyecto. También se consideró importante el tiempo que se tardan estos sensores para ser calibrados periódicamente o si se

mueve la máquina de posición y esto restó interés para que este componente fuera parte del proyecto.



Figura 44. Sensor GY-521 instalado en la máquina de gimnasio para las pruebas.

Fuente: creada por el autor.

Se planteó la posibilidad de instalar un sensor con magnetómetro para tomar el norte como referencia, sin embargo, como la máquina de gimnasio es de hierro no fue viable implementarlo porque la estructura de la máquina podría entorpecer las líneas de flujo magnético reales y engañar al sensor. Por lo tanto, se planteó hacer la medición en forma mecánica implementando una técnica precisa y con base en métodos similares ya implementados en la máquina para reducir la complejidad del diseño y obtener mejores resultados.

5.4.1.5 Propuestas para la sustitución del sensor GY-521 por el sensor óptico interruptor de paso IRT9608-F

El interruptor óptico consiste en un dispositivo similar al utilizado en el apartado 5.4.1.5. para detectar la posición del pin, la diferencia es que, en lugar de tener el fotodiodo y el led infrarrojo en paralelo como se exhibe en la figura 45, se encuentran uno frente del otro de tal forma que siempre se está detectando la luz, sin embargo, al poner algún objeto entre ellos la luz se corta y el fotodiodo detectará la falta de luz, esto es una señal que percibe el Arduino como un cambio de estado.

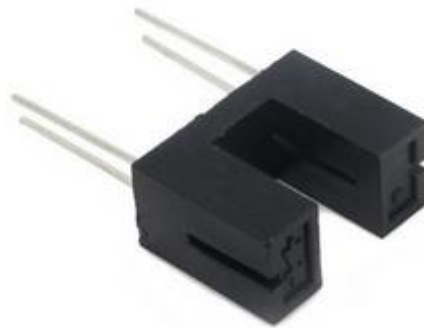


Figura 45. Sensor interruptor óptico IRT9608-F.

Fuente: creada por el autor.

Inicialmente, se realiza el cálculo del barrido que realiza el brazo de la máquina para conocer el ángulo máximo que logra alcanzar. En la figura 46 se describe cómo se realiza la medición del ángulo con ayuda de un transportador escolar. Se puede apreciar que se inicia en 0° y alcanza 120° de movimiento angular.



Figura 46. Apertura angular de los brazos de la máquina de gimnasio.

Fuente: creada por el autor.

Luego de obtener la medida del ángulo máximo de los brazos se confecciona una figura en forma de medio círculo con una serie de 23 huecos distribuidos en su perímetro para que los pueda detectar el sensor, como se ilustra en la figura 47.



Figura 47. Disco media luna con 23 perforaciones alrededor.

Fuente: creada por el autor.

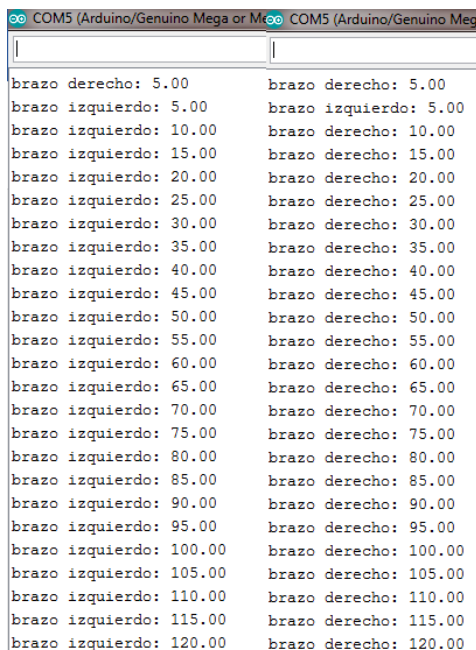
Para realizar el *software* de control se requiere saber cuántos grados implica la detección de cada hueco, esto se logra aplicando la fórmula de la ecuación 1.

Ecuación 1. Fórmula para calcular el avance del brazo.

$$\text{Grados por hueco} = \frac{120^\circ}{24\text{huecos}} = 5^\circ/\text{hueco}$$

Fuente: creada por el autor.

Por lo tanto, cada hueco que se avance es un barrido de 5°. Con esta información se desarrolla una subrutina para medir el avance angular del movimiento de los brazos. En la figura 48 se representan los resultados del movimiento de ambos brazos.



```

COM5 (Arduino/Genuino Mega or Me COM5 (Arduino/Genuino Meg
|
|
brazo derecho: 5.00      brazo derecho: 5.00
brazo izquierdo: 5.00   brazo izquierdo: 5.00
brazo izquierdo: 10.00  brazo derecho: 10.00
brazo izquierdo: 15.00  brazo derecho: 15.00
brazo izquierdo: 20.00  brazo derecho: 20.00
brazo izquierdo: 25.00  brazo derecho: 25.00
brazo izquierdo: 30.00  brazo derecho: 30.00
brazo izquierdo: 35.00  brazo derecho: 35.00
brazo izquierdo: 40.00  brazo derecho: 40.00
brazo izquierdo: 45.00  brazo derecho: 45.00
brazo izquierdo: 50.00  brazo derecho: 50.00
brazo izquierdo: 55.00  brazo derecho: 55.00
brazo izquierdo: 60.00  brazo derecho: 60.00
brazo izquierdo: 65.00  brazo derecho: 65.00
brazo izquierdo: 70.00  brazo derecho: 70.00
brazo izquierdo: 75.00  brazo derecho: 75.00
brazo izquierdo: 80.00  brazo derecho: 80.00
brazo izquierdo: 85.00  brazo derecho: 85.00
brazo izquierdo: 90.00  brazo derecho: 90.00
brazo izquierdo: 95.00  brazo derecho: 95.00
brazo izquierdo: 100.00 brazo derecho: 100.00
brazo izquierdo: 105.00 brazo derecho: 105.00
brazo izquierdo: 110.00 brazo derecho: 110.00
brazo izquierdo: 115.00 brazo derecho: 115.00
brazo izquierdo: 120.00 brazo derecho: 120.00

```

Figura 48. Demostración de barrido de los brazos de la máquina minigimnasio.

Fuente: creada por el autor.

La información del desarrollo de esta subrutina se encuentra en el anexo 13, con este código se realiza la medición del estado de ambos brazos.

5.4.1.6 Sistema de luces indicadoras para configuración del peso

Esta sección del sistema se encarga de indicar dónde se debe colocar el pin antes de iniciar la rutina para evitar una confusión con el peso que el instructor indica al usuario. Su lógica no es compleja, sencillamente desde el pin 22 hasta el 31 se coloca un led con una resistencia de 200Ω en serie a cada puerto y se controlan por una rutina muy básica que se encuentra en el anexo 14. En la figura 49 se presenta el sistema corriendo una rutina de prueba de leds.



Figura 49. Uso de rutina de prueba de leds.

Fuente: creada por el autor.

5.4.1.7 Control de alarma de sonido y alarma visual por medio de placa con doble relé

El sistema debe generar una alarma visual y sonora cuando los usuarios cometen acciones peligrosas posteriores a la advertencia visual que despliega el sistema. Esto se logra con una sirena de alarma que trabaja con 12V y una luz tipo soga de igual voltaje, por lo tanto, para activarlas se utiliza un relé para cada una como se muestra en la figura 50.

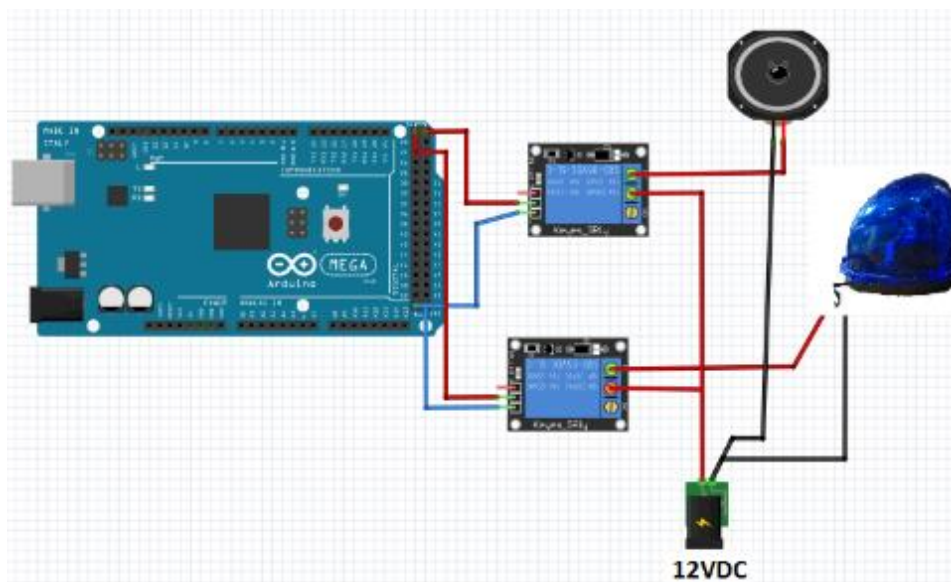


Figura 50. Conexión de alarma sonora y visual al Arduino.

Fuente: creada por el autor.

El gobierno de estos componentes se logra conmutando el estado lógico del pin 32 para la alarma sonora y el pin 33 para la alarma visual. Un estado en bajo activa los relés y estos a la vez, el dispositivo. En el anexo 15 se encuentra la rutina de control para cada dispositivo. En la figura 51 se demuestra el accionamiento de la luz roja por medio de un *software* creado para la pantalla Nextion.



Figura 51. Accionamiento de luz sogá por medio de la pantalla Nextion para pruebas.

Fuente: creada por el autor.

El uso la luz sogá forma parte del prototipo y valorando su uso y resultados se realiza una recomendación para sustituirlo por otro mecanismo que posteriormente se convirtió en una recomendación planteada en la sección 6.2.

5.4.1.8 Sensor inductivo para control de giro de polea

Para medir el desplazamiento del peso al igual que lo hace el sensor ultrasónico se implementa el uso de un sensor inductivo que percibe el giro de la polea inicial de la máquina. Esto se logra por medio de la detección de pequeños rectángulos de papel aluminio colocados en el perímetro de la polea cada 15° , por lo tanto, son 24 piezas para los 360° o el giro completo. El diámetro de la polea es de 5.7cm, si se aplica la fórmula para calcular el perímetro del círculo de la ecuación 2.

Ecuación 2. Formula del círculo para calcular el perímetro de la polea.

$$P = d * \pi \quad P = 5.7cm * \pi = 17.9cm$$

Con esta información se toma el perímetro y se divide entre 24 partes, esto da 0.75cm por pulso que genera el sensor inductivo. Con esta información se puede monitorear el recorrido que hace el peso durante la rutina, para dar un apoyo al trabajo que hace el sensor ultrasónico en caso de que este error durante la medición. Ambos podrían ser condiciones para definir el recorrido del peso y así los valores resultantes son más confiables. En la figura 52 se demuestra la detección del sensor de las piezas metálicas.



Figura 52. Sensor inductivo para medir el giro de la polea inicial de la máquina de gimnasio.

Fuente: creada por el autor.

El resultado que despliega la rutina del sensor inductivo es un conteo de pulsos que se multiplican por 0.75cm para medir la distancia del desplazamiento del peso.

Durante las pruebas se pudo determinar que el conteo de los pulsos se realizaba exitosamente pero cuando se aumentaba la frecuencia de trabajo el conteo no era el mismo. Se hicieron pruebas de calibración y prácticas a diferentes velocidades y se detectó que por la baja frecuencia de trabajo de 500Hz no era capaz de medir la posición en rutinas con tiempos de ascenso y descenso menores a 3 segundos. En el anexo 15 se encuentra parte del código para el control de este dispositivo.

5.5 INTEGRACIÓN DE COMPONENTES Y RUTINAS EN SKETCH. PRINCIPAL PARA DESARROLLAR EL PROTOTIPO PROPUESTO

5.5.1 Propuesta de diseño a entrenadores para valorar aceptación

Antes de iniciar a estructurar las diferentes partes del sistema se presenta el diagrama de flujo a los instructores y se les explica cómo se procederá para generar los perfiles de cada usuario. Al estudiar la idea el entrenador Jeoshua García inmediatamente detectó que el método propuesto era algo complejo y largo, él informó que los clientes son algo exigentes con el tiempo que dedican al ejercicio y que este diseño le iba a restar importancia al sistema. Opinó que todo el diagrama de la parte de entrenador se podía sustituir por una opción abierta que permita medir los límites superior e inferior por cada ejercicio, pues el resto de los parámetros ellos los pueden desarrollar en función a su experiencia e incluirlos directamente desde la computadora sin tener que depender de la máquina. Así les resta carga de trabajo y da una atención más rápida. Cuando se visita a los otros entrenadores para su

opinión también se les comenta la propuesta de Jeoshua y estuvieron de acuerdo con la mejora y sugieren que es más eficiente.

