



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**TEMA:**

**“SISTEMA ELECTRÓNICO DE EVALUACIÓN DE NIVELES DE DORSIFLEXIÓN  
DE TOBILLO DURANTE LA REALIZACIÓN DE SENTADILLA PROFUNDA PARA  
LA PREVENCIÓN DE LESIONES APLICADO A DEPORTISTAS DEL GIMNASIO  
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”**

**AUTOR: BRAYAN RICAR CALDERÓN PEÑAFIEL**

**DIRECTOR: MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA**

**IBARRA – ECUADOR**

**2019**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100381657-4		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	CALDERÓN PEÑAFIEL BRAYAN RICAR		
<b>DIRECCIÓN:</b>	ATUNTAQUI – RIO AMAZONAS Y PERES MUÑOZ		
<b>E-MAIL:</b>	brcalderonp@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO:</b>	2908043	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0994710281

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	SISTEMA ELECTRÓNICO DE EVALUACIÓN DE NIVELES DE DORSIFLEXIÓN DE TOBILLO DURANTE LA REALIZACIÓN DE SENTADILLA PROFUNDA PARA LA PREVENCIÓN DE LESIONES APLICADO A DEPORTISTAS DEL GIMNASIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
<b>AUTOR (ES):</b>	CALDERÓN PEÑAFIEL BRAYAN RICAR
<b>FECHA:</b>	12 DE JULIO DEL 2019
<b>PROGRAMA</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN
<b>DIRECTOR:</b>	MSc. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**2. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo tanto, asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de julio del 2019

AUTOR:

Brayan Richar Calderón Peñafiel

C.C: 1003816574





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN**

Msc. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA, DIRECTOR DEL PRESENTE  
TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA.

Que, el presente trabajo de titulación denominado “SISTEMA ELECTRÓNICO DE EVALUACIÓN DE NIVELES DE DORSIFLEXIÓN DE TOBILLO DURANTE LA REALIZACIÓN DE SENTADILLA PROFUNDA PARA LA PREVENCIÓN DE LESIONES APLICADO A DEPORTISTAS DEL GIMNASIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”, ha sido desarrollado por el señor Brayan Richar Calderón Peñafiel bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

---

MSc. Carlos Alberto Vásquez Ayala

1002424982

**DIRECTOR**



**UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS**

### **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres Magali y Salomón quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos en todo momento y siempre me impulsaron a mejorar, A mis hermanos Karen, Jazmín, Marlon quienes han sido un apoyo emocional y me han ayudado a formar como persona. A mis maestros, amigos y compañeros de estudio, gracias a quienes se obtuvo la motivación necesaria para realizar esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.

**B. Richar Calderón Peñafiel**



**UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS**

### **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones, a mis Padres que han sabido darme su ejemplo de perseverancia, honradez y esfuerzo, además por su apoyo constante que me ha permitido finalizar una etapa importante de mi vida y a la vez sirva como impulso para iniciar otra.

También quiero agradecer a los docentes que supervisaron la realización de este proyecto y por el apoyo continuo brindado, a la Universidad Técnica del Norte, directivos y profesores de la Carrera de Electrónica y Redes de Comunicación por sus buenas enseñanzas durante todos los semestres que me han ayudado a formarme como profesional.

**B. Richar Calderón Peñafiel**

## RESUMEN

El presente proyecto es la documentación realizada durante el diseño del sistema DAnkle, para tener un control de entrenamiento de sentadillas profunda, conformado por una tobillera que evalúa la posición de estos en cada repetición del ejercicio y así conocer cuándo se ha realizado una ejecución adecuada o cuando se ha cometido un error, los que se identificaran mediante una alerta sonora y otra visual (LED) ayudando así a los deportistas del club de fisicoculturismo de la Universidad Técnica del Norte a ejecutar una sentadilla con la postura adecuada y en caso de tener fallos identificarlos y trabajar en la mejora de ellos.

Dankle también es el nombre asignado al software de visualización, el cual interpreta los datos obtenidos de la tobillera a través de un receptor para ser mostrados al usuario con gráficas y textos amigables y de fácil entendimiento, teniendo así un registro del entrenamiento realizado por cada deportista.

En el diseño del sistema se ha utilizado componentes de software y hardware libre basados en una metodología del modelo en V y estándares de stakeholders con la normativa IEEE 29148, los cuales han facilitado el diseño y la realización de las pruebas necesarias para la obtención de un sistema con el menor número de fallas y que se adapte a las condiciones de entrenamiento las cuales son presentadas en el capítulo cuatro de este documento.

## **ABSTRACT**

The present project is the documentation making during the design of system DAnkle, to have a control of deep squat training, formed by an ankle support that evaluate the position of this in all squat and so, athlete know when a squat's repetition is good or bad. The errors are definite by sounds and visual (LED) alerts, which help to athletes of Universidad Tecnica del Norte's Bodybuilding club to do a squat with a good position and if they do a bad squat, they can identify this and correct.

DAnkle also is the name of visualization software, which read the data getting for the ankle support through of a receiver, to make showing to user whit graphic and text friendly and easy to understand, having of this way a record of training do for any athlete.

On the design of this system, it has been used free component of software and hardware, based to a methodology of model V and stakeholder's standards with the normative IEEE 29148. Witch have facilitated the design and testing to get a system with low numbers of errors and that suits to the training condition, which are showing on the chapter four of this document.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo I ANTECEDENTES .....	1
1.1    Introducción .....	1
1.2    Problema .....	1
1.3    Objetivos .....	3
1.3.1    Objetivo General .....	3
1.3.2    Objetivos Específicos .....	3
1.4    Alcance .....	4
1.5    Justificación .....	5
Capítulo II Fundamentación Teórica .....	7
2.1    Ergonomía Deportiva .....	7
2.1.1    Biomecánica Deportiva .....	8
2.1.2    Objetivos de la Ergonomía Deportiva .....	9
2.1.3    Clasificación de la Ergonomía .....	9
2.1.3.1    Ergonomía Cognitiva .....	10
2.1.3.2    Ergonomía Física .....	10
2.1.3.3    Ergonomía Organizacional .....	11
2.1.4    Ciencias Afines .....	11
2.1.5    Fases para la Mejora del Rendimiento Deportivo .....	12
2.1.5.1    Entrenamiento de la Técnica .....	12
2.1.5.2    Uso de Materiales Compensatorios para el Déficit de Rendimiento ..	13
2.2    Sentadilla Profunda .....	14
2.2.1    Beneficios .....	15
2.2.2    Limitaciones .....	16

2.2.3	Ergonomía en la Sentadilla Profunda .....	17
2.2.4	Técnica Adecuada de Sentadilla Profunda .....	18
2.2.5	Mejoras en el Entrenamiento de Sentadillas .....	19
2.3	Los Tobillo en una Sentadilla Profunda.....	21
2.3.1	Biomecánica del Tobillo .....	21
2.3.2	Dorsiflexión del Tobillo.....	23
2.3.3	Dorsiflexión del tobillo: Importancia y Relación con las Lesiones Deportivas 23	
2.3.4	Niveles Adecuados de Dorsiflexión.....	24
2.3.5	Detección de Dorsiflexión de los Tobillos.....	25
2.4	Placas y Sensores .....	26
2.4.1	Arduino .....	26
2.4.2	Sensores Detectores de Movimiento.....	27
2.4.3	Módulos de Comunicación Inalámbrica .....	28
2.5	Adquisición y Tratamiento de Datos de Sensores .....	29
2.5.1	Error en la Medición de Datos de Sensores .....	29
2.5.2	Filtro de Señales.....	30
2.5.2.1	Filtro Complementario.....	31
2.5.3	Algoritmos de Aprendizaje de Máquina .....	31
2.5.3.1	K - NN.....	32
2.6	Software de Programación y Visualización.....	32
2.6.1	IDE Arduino.....	33
2.6.2	Visualizadores Gráficos .....	33
2.6.3	Software de Diseño de Modelos 3D .....	34
	Capítulo III Desarrollo Experimental .....	35

3.1	Situación Actual.....	35
3.1.1	Metodología de Investigación Utilizada .....	35
3.1.2	Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte .....	36
3.1.3	Observación Directa del Entrenamiento de Sentadilla .....	37
3.1.4	Encuestas.....	39
3.1.5	Resultados del Análisis de la Situación Actual.....	40
3.2	Modelo en V y STAKEHOLDERS .....	41
3.2.1	Revisión General Del Proyecto.....	41
3.2.2	Identificación Y Análisis de STAKEHOLDERS .....	42
3.2.3	Requerimientos de STAKEHOLDERS .....	43
3.2.4	Requerimientos Funcionales del Sistema .....	44
3.2.5	Requerimientos de Arquitectura .....	47
3.3	Elección de Hardware y Software.....	50
3.3.1	Benchmarking: Elección de Hardware .....	50
3.3.1.1	Sistema Embebido .....	51
3.3.1.2	Sensores .....	56
3.3.1.3	Módulo de Comunicación Inalámbrico .....	60
3.3.1.4	Alertas .....	65
3.3.2	Elección de Software .....	66
3.4	Diseño del Sistema.....	67
3.4.1	Diagrama de Bloques del Sistema .....	68
3.4.2	Diagrama de Flujo del Sistema .....	70
3.4.3	Diseño de Hardware (DAnkle) .....	72
3.4.3.1	Evaluación del Ángulo de Dorsiflexión.....	72
3.4.3.2	Evaluación de la Posición Inicial de las Piernas .....	73

3.4.3.3	Evaluación de Elevación de Talón en el Descenso de las Sentadillas	74
3.4.3.4	Sistema de Alarma, Indicativo de Inicio y Filtros .....	77
3.4.3.5	Transmisión de Datos .....	80
3.4.3.6	Fuente de Alimentación del Sistema.....	83
3.4.3.7	Integración del Prototipo.....	87
3.4.3.8	Implementación de Algoritmo KNN o SVM al Sistema .....	92
3.4.3.9	Análisis K-NN .....	96
3.4.3.10	Funcionamiento de K-NN en Sistema de Toma de Datos .....	98
3.4.3.11	Prototipo Receptor de Datos .....	100
3.4.4	Diseño de Aplicación de Visualización .....	102
3.4.4.1	Muestra de Repeticiones en el sistema DAnkle.....	105
Capítulo IV PRUEBAS Y CONCLUSIONES .....		109
4.1	Test de Diseño.....	109
4.1.1	Test de Hardware .....	109
4.1.2	Test de Software .....	112
4.1.3	Test Eléctrico .....	115
4.1.4	Test de Aplicación .....	117
4.2	Test Funcional.....	120
4.3	Test de Requerimientos.....	122
4.4	Conclusiones .....	124
4.5	Recomendaciones .....	126
Bibliografía .....		127
Glosario de Términos y Acrónimos .....		131
Anexos .....		133
Anexo 1. Programación del Sistema.....		133

Anexo 2. Hoja de Especificaciones de MPU6050 .....	150
Anexo 3. Hoja de Especificaciones de NRF24I01 .....	151
Anexo 4. Hoja de Especificaciones de LED RGB.....	152
Anexo 5. Hoja de Especificaciones Modulo de Carga Tp4056.....	153
Anexo 6. Encuesta de Requerimientos y Tabulación .....	155
Anexo 6. Hoja de Especificaciones Técnicas de Placas Arduino.....	161
Anexo 7. Evidencias del Proceso de Realización del Trabajo de Grado .....	166
Anexo 8. Diseño 3D de Tobillera .....	168
Anexo 9. Pruebas de Funcionamiento .....	170
Anexo 10. Base de Datos de Entrenamiento y Prueba.....	174
Anexo 11: Manual de Usuario .....	177
Anexo 12. Plan de Contingencia y Fallos de DAnkle .....	186
Anexo 13. Autorización de Trabajo dentro del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte.	