Con base en los resultados de esta actividad se replanteó el diagrama 2 que se encuentra en el apartado 5.3.3 que describe la idea inicial de autor y se generó el diagrama 8 que se presenta a continuación.

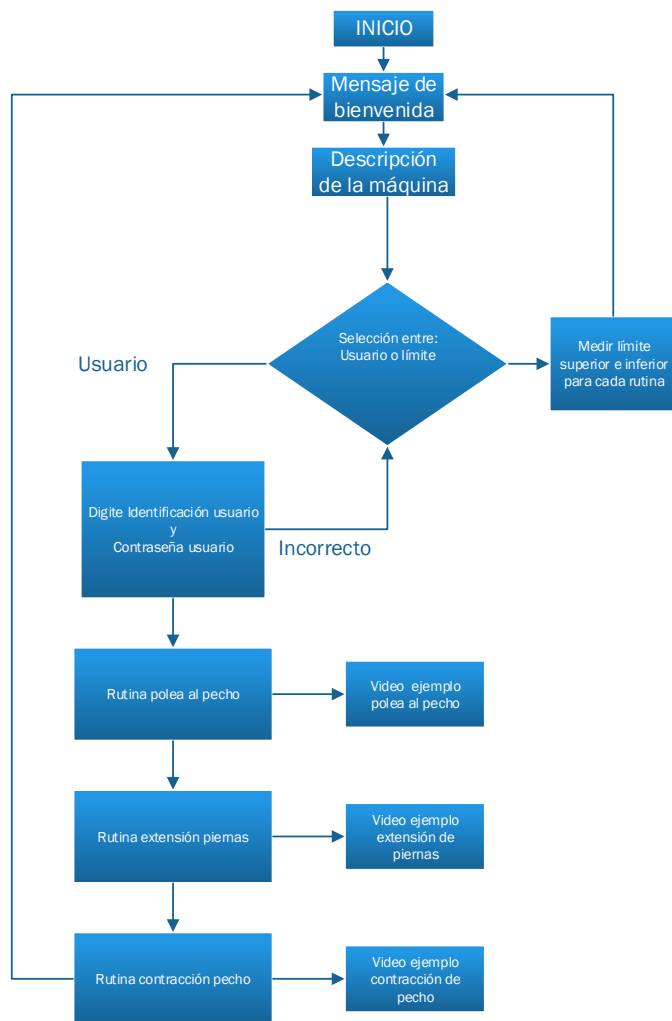


Diagrama 8. Diagrama mejorado para el desarrollo del prototipo.

Fuente: creada por el autor.

5.5.2 Desarrollo del programa para controlar la pantalla Nextion

El desarrollo del proyecto se basa en la comunicación entre el humano y la máquina para que durante el desarrollo de los ejercicios el usuario corra el menor riesgo de sufrir una lesión y logre un mejor desempeño, por lo tanto, a través de la pantalla Nextion NX4048T070 se logra realizar esta comunicación, pues se caracteriza por ser una interfaz entre el humano y la máquina.

Aunque el microcontrolador Arduino es el centro o el núcleo del proyecto, gran parte de sus tareas dependen directamente de la pantalla Nextion, pues por medio de ella se envía y se recibe la información al microcontrolador para posteriormente ser procesada.

5.5.2.1 Desarrollo de Software para control de pantalla Nextion

Una de las ventajas del uso de la pantalla Nextion es que cuenta con su propio ambiente de desarrollo llamado Nextion editor. En la figura 53 se ilustra el ambiente.



Figura 53. Ambiente Nextion Editor para desarrollar programas.

Fuente: creada por el autor.

La aplicación cuenta con una barra de herramientas donde es posible crear una serie de objetos, como botones, cuadros de texto, números, barras de progreso, texto con movimiento, indicadores circulares con aguja similares al medidor de velocidad de un automóvil. Luego permite crear varias páginas e insertar imágenes ilustrativas con relación al proceso que se va a controlar. Cuenta con una opción que se llama *debug* que permite emular el funcionamiento real de la pantalla.

Por medio del uso de esta aplicación se desarrollaron las pantallas de acuerdo al diagrama que se replanteo en el apartado 5.5.1. Ver figura 54.

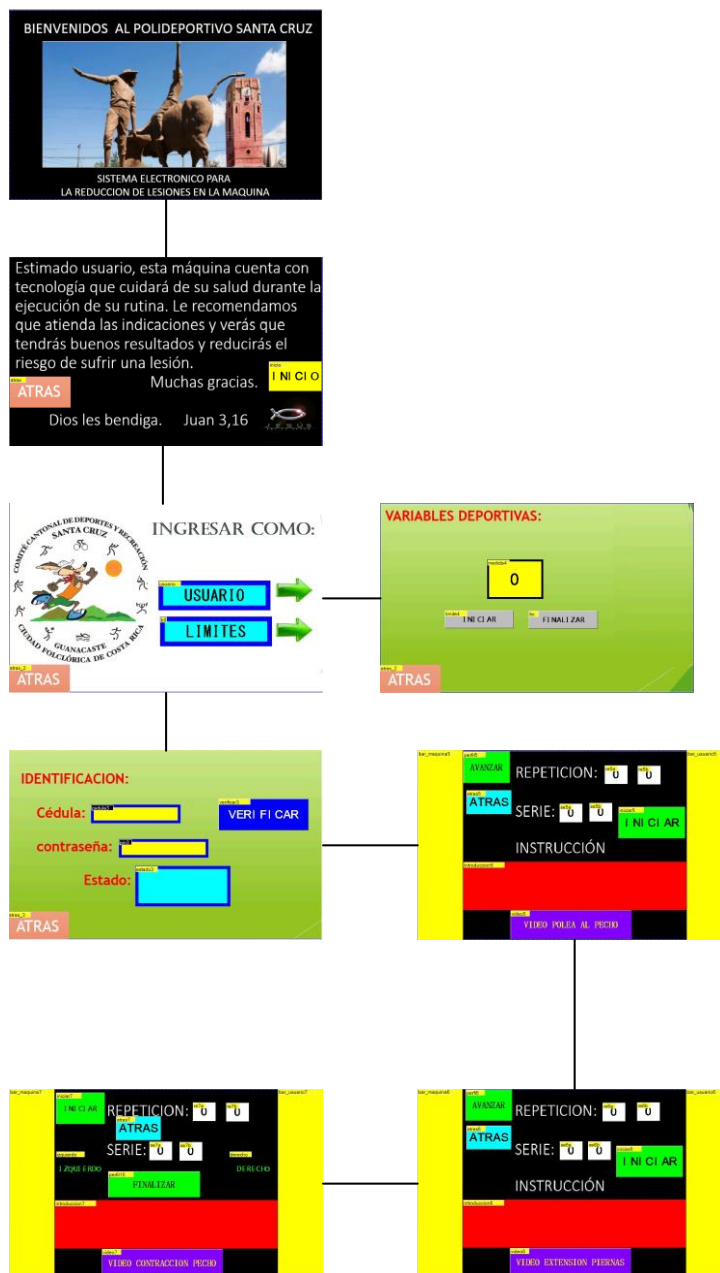


Figura 54. Diagrama lógico de pantallas Nextion.

Fuente: creada por el autor.

Cada uno de los botones implementados en las diferentes pantallas cuentan con un identificador que se envía por el puerto serie del dispositivo para indicar qué operación se está efectuando. De igual modo para enviar información hacia el

dispositivo y que la capte satisfactoriamente, se requiere conocer este identificador en pantalla, sino los datos no se desplegarán en pantalla. Se debe ser cuidadoso con el nombre que se define a cada componente que se crea en pantalla porque si se digitan mal o no mantienen relación con su uso, se pueden generar errores y habrá dificultad cuando se requiera insertar más opciones.

En la figura 62 se presenta una simulación del uso del *software* y en la parte inferior central se ve una serie de números hexadecimales. En la línea resaltada de amarillo, el número 55 indica que es un botón, el 04 que se ubica en la página 04, 01 es el identificador del objeto, el 00 indica que funciona cuando se toca y luego se libera y, por último, FF FF_H, indica el final de la trama.



Figura 55. Simulación uso de pantalla Nextion con programa para gimnasio.

Fuente: creada por el autor.

5.5.3 Selección y pruebas de librería para comunicación entre Arduino y la pantalla

Durante el aprendizaje del uso de la pantalla Nextion se investigó cómo se realiza la comunicación entre la pantalla y Arduino, se comprendió que por medio del puerto serie se puede recibir o enviar tramas que deben cumplir con un orden y protocolo establecido por el fabricante, sin embargo, por la dificultad del desarrollo de estas subrutinas se optó por reutilizar código y por medio de la librería

ITEADLIB_Arduino_Nextion-master, desarrollada por Wu Pengfei, se desarrollaron las secciones del programa principal que hace uso de la pantalla. Se optó por usar esta librería por el orden que ofrece y su fácil comprensión. En la figura 56 se muestra parte del sketch. del programa principal donde se llama la librería y se declaran algunos objetos creados en la pantalla.

```

:shivo Editar Programa Herramientas Ayuda
programa_final_gimnaio
1 |
2
3
4 //*****libreria nextion*****
5 #include <Nextion.h>
6 //*****VARIABLES PARA LECTURA DE BOTONES DE LA PANTALLA NEXTION,*****
7
8 //*****INGRESO NUEVO PAGINA 2*****
9
10 NexButton video1=NexButton(12,5,"video1");NexButton video2=NexButton(12,6,"video2");
11 NexButton video3=NexButton(12,7,"video3");
12 //*****IDENTIFICACIÓN USUARIO NUEVO PAGINA 3*****
13 NexText cedula3=NexText(3,2,"cedula3");
14 NexText pin3=NexText(3,4,"pin3");
15 NexText estado3=NexText(3,3,"estado3");
16 NexButton verificar3=NexButton(3,5,"verificar3");
17 //*****LIMITES NUEVO PAGINA4*****
18 NexNumber medida4=NexNumber(4,3,"medida4");
19 NexNumber medida4i=NexNumber(4,5,"medida4i");
20 NexButton limite4=NexButton(4,1,"limite4");
21 //*****ROUTINA POLEA NUEVA PAGINA 5*****

```

Figura 56. Uso de la librería Nextion-master en el programa del sistema para reducir lesiones.

Fuente: creada por el autor.

5.5.4 Envío de información desde el Arduino hasta la pantalla Nextion

Para tener un control de los objetos que se crean en las pantallas Nextion debe quedar muy claro cómo se llaman y dónde se ubican porque con esta información Arduino reconocerá los componentes. Posteriormente se deben conocer los estamentos necesarios para enviar la información. Por medio de pruebas de laboratorio se logró controlar mensajes de textos y las barras de progreso que forman parte del sistema, como se demuestra en la figura 57.



Figura 57. Pruebas de laboratorio para manipular pantalla Nextion.

Fuente: creada por el autor.

A continuación, se explica parte de los estamentos utilizados con la librería Nextion para escribir un mensaje en pantalla. En la figura 58 se presenta parte del código del programa y se basa en el envío del conteo de las repeticiones y un mensaje “DESCANSO” cuando se finaliza una serie. En la tercera línea “re5” es el nombre del espacio de número que se creó para indicar la cantidad de repeticiones que ha hecho el usuario “.setvalue” indica que se debe enviar un valor numérico,”(Repetición-1)” es el valor que se va a enviar. En la sexta línea se aplica el envío de texto que sigue la misma lógica que el caso anterior.

```

12 void bucle_repeticion() {
13
14 do{bucle_ciclo();// cuenta repeticiones en prueba son 10
15     re5a.setValue(Repeticion-1);
16     Repeticion--;}
17
18 while(Repeticion>0);
19     introduccion5.setText("DESCANSO");
20     descansol();
--

```

Figura 58. Ejemplo de empleo de funciones para la pantalla Nextion.

Fuente: creada por el autor.