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis Ergonómico y Biomecánico de un Tiro con Arco.....	8
Figura 2. Mascara de Simulación de Altura para Deportistas. ....	14
Figura 3. Ejecución de una Sentadilla Normal y una Sentadilla Profunda.....	15
Figura 4. Limitación de Flexibilidad Durante la Realización de una Sentadilla Profunda.....	17
Figura 5. Ejercicio de Calistenia para Pantorrillas y Tobillo.....	20
Figura 6. Sentadilla de Calentamiento para Mejorar la Estabilidad del Cuerpo.....	20
Figura 7. Articulación Tibiotarsiana .....	22
Figura 8. Ejes de Movimiento de la Articulación Tibiotarsiana .....	22
Figura 9. Posición de Referencia y Movimientos de Flexo-Extensión en el Tobillo .....	23
Figura 10. Electro Goniómetro .....	25
Figura 11. Tipos de Arduino Disponibles en el Mercado .....	27
Figura 12. Sensores de Detección de Movimientos Disponibles.....	28
Figura 13. Módulos de Comunicación Inalámbrica en Arduino.....	29
Figura 14. Comparación de Medición Ideal y Real de un Sensor de Distancia.....	30
Figura 15. Modelo de Aprendizaje K-NN .....	32
Figura 16. IDE de Arduino .....	33
Figura 17. Visualizador Grafico Python - Spyder .....	34
Figura 18. Diseño 3D de Robot de Exploración .....	34
Figura 19. Concurso de Fisicoculturismo Realizado en las Instalaciones de la UTN. ....	37
Figura 20. Jaula de Sentadillas UTN .....	37
Figura 21. Entrenamiento de Deportista en Jaula de Sentadillas UTN.....	38
Figura 22. Identificación de Pines de Arduino Nano.....	52
Figura 23. Distribución de Pines en Arduino Uno.....	53
Figura 24. Pines Arduino Mini Pro.....	54

Figura 25. Módulo de inclinación KY – 020 .....	57
Figura 26. Sensor MPU-6050 .....	58
Figura 27. Pines usados en el Sensor MPU6050 para la Conexión con Arduino.....	58
Figura 28. Esquema de Conexión de ESP8266 a una Red de Datos .....	61
Figura 29. Distribución de Pines de Sensor ESP8266 .....	61
Figura 30. Configuración Tipo Estrella NRF24I01 .....	63
Figura 31. IDE de Programación Python - Spyder .....	67
Figura 32. Diagrama de Bloques de DAnkle .....	68
Figura 33. Diagrama de Flujo del Sistema.....	71
Figura 34. Angulo de Dorsiflexión a Medir.....	72
Figura 35. Posición Inicial Adecuada de Puntas de los Pies.....	73
Figura 36. Elevación de Talón en Descenso de Sentadilla .....	74
Figura 37. Diagrama de Conexión de MPU6050 con Arduino Nano.....	75
Figura 38. Diagrama de Flujo del Sensor MPU-6050 .....	76
Figura 39. Configuración de pines de Buzzer y Led RGB como Alertas.....	78
Figura 40. Diagrama de Flujo de Sistema de Alarma.....	80
Figura 41. Conexión de Módulo NRF24I01 a Arduino Nano .....	81
Figura 42. Diagrama de Flujo de Transmisor .....	82
Figura 43. Batería Lipo Recargable una Celda.....	86
Figura 44. Módulo de Carga TP4056 .....	86
Figura 45. Ubicación de DAnkle en un Deportista.....	87
Figura 46. Modulo Tobillera para Toma y Procesamiento de Datos.....	88
Figura 47. Diagrama Circuitual Final de Todo el Sistema DAnkle.....	88
Figura 48. Elementos Electrónicos Ubicados en la Placa.....	89
Figura 49. Formato de Datos Inicial .....	93

Figura 50. Posición de Medición y Formato de Datos Final .....	94
Figura 51. Tabla Repeticiones Buenas.....	94
Figura 52. Repeticiones con Baja Dorsiflexión .....	95
Figura 53. Repetición Levantamiento de Talón.....	95
Figura 54 Posición de Puntas de Pies .....	95
Figura 55. Clasificación de Bases de Datos.....	96
Figura 56. Importancia de Variables en Analisis K-NN.....	97
Figura 57. Exactitud del Sistema .....	97
Figura 58. Diagrama de Flujo de algoritmo KNN .....	99
Figura 59. Resultado de Implementación K-NN en Sistema.....	100
Figura 60. Identificación de Módulo Receptor de Datos.....	101
Figura 61. Conexión de Sistema Receptor de Datos.....	101
Figura 62. Diagrama de Flujo de Funcionamiento de Aplicación .....	103
Figura 63. Aplicación DAnkle.....	104
Figura 64 Sentadilla Bien Realizada.....	105
Figura 65. Sentadilla Buena con Puntas Hacia Afuera .....	106
Figura 66. Sentadilla con Baja Dorsiflexión.....	107
Figura 67. Sentadilla Errónea por Levantamiento de Talón .....	107
Figura 68. Animación de Repetición .....	108
Figura 69. Estado de Tobillera y Receptor de información .....	111
Figura 70. Pruebas de Software en Tobillera.....	113
Figura 71. Datos Obtenidos de Análisis de Sentadillas .....	114
Figura 72. Medición con Multímetro.....	116
Figura 73. Puerto de Carga de Tobillera.....	116
Figura 74. Interface de Aplicación DAnkle.....	118

Figura 75. Ejecución de Sentadillas con Sistema .....	122
Figura 76. Tabulación Pregunta 1 .....	158
Figura 77. Tabulación Pregunta 2.....	158
Figura 78. Tabulación Pregunta 3 .....	159
Figura 79. Tabulación Pregunta 4.....	159
Figura 80. Tabulación Pregunta 5 .....	160
Figura 81. Realización de Encuestas en el Gimnasio UTN .....	166
Figura 82.Pruebas de Conexión de Sensores .....	167
Figura 83. Elaboración y Soldadura de Placa en Baquelita .....	167
Figura 84. Pruebas de Funcionamiento de Placa de Baquelita .....	168
Figura 85. Diseño de Tobillera en Programa 3D .....	168
Figura 86. Resultado de Impresión de Diseño 3D .....	169
Figura 87. Finalización de Armado de Tobillera .....	169
Figura 88. Color Azul en Led RGB .....	170
Figura 89. Color Verde en Led RGB .....	170
Figura 90. Color Rojo en Led RGB .....	170
Figura 91. Grafica de Exactitud y Número de Vecinos .....	171
Figura 92. Uso del Sistema por Miembros del Club de Fisicoculturismo .....	172
Figura 93. Recepción e Interpretación de Datos en Sistema de Visualización.....	172
Figura 94. Batería en Carga .....	173
Figura 95. Batería con Carga Completa.....	173

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Enfoques de la Clasificación de la Ergonomía .....	9
Tabla 2. Ciencia Afines a la Ergonomía de Acuerdo a su Clasificación .....	12
Tabla 3. Significado de las Siglas Utilizadas en la Fórmula de Muestra.....	39
Tabla 4. Identificación de STAKEHOLDERS .....	42
Tabla 5. Requerimientos de Stakeholders.....	43
Tabla 6. Requerimientos Funcionales.....	45
Tabla 7. Requerimientos de Arquitectura .....	47
Tabla 8. Especificaciones Técnicas Arduino Nano .....	51
Tabla 9. Especificaciones Técnicas Arduino Uno .....	52
Tabla 10. Especificaciones Técnicas arduino Minipro .....	54
Tabla 11. Comparación de Sistema Embebido .....	55
Tabla 12. Especificaciones Técnicas de Módulo KY – 020 .....	57
Tabla 13. Especificaciones Técnicas de Sensor MPU-6050.....	59
Tabla 14. Análisis Comparativo de Sensores de Medición de Parámetros.....	59
Tabla 15. Especificaciones Técnicas Módulo ESP8266.....	61
Tabla 16. Especificaciones Técnicas NRF24101 .....	63
Tabla 17. Análisis Comparativo de Módulos de Cx. Inalámbrica.....	64
Tabla 18. Especificaciones Técnicas de Buzzer .....	65
Tabla 19. Especificaciones Técnicas Led RGB.....	66
Tabla 20. Características Principales de Python .....	67
Tabla 21. Sumatoria de Corrientes del Sistema .....	84
Tabla 22. Comparación de Baterías de Alimentación .....	85
Tabla 23. Características Principales de Módulo TP4056.....	86
Tabla 24. Pines de Conexión del Sistema.....	89



Tabla 25. Funcionamiento del Prototipo por Fases .....	90
Tabla 26. Identificación de Repeticiones .....	92
Tabla 27. Balance de Exactitud K-NN .....	96
Tabla 28. Identificativos de Clases en R.....	97
Tabla 29. Test de Hardware .....	109
Tabla 30. Elementos de Verificación de Hardware .....	111
Tabla 31. Test de Software .....	112
Tabla 32. Elementos de Verificación de Software.....	114
Tabla 33. Verificación de Test Eléctrico .....	117
Tabla 34. Test de Aplicación .....	117
Tabla 35. Verificación de Test de Aplicación .....	119
Tabla 36. Resultados de Test de Diseño .....	119
Tabla 37. Test Funcional.....	120
Tabla 38. Errores en Realización de Sentadillas.....	121
Tabla 39. Verificación de Parámetros de Test Funcional .....	121
Tabla 40. Test de Requerimientos .....	122
Tabla 41. Verificación de Test de Requerimientos.....	123
Tabla 42. Base de Datos de Entrenamiento y Prueba .....	174

### **INDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Calculo de Número de Muestra .....	39
Ecuación 2. Ley de Ohm.....	78
Ecuación 3. Ley de Ohm para Obtener Valor de Resistencias .....	79
Ecuación 4. Obtención de Valor de Resistencia .....	79
Ecuación 5. Fórmula para la Sumatoria de Corrientes de los Elementos del Sistema ...	83

## **Capítulo I**

### **ANTECEDENTES**

#### **1.1 Introducción**

En el capítulo inicial del presente trabajo de grado se establecerá los fundamentos necesarios del mismo, comenzando por el problema a solucionar, los objetivos generales y específicos a alcanzar, el alcance que tendrá el proyecto dentro de su rango de acción y su respectiva justificación que avalara su desarrollo.

#### **1.2 Problema**

La sentadilla es uno de los mejores ejercicios desarrolladores de piernas, ya que trabaja diferentes grupos musculares, generando una gran fuerza, hipertrofia y resistencia en ellas. Haciendo de la sentadilla un ejercicio primordial y básico en el proceso de entrenamiento de todo deporte o actividad física. Michael Rudolph (2014), además es recomendada por entrenadores en todo momento a pesar del grado alto de dificultad que presenta, ya que una sentadilla mal ejecutada puede ser causante de dolencias o lesiones graves en talones, rodillas, espalda, entre otras, Evitando así que la persona continúe con su entrenamiento y adquiera un estilo de vida sedentario.

La mayoría de movimientos de flexo-extensión realizados durante una sentadilla profunda necesitan de una adecuada dorsiflexión del tobillo, ya que una deficiencia en esta movilidad puede ser la causa de la aplicación de una mala técnica, que limita el avance continuo y seguro del ejercicio, obligando al cuerpo a realizar movimientos potencialmente lesivos como el levantamiento del talón del lado afectado y curvatura lumbar acciones que nunca debe realizarse durante una buena ejecución de una sentadilla.

Además la limitación de la absorción de impactos en el levantamiento de grandes pesos durante la sentadilla, causada por una baja flexibilidad del tobillo ha demostrado que existe un

riesgo de hasta 13 veces más de sufrir una lesiones de rodilla como tendinopatía rotuliana, esguinces, rotación interna, entre otras y hasta un 8.7% más de probabilidad de sufrir otras lesiones entre las que se encuentran dolencias lumbares, pronación y fascitis plantar, dolor de talón y tibia anterior, entre otras de acuerdo a Backmann Lj, Denielson P (2011).