5.5.5 Diagramas lógicos para el control del sistema reductor de lesiones en el uso de la máquina minigimnasio

Con el dominio de las rutinas de los sensores, actuadores, pantalla y las diferentes funciones que Arduino ofrece para realizar un *software* más complejo, se continúa con la unión de estos bloques para formar el producto final que debe cumplir con los requisitos que se enlistaron en el apartado 4.2.4.

5.5.5.1 Diagrama pantalla cálculo de límites

En el diagrama 9 se ilustra el mecanismo empleado para obtener el valor del límite para uso del entrenador, se llama la rutina que mide distancia con el sensor ultrasónico, se recoge el dato en una variable cuyo nombre mantiene relación al proceso, luego se filtra para determinar que es un valor válido y posteriormente si es se imprime en pantalla si no se ignora y se inicia el proceso.

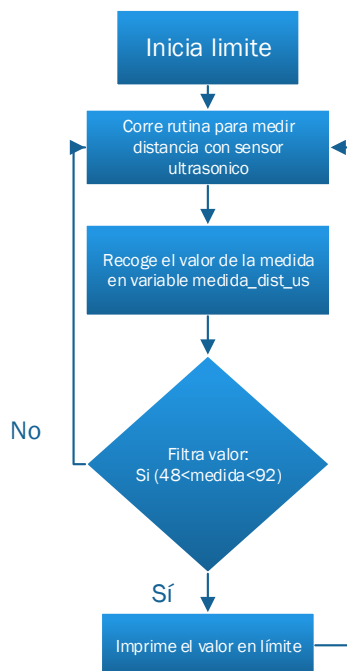


Diagrama 9. Lógica de la rutina para medir límites.

Fuente: creada por el autor.

5.5.5.2 Diagrama pantalla de autenticación de usuario

Para autenticar la existencia de un usuario previamente se realizó el perfil desde la computadora. Cuando el usuario llega esta pantalla toca los cuadros amarillos y se despliega un teclado numérico para ingresar la cédula y su pin de 4 dígitos, luego al presionar la tecla verificar se enviará la información a Arduino para validar. En diagrama 10 se describe el procedimiento.

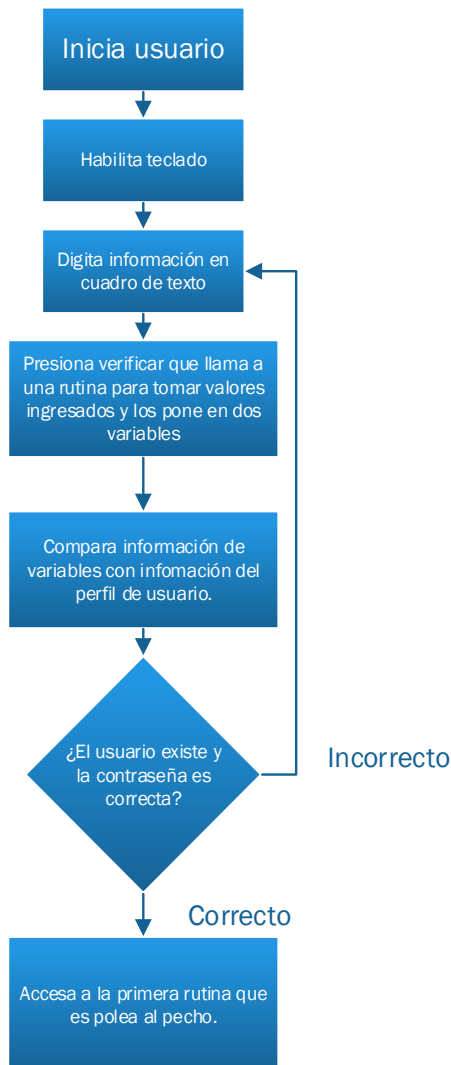


Diagrama 10. Lógica de validación de existencia de perfil de usuario.

Fuente: creada por el autor.

En esta etapa se complicó la confección del código que realiza la comparación entre la información real del usuario y lo que se recoge por medio de pantalla pues ambos datos son del tipo *string*, por lo tanto, se trata de una cadena de caracteres y no se pueden comparar sencillamente como el tipo *int* que son números enteros. Al realizar una investigación más a fondo se determinó la existencia de la función *strcmp* que realiza la comparación entre dos *strings* de datos y si son iguales devuelve un "0".

Por medio de esta función se realizan las comparaciones de ambos valores por medio de la condición "if" si se cumple salta a la página de la primera rutina, de lo contrario permanece en la actual hasta dar con el dato correcto. En la figura 59 se presenta parte del *sketch* principal donde se realiza el proceso de identificación del usuario.

```

70 //-----PAGINAS-----
71 void identifica_usuario()
72 {
73   cedula3.getText((cedula_usuariop), (10));pin3.getText(pin_usuariop, (10));
74
75   if((strcmp(cedula_usuariop,cedula_usuariob) == 0)&&(strcmp(pin_usuariop,pin_usuariob) == 0))
76   {estado3.setText("CORRECTO");delay(2000);cedula3.setText(NULL);estado3.setText(NULL);
77   pin3.setText(NULL);rut_polea.show();};//funcion compara dos cadenas de caracteres
78   else{estado3.setText("ERROR");}

```

Figura 59. Rutina para comparar cédula y contraseña del usuario.

Fuente: creada por el autor.

5.5.5.3 Diagrama de control de rutinas deportivas

En los tres ejercicios que se desarrollaron para la máquina se debe contar repeticiones, series, descansos, alertar errores, guiar al usuario con mensajes de texto y controlar barras de ascenso, por lo tanto, con la explicación del diagrama lógico del ejercicio contracción al pecho se comprenderá el de los otros dos ejercicios.

Para recibir información de la pantalla en el Arduino se requiere confeccionar dos pasos adicionales en el *sketch* del programa principal. Primero se debe realizar una lista de todos los botones Nextion que al presionarse implica que se debe realizar una tarea o correr alguna rutina. En la figura 60 se ilustra la lista Nextion y los

diversos botones de diferentes pantallas que Arduino debe escuchar al ser presionados.

```

~
7 //*****FIN VARIABLES PARA LECTURA DE BOTONES DE LA PANTALLA NEXTION,*****
8 //*****
9 //*****LISTA DE VARIABLES QUE ESCUCHA DE LA PANTALLA*****
0
1 NexTouch *nex_listen_list[] =
2 {&verificar3,&rut_polea,&limite4,&iniciar5,&iniciar6,&iniciar7,
3  &video5,&video6,&video7,NULL};

```

Figura 60. Sección de código que enlista los botones que dirigen a una rutina.

Fuente: creada por el autor.

El siguiente paso consiste en diseñar una lista de las funciones o rutinas donde el programa debe saltar para realizar la tarea solicitada luego de escuchar que se presionó un botón. En la figura 61 la sexta línea indica que si se presiona el botón iniciar 5 se debe realizar la rutina PoleaPecho.

```

18 //*****FUNCIONES DE LOS BOTONES NEXTION*****
19 nexInit();
20     verificar3.attachPop(identifica_usuario,&verificar3);
21     limite4.attachPop(limites,&limite4);
22     iniciar5.attachPop(PoleaPecho,&iniciar5);
23     iniciar6.attachPop(ExtensionPiernas,&iniciar6);
24     iniciar7.attachPop(ContraccionPecho,&iniciar7);
25
26     video5.attachPop(Video5,&video5);
27     video6.attachPop(Video6,&video6);
28     video7.attachPop(Video7,&video7);

```

Figura 61. Lista de funciones a realizar por medio de la pantalla Nextion.

Fuente: creada por el autor.

Con este conocimiento se plantea diagrama 11 que consiste en el control de las rutinas deportivas para el usuario.

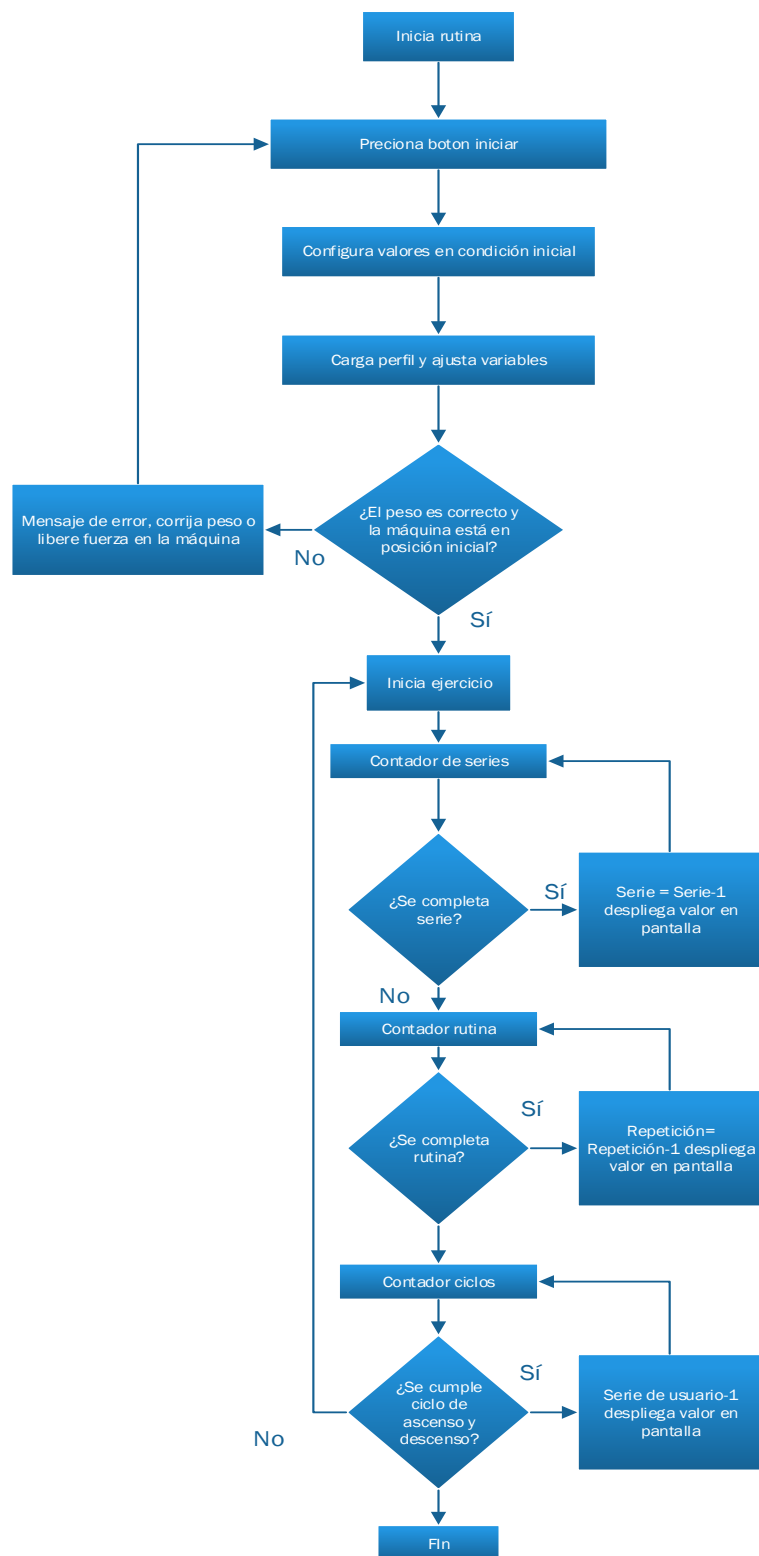


Diagrama 11. Diagrama lógico para el control de rutina.

Fuente: creada por el autor.

Según el diagrama 11 la ejecución de las rutinas comienza al presionar el botón iniciar que se encuentra en cada una de las pantallas. En el caso de la pantalla contracción al pecho este botón se llama “iniciar7” como se ilustra en la figura 62.



Figura 62. Pantalla para ejercicio contracción al pecho.

Fuente: creada por el autor.