La mayoría de deportistas y aún más las personas que realizan sentadillas de forma amateur no conocen de la importancia de una buena dorsiflexión del tobillo, menos aún conocen niveles adecuado que debe tener esta dorsiflexión durante la ejecución de una sentadilla profunda para que esta sea considerada como correcta. Héctor García en su investigación sobre el tema estableció ángulos necesarios para la realización de varias actividades obteniendo que es necesario 10° de dorsiflexión para caminar, 20° para correr o bajar escaleras y 40° para poder ejecutar correctamente una sentadilla profunda, Angulo considerablemente mayor al necesario para las demás actividades, el cual solo se lo puede obtener con la realización continua de ejercicios, y que un gran número de personas que realizan sentadillas no poseen, además se pudo establecer que aquellas personas con una dorsiflexión menor a 36,5° son las más propensas a sufrir lesiones.

En el caso de los deportistas del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte, al ser este un lugar con óptimas condiciones para su desarrollo deportivo, cuentan con instalaciones que permiten realizar todo tipo de sentadillas, esta es incluida en dichos entrenamientos por lo que dentro de sus usuarios existe la problemática antes planteada, donde la ocurrencias de posibles dolencias y lesiones por causa de una mala realización del ejercicio podría inducir a problemas dentro de la institución y a dar un bajo rendimiento deportivo por parte de sus usuarios.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General.**

Realizar un sistema electrónico para la evaluación de los ángulos de dorsiflexión adecuados del tobillo al ejecutar una sentadilla profunda, previniendo lesiones de los usuarios del gimnasio de la Universidad Técnica del Norte.

### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Realizar una revisión sistemática de literatura para determinar las bases teóricas comprendidas en la revisión bibliográfica correspondiente al sistema de evaluación angular.
- Identificar cuáles son los principales tipo de errores en la técnica apropiada de realización de sentadilla profunda causada por una baja dorsiflexión de tobillo categorizándolas de acuerdo a diferentes rangos.
- Definir requerimientos de stakeholders de software y hardware bajo el estándar IEEE 29148 y así determinar materiales a usarse en el sistema de evaluación.
- Determinar el diseño adecuado del sistema, para establecer requerimientos de hardware y software adecuado para un correcto funcionamiento del mismo basado en un análisis de modelo en V.
- Comparar las pruebas de funcionamiento realizadas para determinar la efectividad del sistema y su aplicabilidad en los diferentes tipos de deportistas que asisten al gimnasio de la Universidad Técnica del Norte, corrigiendo errores.

## 1.4 Alcance

Durante el tiempo establecido de 6 meses se desarrollara un sistema de evaluación de grados de dorsiflexión del tobillo permitiendo determinar si una sentadilla es correcta o incorrectamente realizada tomando en cuenta dicho valor, notificando de esto al usuario mediante un informe de datos y una visualización grafica de dicho ángulo, advirtiéndolo de posibles lesiones a los deportistas del gimnasio de la Universidad Técnica del Norte.

La documentación bibliográfica se obtendrá de la revisión de revistas científicas tecnológicas indexadas, libros referentes al tema esto con el fin de obtener todos los datos necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación.

La determinación del diseño del sistema electrónico se realizara en base al modelo en V, el cual ayudara a determinar los tipos de requerimientos de acuerdo a cada una de sus fases y permitirá verificar cada una de ellas mediante la fase de pruebas.

La determinación del software y hardware más apropiados para la realización de este proyecto se la realizara mediante un estudio de stakeholders que seguirá la norma IEEE 29148, para proporcionen la información necesaria. Una vez finalizado se realizara las comprobaciones correspondientes.

El sistema electrónico analizará el ángulo de dorsiflexión que posee cada persona para así determinar si la sentadilla se realiza correctamente y no se tiene ningún riesgo de lesión, la sentadilla profunda a analizarse no deberá realizarse con peso extra al propio de la persona y la barra, con el objetivo de evitar lesiones y el sistema no determinara con que cantidad de peso debe realizar la sentadilla posteriormente.

Los diferentes grados de dorsiflexión del tobillo se determinara tomando como base tests sobre el tema, y verificara el ángulo que se forma entre el pie en posición plana y la tibia del pierna, por lo que en el transcurso del tiempo se ira rectificando varias características para



obtener los valores de medición adecuados, tomando en cuenta que los pies deberán mantenerse en una posición fija durante todo el ejercicio.

La presentación del sistema será estéticamente adecuada y cómoda para que la persona realice las pruebas necesarias de la mejor manera, la programación y componentes utilizados se realizara en software libre.

El sistema ya terminado determinara el ángulo de dorsiflexión que tiene la persona con un porcentaje de error del 15 al 20 por ciento dependiendo del usuario y dará indicaciones dependiendo del caso al usuario de seguir o no con la ejecución de dicha sentadilla, y si en alguna de las repeticiones a causa del problema detectado la posición de los pies cambia el sistema avisara de dicho cambio.

## **1.5 Justificación**

La Universidad Técnica del Norte (UTN), institución líder en la enseñanza superior fiel a su misión y ejes estratégicos para el desarrollo y código de ética se compromete a mantener los lineamientos de buena Gestión de Seguridad y Ambiente proporcionando condiciones de trabajo seguras saludables a toda la comunidad universitaria: docentes, administrativo, trabajadores, empleados y estudiantes (Paterson k, 2014), por lo que debe implementar sistemas que permitan dar dicha protección.

Al conocer que la mayoría de personas que realizan sentadillas para mantenerse en forma en el gimnasio de la UTN, son propensas a lesionarse por una mala realización de las mismas y que a pesar de lo común del ejercicio aún no se identifica la importancia de mejorar el ángulo de dorsiflexión del tobillo que posee cada persona y así determinar si estas pueden realizar dicho tipo de sentadilla sin ningún riesgo de lesión. Se ve la necesidad de evitar que más deportistas sufran lesiones u afecciones por causa de este problema.