Luego inicia el ejercicio y para esto se transfieren todas las variables relacionadas al perfil del deportista a las variables que manipula el sistema, por ejemplo: la variable peso_pecho recibe el valor de peso_rut_contracción que es el dato del perfil que creó previamente el usuario, así sucede con todas las variables como: tiempo de ascenso, tiempo de descenso, tiempo de descanso entre series, tiempo de descanso en alto, tiempo de descanso en bajo, número de series, número de repeticiones entre otros. En la figura 63 se describe una porción del código que realiza el traspaso de las variables del deportista a las variables de la rutina para aplicarlas al proceso de ejecución de rutina.

```

3  LimiteSuperior=LimiteSuperiorPecho;           //Intercan
1  LimiteInferior=LimiteInferiorPecho;          //Intercan
2  constanteDistancia=(LimiteInferiorPecho)-(LimiteSuperior
3  Repeticion=RepeticionPecho;                 //Intercan
4  Serie=SeriePecho;                           //Intercan
5  Peso=PesoPecho;
6  TiempoAscenso=TiempoAscensoPecho;           //Intercan
7  TiempoAscenso=TiempoAscenso/10;
3  TiempoDescenso=TiempoDescensoPecho;         //Intercan
3  TiempoDescenso=TiempoDescenso/10;

```

Figura 63. Traspaso de variables de perfil a variables de rutina.

Fuente: creada por el autor.

Seguidamente, determina si el peso está configurado de forma correcta, esto se logra corriendo la rutina detector de peso que define en qué posición está colocado el pin que selecciona el peso, luego compara este valor con el de perfil u, si es correcto sigue al siguiente paso que es verificar que la máquina está en reposo, para esto se corre la rutina medida _us que consiste en medir la distancia en la que se encuentra el peso a levantar por medio del sensor ultrasónico y se establece una condición, si esta medida es mayor a 92cm la máquina está en reposo, continúa el programa, de lo contrario envía un mensaje de error.

Una vez que se cumple con las condiciones iniciales el programa empieza a correr la barra de progreso izquierda es el patrón, está configurada para que ascienda y descienda según las velocidades establecidas en el perfil. Cada vez que se cumple un ciclo el contador de repeticiones decrece en uno hasta llegar a cero, en este momento se da un descanso y se hace un decremento a las series. Esto sucede hasta que las series sean cero. Cada rutina está anidada, la rutina de ascenso y descenso se ejecutan dentro de la rutina repeticiones y a la vez, dentro de la rutina

series. De esta manera se concreta con las series y las repeticiones que se programaron en la máquina.

La pantalla guía al usuario indicándole el total de series que debe hacer y las series que le faltan, lo mismo con las repeticiones.

Durante la etapa de desarrollo de las rutinas surgió un problema que debilitó la idea. Se trata del control de la barra patrón y la barra que indica el trabajo que realiza el deportista pues son tareas que se deben dar al mismo tiempo para que en pantalla no se generen confusiones que afecten la comprensión del usuario. Se manejó el uso de los *delays* para marcar el avance de la barra patrón, sin embargo, mientras se genera un *delay* el microcontrolador no realiza otras cosas y esto atrasa la medición y el despliegue de la información del trabajo que realiza el usuario, por lo tanto, se investigó algún método para que el microcontrolador realizara varias tareas al mismo tiempo.

Por medio de la condición `millis()` se puede realizar una subrutina que permita simular la capacidad de hacer múltiples tareas por medio de Arduino. En la figura 64 se explica el mecanismo empleado.

```

39 unsigned long TiempoInicio,TiempoFin, retardo;//inicia variables de contador
40 retardo=TiempoAscenso; //continua la conformacion del contador.
41 sensor_brazo_izquierdo();
42 sensor_brazo_derecho();
43 TiempoInicio=millis();
44 if((TiempoFin-TiempoInicio)>=retardo)
45 {Descenso3(); TiempoFin=TiempoInicio;}}
46 if(incremento<=0 &&avance<=0)
47 {tono();goto SalidaDown3;} else{goto InicioDown3;}
48 SalidaDown3:;

```

Figura 64. Técnica para realizar múltiples tareas con Arduino.

Fuente: creada por el autor.

Primero se crean tres variables del tipo “long” que almacenarán un tiempo inicial, un tiempo final y un retardo, en el diseño este retardo es el tiempo que debe avanzar la barra un 5 %, es decir si este tiempo fueran 200ms, en 600ms la barra habrá avanzado un 15 % de su totalidad. Cuando se inicia esta subrutina se declara la función millis() que consiste en un valor del tiempo que ha transcurrido desde que se encendió el sistema, este valor se almacena en el tiempo inicial y luego se resta a un tiempo final este valor si el resultado es menor que el tiempo de retardo se salta lo que está dentro de la condición, esto se repite varias veces hasta que esta resta sea igual o mayor al valor de retardo, mientras la condición no se cumpla el sistema puede recorrer otras rutinas como generar el avance de la barra del usuario para que sea claro su trabajo y calcular otras tareas como medir si un brazo avanza más que el otro, para detectar errores en la ejecución de la rutina.

5.6 PRUEBAS DE CAMPO EN EL GIMNASIO DEL POLIDEPORTIVO DE SANTA CRUZ Y RESULTADOS DE SATISFACCIÓN

Para realizar las pruebas de campo se trasladó la máquina con la tecnología desarrollada y se colocó en un espacio designado por el comité para trabajar durante 15 días. Se contó con la participación de algunas de las personas que participaron en la encuesta investigativa del apartado 4.2.2. Más algunas personas que se interesaron en el dispositivo y muy amablemente hicieron su aporte.

La metodología empleada consistió en interactuar con el usuario creando un perfil similar al que el entrenador había diseñado para su actual rutina y practicarlo en la máquina con tecnología.

En la figura 65 se describe un ejemplo de las pruebas realizadas en el campo, en este caso se cuenta con la colaboración de la señorita Nicole Sequeira que ha asistido al gimnasio durante 3 años y cuenta con una amplia experiencia en el tema del deporte.



Figura 65. Cooperación de la Srta. Nicole para la evaluación del sistema reductor de lesiones.

Fuente: creada por el autor.

En la figura 66 se demuestra la cooperación de la señorita Glenda Ramírez que cuenta con un mes de asistir al gimnasio y está muy motivada por hacer bien su trabajo.



Figura 66. Cooperación de la Srta. Glenda para la evaluación del sistema reductor de lesiones.

Fuente: creada por el autor.

5.6.1 Verificación del cumplimiento de las características y requisitos del diseño planteado

Para verificar que se cumple el diseño se comenta de qué forma se sustenta cada uno de los requerimientos.

1. El sistema debe diseñarse de tal forma que no comprometa el movimiento de los mecanismos ni el espacio que requiere el usuario para ejecutar el ejercicio.

Para esto se instalaron estratégicamente los dispositivos de tal manera que luego de estudiar las técnicas empleadas en cada ejercicio se definiera qué zonas no comprometen el movimiento del usuario. Se utilizaron cajones compactos para almacenar la circuitería en menor espacio y canaletas adheridas al sistema para

acomodar el cableado de tal manera que no impactara el diseño de la máquina y afectara su uso.

2. Deber ser capaz de indicar al usuario en forma visual por medio de una pantalla LCD tipo *touch* la información necesaria para realizar los ejercicios.

Por medio de la pantalla Nextion que es una interfaz entre la máquina y el humano donde el usuario recibe la información visual y la máquina por medio de un teclado *touch*, se logró que la máquina le informara al usuario acerca de valores como series, repeticiones y descansos, también que el usuario le indicara a la máquina cuándo iniciar por medio de teclado virtual.

3. Debe tener un sistema visual y audible que informe al deportista sus errores, en caso que este actúe negligentemente, el sistema debe generar una alarma visual y sonora que le informe al instructor.

Por medio de la pantalla Nextion se despliegan los errores en forma de mensajes de texto y por medio de un *buzzer* y una luz soga el deportista y el usuario se informan de los errores detectados por el sistema en forma visual y sonora.

4. Debe conectarse con una computadora para modificar los perfiles que se crean para cada usuario

Por medio de la computadora se crean y se modifican los perfiles que son transmitidos por medio del puerto serie al Arduino, así se puede ejecutar el diseño de los perfiles de cada usuario.

5. Debe ser capaz de informar y detectar que los usuarios configuren el peso recomendado por el instructor para cada rutina.

El sistema cuenta con una serie de sensores infrarrojos que detectan la posición del pin que selecciona el peso, por lo tanto, al correr la rutina detecta_peso el sistema sabrá dónde está el pin y por medio de una comparación con los valores fijados por el usuario se reconocerá si el peso de trabajo es correcto o incorrecto. Por medio del sensor ultrasónico se mide la distancia a la que se encuentra el peso, en reposo es 92cm si este valor es menor el sistema lo detecta por medio de la rutina que realiza la medida con el sensor ultrasónico. Si es menor genera alarma si no continúa con la rutina deportiva.

6. Debe ser capaz de reconocer e interpretar los siguientes parámetros deportivos asociados al ejercicio: peso, número de series, descansos, control de tiempo de ascenso, descanso en tiempo ascenso, tiempo de descenso, descanso en tiempo de descenso.

En el *sketch* principal existe una opción que toma en cuenta todos los parámetros mencionados para aplicarlos en cada espacio y que el programa los procese para una ejecución correcta de la rutina.

7. Debe contar con la opción de brindar una breve presentación de la postura que se requiere para hacer la rutina.

Cada rutina cuenta con una pequeña presentación donde aparece un deportista ejecutando el ejercicio correctamente durante 10 repeticiones, posterior a esto se

ilustra al usuario cuáles son los músculos que participan en esta rutina para motivarlo en el deporte.

8. Debe suministrar en forma visual los siguientes valores asociados al ejercicio: conteos de series y repeticiones, ritmo del ejercicio por medio de barras gráficas de barrido de tiempo, informe sonoro de los límites para no rebasarlos.

En el diseño del *software* Nextion se integró la solución a estos aspectos como se ilustra en la figura 67.



Figura 67. Diseño de pantalla para las rutinas.

Fuente: creada por el autor.

En los costados hay dos barras de progreso color amarillo, la derecha indica el patrón que debe seguir el usuario, la barra de la derecha indica el trabajo que realiza el deportista. En la figura 68 se describe cómo se da el movimiento de las barras durante la ejecución del ejercicio.



Figura 68. Descripción dinámica de las barras progresivas durante el ejercicio.

Fuente: creada por el autor.

El primer cuadro de repetición son las repeticiones que faltan para terminar la rutina y el de la derecha las que indica el sistema que debe hacer, igual sucede con las series. Para indicar los límites el sistema cuenta con un *buzzer* que se activa cada vez que el usuario logra llegar a los límites, esto también se capta visualmente por medio de las barras de desplazamiento.

9. Debe contar con una opción que le permita al instructor conocer los límites de cada ejercicio para confeccionar los perfiles de cada usuario.

El sistema contempla una opción abierta a las personas que utilizan el sistema que les permite medir su límite superior e inferior para que posteriormente se ingresen estos valores en el perfil del deportista. En la figura 69 se expone la pantalla 5 del sistema que cumple esta labor.



Figura 69. Pantalla para el cálculo de los límites de cada rutina.

Fuente: creada por el autor.

5.7 APLICACIÓN DE ENTREVISTA ABIERTA PARA MEDIR LA ACEPTACIÓN DEL SISTEMA REDUCTOR DE LESIONES

En esta etapa participaron todas las personas que utilizaron el sistema e incluso se obtuvo la opinión del instructor que observó detalladamente el funcionamiento de la máquina.

5.7.1 Entrevista al entrenador de Polideportivo

Al inicio cuando se instala la máquina en el polideportivo se invita al entrenador para que opine acerca del trabajo que realiza la máquina y él manifiesta que existen máquinas similares que cuentan con tecnología que se llama *automatic coach* y que algunas características son similares, sin embargo, resaltó con interés cómo se informa al usuario el ritmo que debe llevar por medio de las barras de progreso lo

cual le pareció como una mejora con respecto a lo que él conoce en el mercado, indicó que la forma en cómo se realiza el ejercicio en contracción pectoral, es común que un brazo se adelante al otro, esto depende si la persona es zurda o derecha, indica que es aceptable un valor de 20° de diferencia debido a este aspecto anatómico, pero lo ideal es mejorar este comportamiento. Indicó que la máquina realiza una buena medición e indica oportunamente los errores normales del deportista, indicó que por medio de movimiento de las barras de progreso se puede percibir como es normal que las personas hagan más fuerza con una pierna o con un brazo e indica que esto se debe corregir para evitar el desequilibrio del cuerpo que puede producir una lesión que se va generando a largo plazo.

Estos comentarios se tomaron durante una conversación previa a las pruebas, el instructor se abstuvo a participar en la entrevista por aspectos profesionales y laborales.

5.7.2 Entrevista a los usuarios del Polideportivo

Esta entrevista se encuentra en el anexo 16 y se realizó a 10 personas que visitan el polideportivo y que usaron la máquina antes de ser entrevistadas. En este informe se resaltan los aspectos más importantes en relación al proyecto y, por último, se enlistan los aportes de los deportistas que aportaron sus mejoras.

1. Luego de usar el sistema ¿Considera que una vez que la máquina conoce su perfil, usted puede continuar realizando el ejercicio sin una supervisión continua?

Las personas opinan que existe una curva de aprendizaje para comprender el funcionamiento de la máquina, sin embargo, una vez adquirido el ritmo la máquina los guía muy fácilmente. Los entrevistados consideran que la máquina les demanda más concentración en el deporte y esto hace que el mismo sea como un juego que requiere más atención y los resultados terminan siendo igual de buenos que con la ayuda directa y constante del instructor, incluso lo valoran como un reto cumplir los tiempos, la velocidad y completar la cantidad de series y repeticiones.

2. ¿Considera usted que el sistema es complicado de usar?

El sistema es muy fácil de usar, las leyendas en pantalla, las alarmas y la entrega de la información es muy clara y comprensible.

3. ¿Los colores implementados en el desarrollo de las pantallas, luces indicadoras de peso y objetos visuales son apropiados?

Son colores muy fuertes y claros sobre un fondo negro que les permite resaltar lo suficiente como para percibir y comprender la información en la oscuridad y en la luz.

4. ¿Considera que es apropiada la técnica del uso de barras progresivas para controlar la velocidad en la que se ejecuta el ejercicio?

Sí, ayudan a entender en qué parte del ejercicio se está, además, que las barras son flexibles y esperan al usuario en los extremos o límites hasta que este cumpla correctamente la repetición y esto evita que se genere frustración o desincronización en el ejercicio.

5. ¿Siente alguna diferencia al realizar el ejercicio con el sistema de reducción de lesiones con respecto a lo tradicional?

Si, se tiene la percepción de que el músculo realiza mayor trabajo cuando se sigue la rutina, por lo tanto, se considera que con menor peso se logra un mejor trabajo con respecto a lo tradicional si se sigue la rutina de la máquina. Por otro lado, estar viendo hacia la pantalla en el caso de los ejercicios extensión de piernas y contracción al pecho ayuda a mejorar la postura porque obliga a tener la cabeza viendo por encima del horizonte y esto implica una mejor postura del dorso. En la figura 70 se aprecia la concentración que genera la máquina durante el ejercicio y cómo el usuario toma una mejor postura ante la necesidad de ver hacia la pantalla que se ubica por encima de su cabeza.

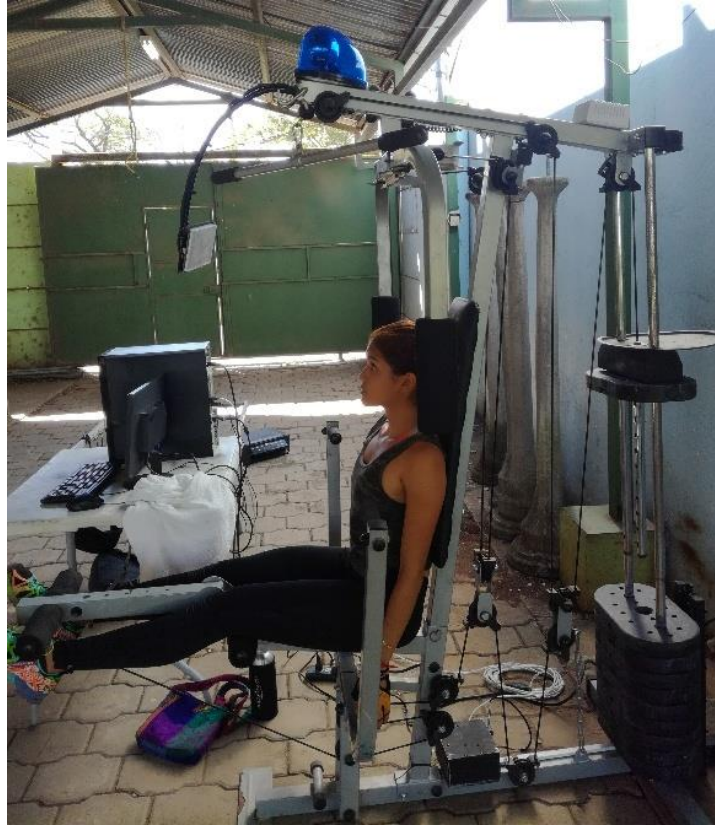


Figura 70. Mejora en la posición para realizar ejercicio.

Fuente: creada por el autor.

6. ¿Usted considera que el sistema aparte de cuidar su salud trae un beneficio adicional en el desempeño de su ejercicio?

Sí, como ejemplo mejora la postura, me garantiza que haré el ejercicio exacto y también me informa de los límites que se deben respetar, no solo se ve como un sistema de reducción de lesiones sino más bien como una herramienta para el entrenador y el usuario.

7. ¿Los videos ilustrativos de cada rutina ayudan a comprender cómo se debe hacer el ejercicio y trae una mejora en su técnica?

Realmente la explicación del instructor da la idea inicial del ejercicio, pero ver el video ayuda a recordar detalles de la técnica y aparte la idea de colocar información que detalla los músculos que participan en cada rutina lo vuelven más profesional y de mayor interés porque así se sabe que realmente se está trabajando en cada rutina. En la figura 71 se ilustra una imagen informativa colocada en el *software* de la pantalla.

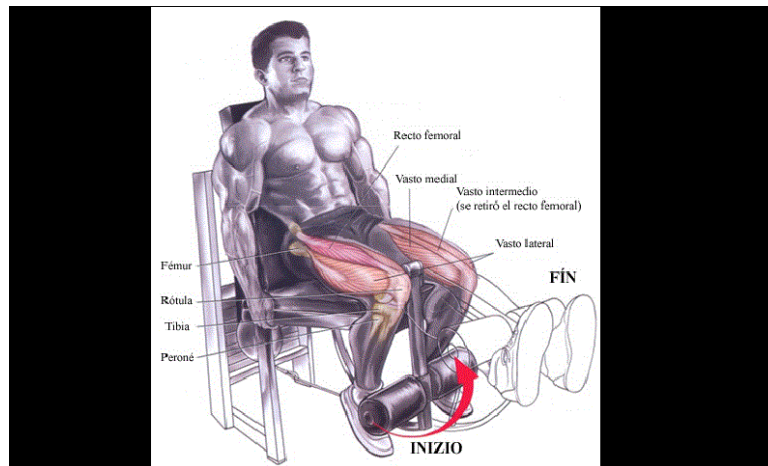


Figura 71. Pantalla ilustrativa de los músculos involucrados en la rutina extensión de piernas.

Fuente: creada por el autor.

8. ¿La máquina empleada para probar el prototipo desarrollado es apropiada para realizar los ejercicios o considera que sería mejor en otra similar a las del gimnasio?

La máquina es buena para exponer la idea, pero los resultados se ven afectados en algunas ocasiones por la inestabilidad de la máquina. Se percibe que es más una línea para el hogar por las características de fabricación. La máquina empleada tiene

mucha fricción en el movimiento de los brazos pues no cuenta con roles o algún mecanismo más preciso. Se obtienen mejores resultados en otro tipo de máquina de mejor construcción.

9. ¿Compraría una máquina que cuente con esta tecnología para utilizarla en el hogar?

En esta pregunta hubo dos tendencias importantes de resaltar. Un 60 % de los entrevistados indicaron que no compran máquinas porque les gusta visitar el gimnasio. Este grupo de personas son las que tienen el deporte como una pasión y se esmeran por mejorar cada día y compartir con las personas que tienen sus mismos gustos. Un 40 % de las personas dijeron que sería una opción genial porque les permite ahorrar tiempo y encontrar resultados tan buenos como ir al gimnasio, consideran que solo contratarían al instructor para la confección y seguimiento de su rutina.

5.8 COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

Para estimar el costo del proyecto se consideran los materiales y mano de obra, luego se hace un promedio de horas invertidas en investigación, desarrollo e implementación. Para inicio del año 2018 el costo por hora de un ingeniero en electrónica sin experiencia es de: ₡3692.21 (Tusalario.org/CostaRica, 2018), según el tipo de cambio del dólar que es de ₡565.1 (indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr, 2018), la hora equivale a \$6.53. En la tabla 2 se describe el costo final del proyecto.

Tabla 2. Costo final del proyecto materiales y mano de obra.

Cantidad	Costo por unidad	Descripción	Total
1	\$40,95	Arduino Mega 2560	\$40,95
1	\$4,95	Sensor ultrasónico HC-SR04	\$4,95
2	\$1,95	Sensor interruptor IRT9608-F	\$3,90
1	\$79,95	Nextion HMI de 7", LCD touch Display	\$79,95
1	\$10,00	Luz soga	\$10,00
10	\$1,49	Sensor óptico reflectivo TCRT5000	\$14,90
10	\$0,25	Led verde	\$2,50
4	\$4,95	Cable ribbon de 15 pies	\$19,80
1	\$10,00	Soporte para micrófono	\$10,00
1	\$1,00	Holder para micrófono	\$1,00
1	\$3,00	Base metálica para micrófono	\$3,00
1	\$2,00	Plato metálico reflector	\$2,00
1	\$3,00	Caja para intemperie 4x4	\$3,00
1	\$3,00	caja para intemperie 10x12	\$15,00
1	\$30,00	Fuente de poder	\$30,00
4	\$1,00	Estaño	\$4,00
30	0,02	Resistencias	0,6
150	6,53	Mano de obra	979,5
		Costo total:	\$1.231,00

Fuente: creada por el autor.

El costo total del proyecto es de \$1.231 lo que equivale a ₡695.638. En caso que se requiera comercializar, debe considerarse que el costo por unidad serían los materiales, el trabajo de construcción y un porcentaje que cubra los costos de investigación, el cual depende de la cantidad de unidades que se requiera fabricar.

5.8.1 Consumo de energía promedio del equipo durante su funcionamiento

Para verificar que el sistema consume una cantidad de energía considerable para su uso en un gimnasio o en casa, se realizan mediciones de consumo por medio del cálculo de la corriente de consumo en la entrada del sistema. En la figura 72 se

demuestran los resultados de laboratorio donde se mide la corriente promedio que consume el equipo.



Figura 72. Cálculo de la corriente que consume el sistema reductor de lesiones.

Fuente: creada por el autor.

Según la imagen la corriente en ese momento es de 2.41mA, sin embargo, para el cálculo promedio se hará con 2.5mA para considerar situaciones en las que se genera mayor consumo como cuando se activan las alarmas, que son situaciones poco comunes. A partir de la ecuación 3 se realiza el cálculo para conocer la potencia que consume un dispositivo eléctrico.

Ecuación 3. Cálculo de la potencia que consume el dispositivo reductor de lesiones.

$$W = V.I = 110V * 2.5mA = 275mW = 0.275W$$

Si se conectaran 100 equipos de gimnasio con esta tecnología realizarían el consumo de: $100 * 0.275W = 27.5W$, si se compara con algún objeto de uso cotidiano es poco más de la energía que consume un bombillo de 25W, por lo tanto, se cataloga con un sistema de consumo muy bajo en comparación a su utilidad

5.8.2 Beneficios a nivel de mercado y de consumidor final

A nivel de mercado las personas de esta época se identifican con la tecnología y son estrictos con la información. El sistema les ofrece en forma interactiva conocer cómo están realizando su ejercicio y les informa cómo debe hacerse, esto le da seguridad frente al sistema. Durante las pruebas de campo fue curioso el comportamiento de las personas en empeñarse en hacer el ejercicio como se lo indica la máquina.

La máquina puede servir como un dispositivo de publicidad, durante los tiempos de descanso puede ofrecer productos que se vendan en el gimnasio orientados al deporte o incluso generar publicidad de otros comercios como: farmacias, ferreterías o supermercados entre otros.

Actualmente, la tecnología de este tipo se encuentra en los gimnasios para personas de alto poder adquisitivo porque son dispositivos muy caros. Al aplicar esta tecnología se tienen resultados similares a un bajo costo, por lo que el gimnasio que adquiera este producto tendrá mejor imagen en comparación con los gimnasios de la zona.

Las personas que hicieron ejercicio con la máquina descubrieron que con menor peso logran exigir a sus músculos realizar trabajos tan exigentes como lo acostumbran a hacer, sin embargo, corren menos riesgo de sufrir una lesión.