Actualmente identificar ciertas características propias de una persona para ayudar a la obtención de mejores resultados con menores riesgos al realizar una actividad, es posible gracias a la aplicación de redes de sensores, más cuando se promueve la idea de tener una vida saludable realizando ejercicio a diario, es importante comprobar que las actividades que se realicen sean seguras para la persona y de esta manera no abandone el deporte por culpa de una lesión.

Al conocer el ángulo de dorsiflexión que tiene una persona y el ángulo necesario para que esta sea correctamente realizada, se puede eliminar la mayoría de los causantes de lesiones en pies, caderas, espalda y rodillas. Además se elimina la necesidad de que un instructor privado determine dichas fallas, si no que sea un sistema el que informe de fallos para que el usuario sea capaz de resolverlos, evitando así lesiones y gastos en la contratación de entrenadores profesionales y médicos.

Un deportista para dar su máximo rendimiento en un entrenamiento necesita comodidad en el ambiente y máquinas de entrenamiento que utilice, haciendo así necesario que estas sean muy poco invasivas y fáciles de utilizar para el usuario.

Todas las instituciones públicas y privadas promueven la realización de ejercicio a diario por medio de la LEY DE DEPORTE, EDUCACION FISICA Y RECREACION exponiendo que al estado le corresponde proteger, promover y coordinar el deporte y la actividad física como actividades para la formación integral del ser humano, se hace necesario de igual manera desarrollar sistemas que permitan proteger la integridad de las personas al realizar ejercicio, por lo que este proyecto se acopla a dicha ideología y apoya a la obtención de personas cada vez más activas y saludable.

## **Capítulo II**

### **Fundamentación Teórica**

La Fundamentación teórica descrita en el actual capítulo se compondrá de un estudio de la ergonomía deportiva haciendo referencia a la sentadilla profunda, la cual proporcionara información relevante de la misma para obtener una mejora del rendimiento deportivo en los integrantes del club de fisicoculturismo de la Universidad Técnica del Norte al realizar dicho ejercicio en su rutina de entrenamiento, disminuyendo posibles movimientos lesivos presentes en los tobillos que afectan a la ejecución de una técnica adecuada en el ejercicio, analizando así el rango óptimo de dorsiflexión en el que no se realice un movimiento de pies, para luego revisar la forma en la que se pueda presentar la gráfica del movimiento realizado a los usuarios, haciendo notar posibles errores mediante alertas, y por ultimo hacer una recopilación de los distintos elementos de software y hardware que se utilizaran en la construcción del prototipo.

#### **2.1 Ergonomía Deportiva**

La ergonomía es uno de los campos que más interesa a los estudios deportivos ya que ayuda a la mejora del desempeño físico de deportistas. menciona (Martínez Miquel, 1991) citado por (Lucero, 2014) La define como una ciencia aplicada que trata el diseño de diversos elementos que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas y psicológicas del deportista, buscando la adaptación en conjunto del hombre, la máquina y el medio donde se desarrolla la actividad, siendo así considerada como el conjunto de estudios encaminados a aumentar el rendimiento y la salud del deportista. Siendo uno de los más conocido el diseño de equipamiento deportivo.

### 2.1.1 Biomecánica Deportiva

En el deporte la Biomecánica permite realizar un estudio de la eficacia de los movimientos de cada deportista basándose en la relación de las cargas mecánicas de los movimientos multiarticulares (Ferro & Floria, 2016). Ayudando a mejorar la técnica de entrenamiento tratando de resolver problemas de movimiento específicos de cada tipo de ejercicio.

Es así que un profesional del deporte puede encontrar un apoyo fundamental en los principios de la biomecánica para mejorar su técnica, y controlar su entrenamiento de acuerdo a sus limitaciones y características propias del cuerpo. (Narváez, 2014). Obteniendo así una mejora en su rendimiento y en su técnica haciendo menos probable la aparición de movimientos perjudiciales por causa de una mala ejecución del ejercicio. En la Figura 1 se puede observar el análisis biomecánico y ergonómico que se realiza al tiro con arco en un deportista.

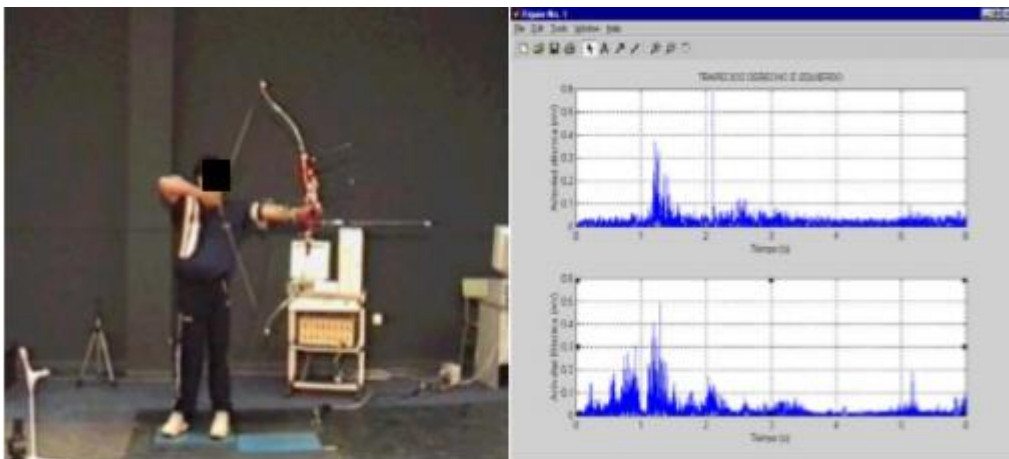


Figura 1. Análisis Ergonómico y Biomecánico de un Tiro con Arco  
Fuente: (Gianikellis, Pantrigo, & Tena, 2012)

### 2.1.2 Objetivos de la Ergonomía Deportiva

En el deporte la ergonomía tiene como objetivo conseguir que un deportista logre un óptimo rendimiento físico, evitando las posibles lesiones de las que puede adolecer por movimientos realizados incorrectamente. (Angulo, Caceres, & Cuenca, 2014).