La información suministrada al deportista lo conduce a cometer menos errores, por lo tanto, se expone menos a sufrir una lesión.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- 6.1.1 Las personas que asisten a un gimnasio desertan por la falta de supervisión en los ejercicios, pues no cuentan con una guía continua y personalizada, por lo tanto, deciden abandonar el gimnasio y esto representa pérdidas para la empresa y sedentarismo que afecta la economía del país por aumento de padecimientos médicos como problemas cardiorrespiratorios., hipertensión y diabetes.
- 6.1.2 Cuando una persona se lesiona se retira del gimnasio por un tiempo mínimo de 3 meses, esto reduce el ingreso de dinero al gimnasio. Una persona visita el gimnasio un promedio de 3 veces por semana, entonces en 3 meses se habrá perdido el ingreso de ¢36.000.
- 6.1.3 Las personas que evalúan la funcionalidad del proyecto indican sentirse más seguras con la guía en pantalla porque saben que los parámetros ajustados los realizó su entrenador con base en su rutina, por lo tanto, encuentran la diferencia en la continuidad de la rutina de una forma más segura.
- 6.1.4 En el diseño del dispositivo la pantalla Nextion aporta todos los requisitos que se plantearon al inicio del proyecto, sus funciones y propiedades de diseño son aptas para comunicarse entre el humano y la máquina de manera satisfactoria y profesional.
- 6.1.5 Para registrar la velocidad con la que el deportista realiza su rutina es mejor contar con los resultados que genera el sensor ultrasónico HC-SR04

por su precisión y velocidad de respuesta, sin embargo, para obtener medidas confiables se requiere de un filtro por *software* que descarte los errores y entregue un valor promedio, así se reduce el sesgo de la medida y se eliminan valores de resultados aleatorios.

6.1.6 El uso del sensor inductivo LJ12A3-4 no es viable para medir la posición del peso durante la ejecución de la rutina, pues 500Hz de respuesta es una característica que impide medir con éxito las rutinas con tiempos de ascenso y descenso menor a tres segundos.

6.1.7 HEL sensor giroscopio GY-521 mide los ángulos en el eje X y Y con alta precisión porque sus medidas dependen de la gravedad, pero para calcular el ángulo en el eje z el resultado que se obtiene no es preciso y la entrega del dato es muy lenta. Esto afectó el desempeño de la máquina.

6.1.8 El Arduino Mega 2560 es el dispositivo ideal para el desarrollo del prototipo porque cuenta con los suficientes puertos análogos para interpretar de los 10 sensores analógicos de detección de posición y los dos sensores también analógicos para la detección del giro de los brazos, esto ahorra dinero en construcción de circuitería para convertir señales analógicas a digitales, reduce el riesgo de averías y tiempo en calibración de sensores.

6.1.9 Arduino es un microcontrolador que solo realiza una tarea a la vez, por lo tanto, el uso de la instrucción *delay* no es viable para procesos que ocurren al mismo tiempo, sin embargo, es posible simular que el microcontrolador sea multitarea aplicando un algoritmo con la función *millis()* y un bucle condicional

if donde se considere el tiempo en que se debe llevar al menos una de las dos tareas.

- 6.1.10 La máquina multigimnasio Cicadex empleada para verificar el funcionamiento del sistema generó resultados positivos, pero con márgenes de error apreciables, los principales motivos son su deficiente fabricación y la fricción que se percibe en las partes móviles como los brazos y la pila de pesas que vibran durante el uso, esto produce información ambigua en las mediciones y dificultad para el deportista al hacer su rutina.
- 6.1.11 Al hacer uso de los sensores infrarrojos de interrupción de paso, se logró medir perfectamente el ángulo de avance de los brazos, pero no se pudo detectar su dirección, sin embargo, para medir el desequilibrio entre los brazos se logró por medio de la diferencia entre los ángulos la cual debe ser menor a 20° por recomendación del instructor.
- 6.1.12 El uso de identificación de los límites en forma sonora por medio del *buzzer* es una característica del sistema que da gran apoyo a los usuarios porque es más sencillo detectar los límites por el sonido que por las barras de progreso.
- 6.1.13 Durante las pruebas de campo se determinó que un usuario tarda cinco repeticiones para comprender la dinámica del sistema, luego desarrollan la confianza para continuar su rutina sin la presencia del instructor.
- 6.1.14 Para obtener resultados satisfactorios con el uso de las barras de progreso por medio de pruebas de laboratorio se determinó que la información

que se envía a la pantalla debe respetar un tiempo de envío de 100ms porque menor a esto la información que se va almacenando en el *buffer* del puerto serial se empieza a perder y los resultados en pantalla son arbitrarios y se pierde el sentido del proyecto.

6.1.15 La luz soga y el sistema de alarma sonora avisaron correctamente las veces que hubo error en el desarrollo de la rutina, sin embargo, no son aptos para usarse en un gimnasio ni en casa por la alta contaminación sonora.

6.1.16 Por medio del criterio del instructor del gimnasio, se considera que la máquina es capaz de reducir las posibilidades de una lesión porque el usuario se ve en la necesidad de configurar correctamente los parámetros para su uso y debe respetar los límites en tiempos, repeticiones, series y ángulos del ejercicio en cuestión que la máquina muestra en pantalla.

6.2 RECOMENDACIONES

6.2.1 Todas las personas realizan ejercicio de diferentes maneras, esto se nota principalmente cuando hacen las repeticiones, por lo tanto, para mejorar el proyecto se debe realizar los perfiles en función a los objetivos del deportista, para lograrlo se requiere hacer muchas pruebas y contar con el aporte del profesional en el campo del deporte para definir los patrones para cada usuario en función de sus metas.

6.2.2 El uso del brazo flexible que soporta la pantalla funciona correctamente para los ejercicios contracción pectoral y extensión de pierna, sin embargo, para el ejercicio polea al pecho genera problemas porque la pantalla no se

queda fija en el lugar donde se coloca. Para solucionar este problema se recomienda utilizar otro brazo flexible más rígido o contar con una pantalla adicional que permanezca fija solo para este ejercicio.

6.2.3 El sistema se configura con tiempos de descanso constantes entre rutinas, sin embargo, un deportista conforme avanza en su rutina el desgaste va aumentando y los tiempos de descanso deben ser mayores. Se recomienda diseñar por medio de la investigación y la estadística, qué fórmula se puede aplicar al sistema para que comprenda este comportamiento del cuerpo humano. Se puede hacer clasificando en tres grupos a los deportistas: principiantes, intermedios y expertos.

6.2.4 Mejorar la estabilidad de la máquina y diseñar un sistema con menos fricción a las articulaciones, así los resultados serían más claros y también beneficiaría al deportista para vencer más amortiguadamente la inercia durante las repeticiones.

6.2.5 Para informar al entrenador de los errores de la máquina en vez de ser por un medio masivo como la luz soga o la alarma sonora, se recomienda analizar algún dispositivo inalámbrico como una pulsera para que solo él se entere y no el resto de las personas que visitan el gimnasio.

6.2.6 Es necesario saber las direcciones en la que se mueven los brazos en la rutina contracción al pecho para tener una mejor percepción de los errores. Esto se puede lograr por medio de la misma técnica de sensor interruptor pero usando doble disco desfasado, entonces si el sensor1 detecta el disco "A" y

luego el sensor2 detecta el disco "B" el movimiento es hacia adentro por lo que se incrementa en 5° el valor del ángulo, pero si el sensor2 detecta primero el disco "B" y luego el sensor1 detecta el disco "A" el brazo habrá retrocedido 5° por lo tanto, se hace un decremento en el contador del ángulo. De esta manera el contador siempre iniciará en 0° y llegará hasta 120° y cuando retroceda hasta el inicio volverá a ser cero nuevamente por lo que no requiere de reseteo al llegar a los extremos como se hace actualmente.

6.2.7 El reflector sonoro empleado para la detección de distancia con el sensor ultrasónico puede mejorarse si se utiliza algún material más rígido como el polipropileno, además, el sensor ultrasónico puede instalarse más cerca del plato reflector así se puede reducir un poco su radio, esto ayudaría estéticamente y reduciría los errores de lectura que suele tener este tipo de sensor.

6.2.8 Es necesario disponer de un botón de reinicio del sistema para el caso que el usuario no haya podido completar su rutina, porque actualmente, para ir al inicio la única forma es finalizando todas las rutinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

1. Entrevista aplicada al especialista en el campo del deporte e instructores de gimnasio.
 1. ¿Cuánto tiempo ha laborado en el campo del deporte de gimnasio?
 2. ¿Alguna vez ha conocido equipos de gimnasio para realizar ejercicios anaeróbicos que cuenten con tecnología para proteger la salud del deportista y reducir el riesgo de una lesión?
 3. ¿Usted cree que la tecnología puede ser de ayuda para mejorar los resultados de su trabajo en el gimnasio en cuanto al uso de las máquinas multi gimnasio?
 4. ¿Qué aspectos considera usted que un dispositivo orientado al cuidado de los deportistas debe controlar: medir e informar al instructor o profesional del deporte mientras se realizan trabajo para piernas, espalda y pecho en las máquinas del gimnasio? En este caso se refiere a todas las variables asociadas al tipo de ejercicio.
 5. Si existiera una máquina que le permitiera saber cuándo el deportista es negligente al realizar sus rutinas o las está realizando mal por falta de experiencia ¿De qué manera sería viable informarse en el caso que no está allí presente para detectarlo al instante?
 6. ¿Cree usted que si el deportista pudiera ver un pequeño video donde usted exhibe la técnica antes de iniciar su rutina él podría tener una mejor experiencia y resultado?

7. Para un mejor análisis de los resultados del ejercicio de cada deportista
¿Considera usted que si un dispositivo tecnológico recopilara los datos instantáneamente durante el ejercicio de cada persona, usted podría dar una mejor evaluación para determinar los avances y las carencias de cada usuario en forma concisa, por medio de un cálculo porcentual e incluso generar un criterio para determinar que el deportista está tendiendo a lesionarse o trabaja con una lesión que no ha sido reportada o es ignorada con el fin de no reducir la intensidad de la rutina?
8. ¿Qué tipo de beneficios o perjuicios puede traer el uso de tecnología en equipos de gimnasio en relación a su trabajo como instructor profesional de ejercicio físico?
9. ¿Ha sufrido algún tipo de lesión durante su desarrollo profesional como instructor y por qué motivo sucedió?
10. ¿Cuánto tiempo tuvo que esperar mientras se recuperaba de la lesión y en qué pensaba mientras esperaba reintegrarse de nuevo ejercicio?
11. ¿En su opinión profesional por qué motivo las personas tienden a lesionarse cuando realizan ejercicios en las máquinas multi gimnasio?
12. ¿En las máquinas multi gimnasio cuáles son los ejercicios que reportan mayor cantidad de lesiones?
13. ¿Cuál es la principal meta de las personas que realizan ejercicio con máquinas multi gimnasio?

14. ¿Cuál es el mayor sector de la población que realiza ejercicios más disciplinadamente, entre qué intervalo de edad?
15. ¿En qué grupo de personas es más común las lesiones en principiantes o expertos?
16. ¿Acostumbran a llevar un control acerca de la evolución deportiva de cada uno de los usuarios de tal manera que le permita saber si están cumpliendo con las metas planteadas al inicio para que posteriormente puedan avanzar a otro nivel?
17. ¿Por qué motivo considera usted que las personas que asisten al gimnasio desertan con facilidad?
18. En resumen ¿qué aspectos o variables considera usted que un dispositivo electrónico debe considerar para poder proteger a los usuarios de una lesión, cooperar con el instructor para mejorar la experiencia y los resultados de cada deportista, así como el análisis de los mismos?

2. Cuestionario aplicado a 11 usuarios del gimnasio del polideportivo de Santa Cruz para detectar la necesidad de un sistema reductor de lesiones.

Nombre: _____ fecha: _____

Edad: ____ Sexo: ____ . Tiempo de asistir al gimnasio: _____ Objetivo: _____

1. ¿Ha sufrido alguna vez algún tipo de lesión o dolencia muscular prolongada luego de hacer uso de las máquinas de levantar peso del gimnasio?

Sí____ No____

2. ¿Usted como usuario de los servicios del gimnasio alguna vez ha alterado su rutina según lo establecido por el instructor porque ha pensado que es capaz de levantar más peso o hacer más repeticiones o series?

Sí____ No____

3. ¿Usted como usuario del gimnasio alguna vez no ha podido cumplir con su rutina porque la ha encontrado muy fuerte para su condición en ese momento o porque tenía algún impedimento?

Sí____ No____

4. ¿Conoce el caso de alguna persona que se ha tenido que retirar del gimnasio por algún tiempo debido a alguna lesión durante el desarrollo del ejercicio?

Sí____ No____

5. ¿Alguna vez ha utilizado un equipo de gimnasio equipado con tecnología que dé seguimiento a la ejecución de su rutina para evitar una lesión?

Sí____ No____

6. ¿Considera usted que es posible regular por medio de la tecnología la forma en cómo los usuarios hacen su ejercicio para evitar una lesión y cumplir con sus metas?

Sí_____ No_____

7. ¿Considera usted que a parte del tiempo que el instructor invierte explicando la rutina y haciendo un chequeo periódico a cada uno de los usuarios, sería interesante para usted como usuario hacer uso de tecnología que le esté indicando aspectos como: tiempo de ascenso, descenso, descanso, series, repeticiones y peso a usar todo esto en forma continua?

Sí_____ No_____

8. ¿Opina usted que contar con una pantalla LCD que le exhiba un video de cómo se realiza cada ejercicio (técnica) puede reforzar su conocimiento y tener una mejor experiencia como deportista con el fin de evitar una lesión física y asegurar la calidad de su ejercicio?

Sí_____ No_____

9. ¿Se siente 100 % confiado cuando realiza su rutina mientras el instructor está supervisando a otros deportistas?

Sí_____ No_____

10. ¿Ha sufrido alguna lesión mínima o dolencia que le afectó en el momento de hacer ejercicio la cual no reportó o la ignoró y posteriormente continuó haciendo ejercicio?

Sí____ No____

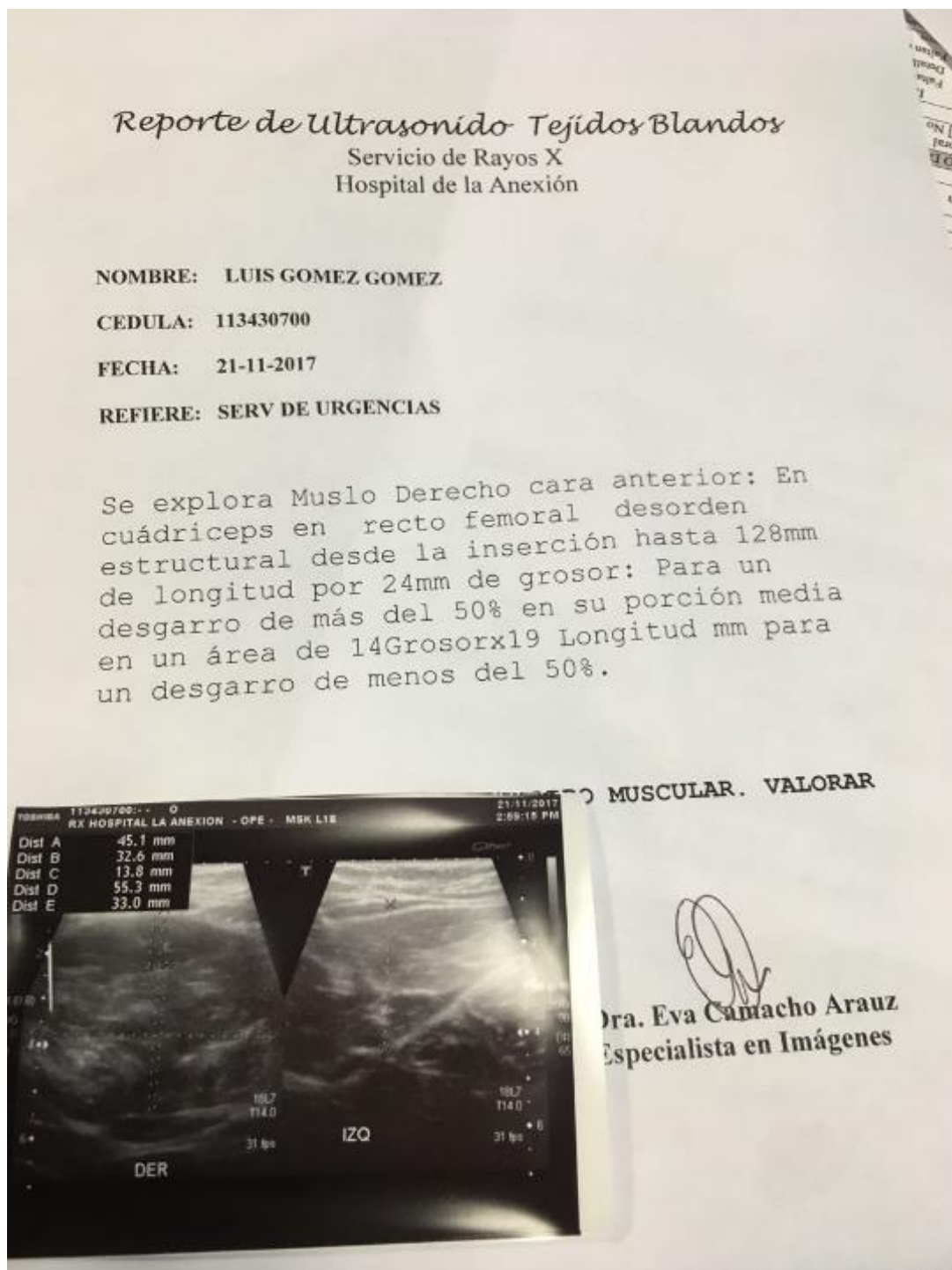
11. ¿Considera usted que un gimnasio que usa tecnología de seguridad lo vuelve más interesante y atractivo para el público?

Sí____ No____

12. ¿Considera usted indispensable poder tener un historial del desarrollo de sus ejercicios que le permita a usted y el entrenador comprender sus límites como deportista para poder acondicionar las rutinas a su nivel para evitar que se lesione?

Sí____ No____

3. Dictamen médico realizado al señor Luis Gómez por lesión de desgarre en músculo femoral y cuádriceps en pierna derecha.



4. Hoja de datos Pantalla Nextion *****

Nextion is a Seamless Human Machine Interface (HMI) solution that provides a control and visualisation interface between a human and a process, machine, application or appliance. Nextion is mainly applied to IoT or consumer electronics field. It is the best solution to replace the traditional LCD and LED Nixie tube. With the *software* - Nextion Editor (Official Download), users are able to create and design their own interfaces for Nextion display.

Go shopping NX8048T070 (im150416007)

Package includes: a Nextion 7.0" display, a wire, a power supply test board

Note: there's a small power supply test board and a wire for you to test if the electricity supply is enough or not. Please see below image on how to use it.

Caution:

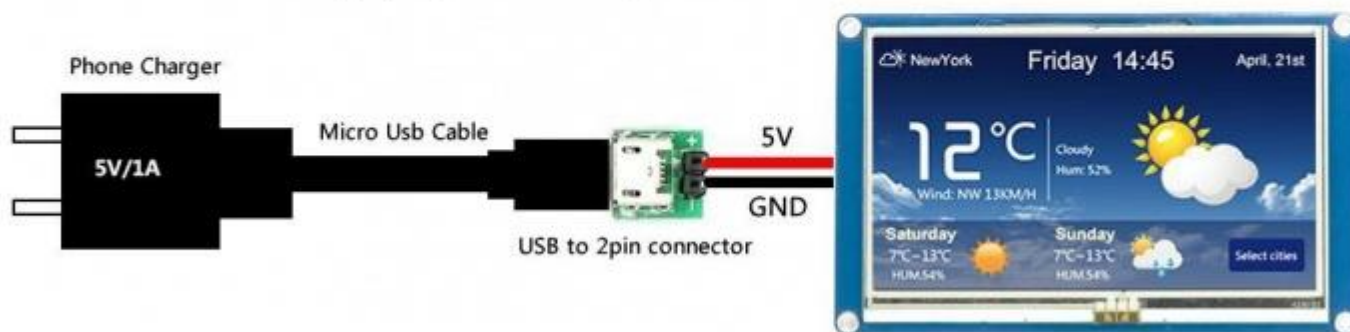
Working under insufficient power supply condition will damage the Nextion model easily.



Blurred screen? Flashing? You may be suffering from power shortages. Power off at the first possible moment. No more repeated attempts to damage your Nextion model.

A small connector is included in the package. Please try to power Nextion with your phone charger through the connector to check if Nextion works well.

A high quality usb cable is required.



Nextion User Manual: <http://goo.gl/LbvAJ5>

Nextion Models

Nextion Type	Basic
Nextion Models	NX8048T070_011N (N: No touch)
	NX8048T070_011R (R: Resistive touchscreen)



Specification

	Data	Description
Color	65K (65536) colors	16 bit, 5R6G5B
Layout size	181(L)×108(W)×7.3(H)	NX8048T070_011N
	181(L)×108(W)×9(H)	NX8048T070_011R
Active Area (A.A.)	164.9mm(L)×100mm(W)	-
Visual Area (V.A.)	154.08mm(L)×85.92mm(W)	-
Resolution	800×480 pixel	Also can be set as 480×800
Touch type	Resistive	-
Touches	> 1 million	-

Backlight	LED	-
Backlight lifetime (Average)	>30,000 Hours	-
Brightness	250nit(NX8048T070_011N)	0 % to 100 %, the interval of adjustment is 1 %
	180	nit 0 % to 100 %, the interval of adjustment is 1 %
	230nit(NX8048T070_011R)	adjustment is 1 %
Weight	216g (NX8048T050_011N)	-
	268g (NX8048T050_011N)	-

Electronic Characteristics

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Operating Voltage		4.75	5	7	V
Operating Current	VCC=+5V, Brightness is 100 %	-	510	-	mA
	SLEEP Mode	-	15	-	mA

Power supply recommend : 5V, 2A, DC

Working Environment & Reliability Parameter

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Working Temperature	5V, Humidity 60 %	-20	25	70	°C
Storage Temperature	-	-30	25	85	°C
Working Humidity	25°C	10 %	60 %	90 %	RH

Interfaces Performance

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Serial Port Baudrate	Standard	2400	9600	115200	bps
Output High Voltage	IOH=-1mA	3.0	3.2	-	V
Output low Voltage	IOL=1mA	-	0.1	0.2	V
Input High Voltage	-	2.0	3.3	5.0	V
Input low Voltage	-	-0.7	0.0	1.3	V
Serial Port Mode	TTL				
Serial Port	4Pin_2.54mm				
USB interface	NO				
SD card socket	Yes (FAT32 format), support maximum 32G Micro SD Card				

Memory Features

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Memory Type	FLASH Memory	-	-	16	MB

RAM Memory Store variables - 3584 - BYTE

5. Sección hoja de parámetros del ESP8266.



Espressif Systems

ESP8266 Datasheet

Categories	Items	Values
WiFi Paramters	Certificates	FCC/CE/TELEC/SRRC
	WiFi Protocles	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.4G-2.5G (2400M-2483.5M)
	Tx Power	802.11 b: +20 dBm
		802.11 g: +17 dBm
		802.11 n: +14 dBm
	Rx Sensitivity	802.11 b: -91 dbm (11 Mbps)
802.11 g: -75 dbm (54 Mbps)		
802.11 n: -72 dbm (MCS7)		
Types of Antenna	PCB Trace, External, IPEX Connector, Ceramic Chip	
Hardware Paramaters	Peripheral Bus	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR Remote Control
		GPIO/PWM
	Operating Voltage	3.0~3.6V
	Operating Current	Average value: 80mA
	Operating Temperature Range	-40°~125°
	Ambient Temperature Range	Normal temperature
	Package Size	5x5mm
External Interface	N/A	
Software Paramaters	WiFi mode	station/softAP/SoftAP+station
	Security	WPA/WPA2
	Encryption	WEP/TKIP/AES
	Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network)
	Ssoftware Development	Supports Cloud Server Development / SDK for custom firmware development
	Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP

Recuperado de: <https://cdn-shop.adafruit.com>

6. Sección hoja de parámetros de Arduino mega 2560.

Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 (Interrupt 0), 3 (Interrupt 1), 18 (Interrupt 5), 19 (Interrupt 4), 20 (Interrupt 3), and 21 (Interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.