Buscar una interacción adecuada entre hombre y maquina durante la realización de las diferentes actividades deportivas dotando de seguridad, comodidad y efectividad en su labor.

Analizar comportamientos y hábitos previos a la realización de una actividad y diferenciar si son necesarios o innecesarios para la identificación de posibles errores.

### 2.1.3 Clasificación de la Ergonomía

La ciencia de la ergonomía en sus inicios fue plenamente centrada a mejorar el ambiente físico en el que se desarrollaban las diferentes actividades, pero con el pasar del tiempo se tomó en cuenta aspectos cognitivos, físicos, ambientales, sociales y organizacionales de las personas para lograr un mejor rendimiento, de esta manera se formaron varias clasificaciones de la ergonomía determinadas por su enfoque y expresadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Enfoques de la Clasificación de la Ergonomía

<b>Taxonomía De la Ergonomía</b>	
	Puesto de Trabajo
<b>Ergonomía</b>	P - M
	Sistemas
	PP – MM
	Preventiva
<b>Ergonomía</b>	Diseño – Concepción
	Correctiva
	Análisis de Errores y Rediseño
	Geométrica
	Postural, Movimiento, Entornos, etc.

---

<b>Ergonomía</b>	Ambiental Iluminación, Sonido, Calor, etc. Temporal Ritmos, Pausas, Horarios Trabajo Físico Trabajo Mental
------------------	---

---

Fuente: (Mondelo, Torada, & Bombardó, 2010)

Todos los enfoques establecidos anteriormente son parte principalmente de tres bases diferentes de ergonomía en las cuales se estableces diferentes aspectos a tomar en cuenta durante su aplicación siendo estas:

### ***2.1.3.1 Ergonomía Cognitiva***

Se encarga de analizar procesos mentales como la toma de decisiones, razonamiento, memorización, entre otras. Que se producen al cumplir una determinada tarea tomando en cuenta los diferentes estímulos existentes en el ambiente y comprobando la relación entre la persona y los sistemas con los que interactúa. (Garavito, 2015).

De esta manera se puede llegar a propiciar un ambiente en el que los niveles de carga mental y stress disminuyan ayudando a obtener un mejor rendimiento por la toma de decisiones rápida y por la sensación de comodidad producida en el ambiente.

### ***2.1.3.2 Ergonomía Física***

Realiza el estudio del estado físico de la persona, analizando posturas y movimientos repetitivos posiblemente lesivos, así como también el estado físico del ambiente en el que desarrolla sus actividades tomando en cuenta la temperatura y la distribución de espacios de trabajo.

De esta manera es posible lograr un desempeño óptimo del cuerpo humano, ya sea por sí mismo o con el desarrollo de sistemas que faciliten la realización de las actividades.

### **2.1.3.3 Ergonomía Organizacional**

Busca la mejora de actividades desarrolladas en sistemas socio - técnicos en los cuales se prioriza el trabajo en equipo, la distribución de horarios, políticas, reuniones virtuales y participación conjunta con expertos en otras áreas. (Lucero, 2014). Buscando así la obtención de mejores resultados para las diferentes actividades que se realice.

### **2.1.4 Ciencias Afines**

Algunas de las ciencias afines en las que se ha apoyado la ergonomía para proporcionar conocimientos técnicos y avalados según (Pachuca, 2011) son:

- **Fisiología:** Es utilizada en la ergonomía para conocer los niveles de consumo metabólico durante la realización de un trabajo, analizando directamente los sistemas fisiológicos.
- **Sociología:** Se basa principalmente en conocer las relaciones sociales de las personas al realizar una actividad.
- **Psicología:** En donde se analiza el comportamiento mental de las personas y la forma en la que ellos reaccionan ante ciertas circunstancias, para así definir puestos laborales y seleccionar personal.
- **Ingeniería:** Ayuda al diseño de dispositivos acondicionados para las diferentes labores, de maquinaria y de espacios físicos adecuados.
- **Medicina:** Se encarga de ayudar a mejorar la seguridad física, evitando así posibles lesiones o malestares físicos.
- **Anatomía:** Analiza cada una de las partes que componen el cuerpo humano, estudiando en la ergonomía aspectos antropométricos y biomecánicos.

De la misma manera (Fernández de Pinedo, 1987) citado por (Angulo, Caceres, & Cuenca, 2014) ha establecido diferentes ciencias afines de acuerdo a la clasificación de la ergonomía establecida en el apartado 2.1.3 y mostrada en la Tabla 2.

Tabla 2. Ciencias Afines a la Ergonomía de Acuerdo a su Clasificación

<b>Físico</b>	<b>Cognitivo</b>	<b>Organizacional</b>	<b>Salud</b>
Seguridad	Psicología	Ingeniería	
Higiene	Sociología	Psicología	
Ingeniería	Ingeniería	Economía	
Física	Fisiología	Sociología	Evitar Daños
Fisiología		Legislación	
Psicología			
Estadística			
	Ergonomía		Sentir Bienestar

Fuente: (Fernández de Pinedo, 1987)

### **2.1.5 Fases para la Mejora del Rendimiento Deportivo**

Todos los deportistas con el objetivo de mejorar en sus disciplinas se enfocan en realizar diferentes ejercicios de la mejor forma posible, desarrollando así una técnica adecuada para cada una, (OMS, 2015) menciona que la técnica deportiva es el conjunto de procesos nerviosos y musculares encaminados al movimiento ideal, económico y eficaz de un gesto motor, encaminado por los conocimientos científicos y prácticos.

#### **2.1.5.1 Entrenamiento de la Técnica**

Los deportistas para llegar a alcanzar una técnica que se adapte a los requerimientos de su entrenamiento deben realizar una ejecución periódica de la misma, con el objetivo de alcanzar una técnica individual con movimientos fluidos que no afecten a la salud del deportista, pero si bien ese es el objetivo a alcanzar el proceso que conlleva obtener dichos resultados es el causante de la mayoría de las lesiones en deportistas, ya que en todos los casos no se toma en cuenta las condiciones físicas previas necesarias para ejecutar una técnica sin problemas.