radiospares

RADIONICS



Recuperado de: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>

7. Sketh de Arduino para realizar pruebas con pantalla Nextion.

```

float tempo;

int a=0;

#include <Nextion.h>

#define nextion Serial1

Nextion myNextion(nextion, 9600); //create a Nextion object named myNextion using
the nextion serial port @ 9600bps

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  myNextion.init(); // send the initialization commands for Page 0

  pinMode (A9,INPUT);

}

void loop() {

  for(int i=100i; >=0i; =i-5)// inicia el bucle for para A1

  { // llave de inicio de bucle for A1

    tempo=analogRead(A9); // toma el valor del tiempo que entra del sensor ultrasonico
por el momento potencimetro.

    tempo=tempo/10.23; // ajusta el valor de entrada del puerto analógico(81023) con
respecto al slider (100)
  }
}

```

```
myNextion.setComponentValue("j1", i); // imprime el valor de la barra J1
myNextion.setComponentValue("j0", tempo); // imprime el valor de la barra j0
delay(25); // retraso para el salto de los peldaños del slider
} // llave de fin bucle for para A1
delay(300); // leve descanso para cambio de sentido del ejercicio.

for(int i=0; i<=100; i+=5) // inicia el bucle for para A2
{ // llave de inicio del bucle for A2.

tempo=analogRead(A9);
tempo=tempo/10.23;
myNextion.setComponentValue("j1", i);
myNextion.setComponentValue("j0", tempo);
delay(50);
}
delay(300);
}
```

8. Sketch. para controlar el sensor ultrasónico.

```

//*****MEDICION      MOVIMIENTO      DEL
PESO*****

void posición_us ()

{long posicion1;

{ long tiempo;

digitalWrite(trigger, LOW); // garantizar que no se hace disparo
delayMicroseconds(50); // tiempo para estabilizar el pulso en bajo
digitalWrite(trigger, HIGH); // señal de disparo
delayMicroseconds(10); // tiempo de disparo
digitalWrite(trigger, LOW); // se termina el disparo
tiempo = pulseIn(echo, HIGH); // se mide el tiempo que tarda en regresar el echo del
disparo

posición = tiempo*15/10;

}

{ long tiempo1;

digitalWrite(trigger, LOW); // garantizar que no se hace disparo
delayMicroseconds(50); // tiempo para estabilizar el pulso en bajo
digitalWrite(trigger, HIGH); // señal de disparo
delayMicroseconds(10); // tiempo de disparo

```

```
digitalWrite(trigger, LOW); // se termina el disparo

tiempo1 = pulseIn(echo, HIGH); // se mide el tiempo que tarda en regresar el echo del
disparo

posicion1 = tiempo1*15/100;
}

posicion1 = posicion1-posición;

if ((posicion1<30 || posicion1<-30) & (3700<posición<9470))
{posición=posición/10;
delay(20);
Serial.println (posición);
}
else {Serial.print ("error");}

posición=0;
}
```

9. Sketh para el control del sensor GY-521

```
// Librerias I2C para controlar el mpu6050
// la libreria MPU6050.h necesita I2Cdev.h, I2Cdev.h necesita Wire.h
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"

// La dirección del MPU6050 puede ser 0x68 o 0x69, dependiendo
// del estado de AD0. Si no se especifica, 0x68 estará implícito
MPU6050 sensor;
MPU6050 sensor1(0x69);

// Valores RAW (sin procesar) del acelerometro y giroscopio en los ejes xy,, z
int ax, ay, az;
int gx, gy, gz;

void setup() {
  Serial.begin(57600); //Iniciando puerto serial
  Wire.begin(); //Iniciando I2C
  sensor.initialize(); //Iniciando el sensor
  sensor1.initialize(); //Iniciando el sensor

  if (sensor.testConnection()) Serial.println("Sensor 0x68 iniciado correctamente");
```

```
else Serial.println("Error al iniciar el sensor 0x68");  
delay(4000);
```

```
if (sensor1.testConnection()) Serial.println("Sensor 0x69 iniciado correctamente");  
else Serial.println("Error al iniciar el sensor 0x69");  
delay(4000);  
}
```

```
void loop() {  
  sensor();  
  delay(3000);  
  sensor12();  
  delay(300);  
}
```

```
sensor_medida()  
{  
  // Leer las aceleraciones y velocidades angulares  
  sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);  
  sensor.getRotation(&gx, &gy, &gz);  
  
  //Mostrar las lecturas separadas por un [tab]
```

```
Serial.print("a[x y z] g[x y z]:\t");  
Serial.print(ax); Serial.print("\t");  
Serial.print(ay); Serial.print("\t");  
Serial.print(az); Serial.print("\t");  
Serial.print(gx); Serial.print("\t");  
Serial.print(gy); Serial.print("\t");  
Serial.println(gz);  
  
delay(100);  
}
```

10. Medidas de sensor ultrasónico con filtro supresor de errores.

```
void posición_us ()

{
  buclefiltro;
  long posicion1=0;
  int promedio=0;
  int posición=0;

  for(int i=1; <=3; ++i) //ejecución de tre veces el siguiente proceso
  {
    { long tiempo; //variable tiempo que se recoge del sensor.
      digitalWrite(trigger, LOW); // garantizar que no se hace disparo
      delayMicroseconds(15); // tiempo para estabilizar el pulso en bajo
      digitalWrite(trigger, HIGH); // señal de disparo
      delayMicroseconds(10); // tiempo de disparo
      digitalWrite(trigger, LOW); // se termina el disparo
      tiempo = pulseIn(echo, HIGH); // se mide el tiempo que tarda en regresar el echo del
      disparo
      posición = tiempo*15/1000; //valor de distancia de la primera medida hecha por el
      sensor
    }
  }
}
```

```

{ long tiempo1;

digitalWrite(trigger, LOW); // garantizar que no se hace disparo
delayMicroseconds(15); // tiempo para estabilizar el pulso en bajo
digitalWrite(trigger, HIGH); // señal de disparo
delayMicroseconds(10); // tiempo de disparo
digitalWrite(trigger, LOW); // se termina el disparo
tiempo1 = pulseIn(echo, HIGH); // se mide el tiempo que tarda en regresar el echo del
disparo
posicion1 = tiempo1*15/1000; //valor de distancia de la segunda medida hecha por el
sens
}

int filtro=0; //variable de filtro para comparar las dos medidas
int filtro1=0; //variable de filtro para comparar las dos medidas nuevamente
filtro=(posicion1-posición); //diferencia entre dos medidas
filtro1=(posición-posicion1); //nuevamente diferencia entre dos medidas
if((0<filtro<1)||((0<filtro1<1)&&(37<posición<95))){ //si la primera diferencia es mayor a 0
y menor a 1m si la segunda medida es mayor a 0 y menor a 1
//y la medida está entre 3700 y9470 que son los límites de la máquina.
promedio=promedio+posición;} // sume las medidas que cumplen con esta condición
}

promedio=promedio/3; // saliendo de la rutina con los tres valores sumados en
promedio divida entre 3 para tener un verdadero promedio

```

```
if((promedio-2>posición)||promedio+2<posición)
{goto buclefiltro;} // si las medidas no cumplen imprima un error.

if((promedio-2<posición)||promedio+2>posición) // el promedio obtenido compare
con el último valor medido y si están a menos de 2cm
{ // el resultado es correcto, de lo contrario no se toma en cuenta.
Serial.println(promedio);} } //si se tomó en cuenta se imprime.*****EL VALOR
PROMEDIO ES QUE INTERESA PARA EL CONTROL*****
```

11. Rutina para la detección de posición de pin selector de peso.

```

//*****SUBROUTINA DETECTOR DE PESO*****
void detector_peso() {
  int comparador1=0;
  int comparador2=0;
  int sensado;
  sensado1:
  for (posición_peso=10; posición_peso>=1; posición_peso--)//
  {
    sensado = analogRead(sensor_peso[posición_peso]);//
    if (sensado>100){ comparador1=posición_pesop; osición_peso=posición_peso-1;
goto sensado2;}}
  sensado2:
  for(;posición_peso>=1p; osición_peso--)
  {
    sensado = analogRead(sensor_peso[posición_peso]);
    if (sensado>100){comparador2=posición_pesog; oto condición;}
  }
  condición:
  posición_peso=comparador1;
  if (comparador1 ==0 & comparador2 == 0){Serial.println("seleccione peso");}
  if (comparador1! = 0 & comparador2 ==0){

```

```
posición_peso=posición_peso*5;
Serial.print("Peso Seleccionado:");
Serial.print (posición_peso);
Serial.println("Kg");
delay(10000);}
if (comparador1! = 0 & comparador2! = 0){Serial.println ("error");}
}
```

```
//-----
```

12. Rutina para el control del movimiento de los brazos.

```
//*****CODIGO DETECCION DE MOVIMIENTO DE BRAZOS*****
```

```
//*****BRAZO DERECHO*****
```

```
void sensor_brazo_derecho()
{
  int derecho=analogRead(brazo_derecho);
  if(derecho <400){ pulso2=0;}
  if(pulso2==LOW && pulso1==HIGH)
  {digitalWrite (led,LOW);
  pulso1=pulso2;
  while (pulso1==pulso2)
  {
    pulso2=digitalRead(brazo_derecho);}
  levantamiento_derecho++;
  float incremento=levantamiento_derecho*k;
  incremento=incremento;
  Serial.print("brazo derecho: ");
  Serial.println (incremento);
  incremento=0;
  digitalWrite (led,HIGH);
```

```

pulso1=HIGH;}}

//-----

//*****BRAZO IZQUIERDO*****

void sensor_brazo_izquierdo()
{
  int izquierdo=analogRead(brazo_izquierdo);
  if(izquierdo <400){ pulso4=0;}
  if(pulso4==LOW && pulso3==HIGH)
  {digitalWrite (led,LOW);
  pulso3=pulso4;
  while (pulso3==pulso4)
  {
    pulso4=digitalRead(brazo_izquierdo);}
    levantamiento_izquierdo++;
    float incremento=levantamiento_izquierdo*k;
    incremento=incremento;
    Serial.print("brazo izquierdo: ");
    Serial.println (incremento);
    incremento=0;
    digitalWrite (led,HIGH);
    pulso3=HIGH;}}

```

13. Rutina control de luz indicadora de peso para rutina.

```

void led_indica()
{
  delay(4000);
  digitalWrite(led_indicador[led],HIGH);
  delay(600);
  digitalWrite(led_indicador[led],LOW);
  delay(600);
  digitalWrite(led_indicador[led],HIGH);
  delay(600);
  digitalWrite(led_indicador[led],LOW);
  delay(600);
  digitalWrite(led_indicador[9],HIGH);
}

```

14. Código para obtener información del sensor inductivo que mide el giro de la polea.

```

//*****CODIGO DETECCION SENSOR INDUCTIVO*****
void sensor_inductivo()
{
  pulsoind2= digitalRead(inductor);
  if(pulsoind2==LOW && pulsoind1==HIGH)
  {digitalWrite (led,LOW);

```

```
pulsoind1=pulsoind2;
while (pulsoind1==pulsoind2)
{
pulsoind2=digitalRead(inductor);}
levantamiento++;
Serial.println (levantamiento);
digitalWrite (led,HIGH);
pulsoind1=HIGH;}}
```

15. Entrevista aplicada a las personas que participan en las pruebas de campo para percibir la aceptación de los usuarios y obtener mejoras en el sistema de reducción de lesiones.

1. Luego de usar el sistema ¿Considera que una vez que la máquina conoce su perfil, usted puede continuar realizando el ejercicio sin una supervisión continua?
2. ¿Considera usted que el sistema es complicado de usar?
3. ¿Los colores implementados en el desarrollo de las pantallas, luces indicadoras de peso y objetos visuales son apropiados?
4. ¿Considera que es apropiada la técnica del uso de barras progresivas para controlar la velocidad en la que se ejecuta el ejercicio?
5. ¿Siente alguna diferencia al realizar el ejercicio con el sistema de reducción de lesiones con respecto a lo tradicional?

6. ¿Usted considera que el sistema aparte de cuidar su salud trae un beneficio adicional en el desempeño de su ejercicio?
7. ¿Los videos ilustrativos de cada rutina ayudan a comprender cómo se debe hacer el ejercicio y trae una mejora en su técnica?
8. ¿La máquina empleada para probar el prototipo desarrollado es apropiada para realizar los ejercicios como las que el gimnasio utiliza?
9. ¿Compraría una máquina que cuente con esta tecnología para utilizarla en el hogar?

16. Carta del comité cantonal de deportes de Santa Cruz.