De esta manera se ha podido considerar tres fases esenciales hasta conseguir realizar una técnica correctamente siendo estas:



- **Principiante:** En donde principalmente se trata de adaptarse a los movimientos del ejercicio, tomando para esto ideas generales del mismo haciendo imágenes mentales y realizando movimientos básicos.
- **Avanzado:** Es una fase intermedia en donde en base a la práctica y visualización continua del movimiento se eliminan movimientos innecesarios haciendo más fluidos los movimientos.
- **Dominio:** Se refiere a alcanzar un nivel alto en la realización de un ejercicio en donde se puede corregir por sí mismo errores, realizándolo aun con la existencia de perturbaciones, además es posible la creación de técnicas nuevas o variantes de la misma.

#### ***2.1.5.2 Uso de Materiales Compensatorios para el Déficit de Rendimiento***

Con el objetivo de minimizar problemas durante la fase de adquisición de la técnica (Nitsh, Neumaier, Márees, & Mester, 2002) citado por (Pereira & Fernandez, 2016) menciona que los aspectos más corrientes que se emplean son:

- Facilidades en el entorno o en el material
- Ejecución lenta y controlada del movimiento
- Practicar sin compañeros o adversarios
- Practicar en aparatos estáticos
- Utilizar ayudas referenciales

Es ahí en donde la ingeniería ayuda a la creación de elementos y aparatos referenciales y estáticos que informan sobre movimientos erróneos realizados, aumentando progresivamente la efectividad de la técnica gracias a la corrección directa de dichos errores haciendo una comparación de lo correcto con lo incorrecto y mostrando dicho error al deportista para que tome conciencia de ello evitando realizar dichos movimientos y mediante una corrección de

errores indirecta con la ayuda de elementos auxiliares que transmitan información concreta, la cual puede ayudar a tomar en cuenta condiciones externas al ejercicio como el aumento de flexibilidad, cambio de terreno o comportamiento. En la Figura 2 se puede observar una mascarera de simulación de altura la cual permite a los deportistas entrenar con distintos niveles de oxígeno sin movilizarse grandes distancias para ello.



Figura 2. Mascara de Simulación de Altura para Deportistas.

Fuente: <http://fitness-ejercicio/xbest-savings-for-outerdo-mascara-de-entrenamiento-deportivo-simulacion-de-altura>

## 2.2 Sentadilla Profunda

La sentadilla es uno de los ejercicios más importantes para el desarrollo de la fuerza y tonificación del tren inferior del cuerpo, trabajando los músculos de los muslos, caderas y glúteos (Rodríguez, Zoquez, Corrales, & Manzo, 2017), De los cuales los cuádriceps, isquiotibiales, gemelos son los más afectados. El ejercicio al ser considerado de tipo cadena cinética cerrada, requiere de una adecuada fuerza y flexibilidad en las articulaciones de las rodillas y tobillo para ser ejecutado adecuadamente y evitar sufrir posibles lesiones u dolencias (Gorsuch, y otros, 2012).

La sentadilla como tal puede presentar múltiples variantes de ejecución, siendo dos de las principales la sentadilla convencional o media y la sentadilla profunda caracterizada por requerir un nivel de descenso máximo con una flexión completa de rodillas y una flexibilidad

de tobillo amplia, sin olvidar un conocimiento de la técnica adecuada, en la Figura 3 se puede observar la diferencia entre una sentadilla media y una sentadilla profunda bien realizadas.



Figura 3. Ejecución de una Sentadilla Normal y una Sentadilla Profunda  
Fuente: <http://gymforyou.es/porque-hacer-sentadilla-profunda/>

### 2.2.1 Beneficios

Los principales beneficios que se obtienen de un correcto entrenamiento de sentadilla en cualquiera de sus modalidades son:

- Mejoras en la salud: Al ser las sentadillas un ejercicio en el que se está realizando una constante flexión de las piernas se aumenta la quema de calorías y de igual manera ayuda a mejorar los movimientos del tracto intestinal.
- Fortalecimiento de los músculos: Las sentadillas son un ejercicio en el que una gran parte de los músculos del tren inferior son ejercitados unos en mayor medida que otros. Una gran ventaja de este fortalecimiento se da en las pantorrillas y tobillos ayudando a mejorar la estabilidad de los pies, aumentando el equilibrio de la persona lo cual es más beneficioso conforme se envejezca, dicha ventaja se es aún mayor con la realización de sentadillas profunda ya que esta también ayuda a la estabilización lumbo – pélvica (Gorsuch, y otros, 2012).
- Aumento en el rendimiento deportivo: Al potenciar el desarrollo de grandes músculos del cuerpo la sentadilla permite mejorar en una amplia variedad de deportes como el

atletismo, deportes de salto entre otros, por lo que las sentadillas siempre se incluyen en el entrenamiento de los deportistas, en el caso de los deportistas de salto vertical es recomendable el entrenamiento de la sentadilla profunda ya que esta realiza un mayor fortalecimiento de este movimiento en comparación a la sentadilla normal.

### **2.2.2 Limitaciones**

Al ser una sentadilla un ejercicio en cual todas las articulaciones del tren inferior deben tener un movimiento equilibrado entre ellas para poder realizar una correcta realización de la misma, se hace notorio que una limitación en una articulación afectara a las demás causando así movimientos compensatorios que se convertirán en posibles lesiones.

Por lo tanto los diferentes problemas que se presentan en la realización de una sentadilla profunda no deberían ser atribuidos al ejercicio como tal, sino a las diferentes limitaciones que los deportistas presentan en su anatomía las cuales con un adecuado asesoramiento y entrenamiento pueden ser superadas. Entre los principales errores que se presentan en las sentadillas se tiene:

- Arqueo de la espalda baja y excesivo valgo de rodillas: Ambas producidas por un déficit en la fuerza de los glúteos lo que conlleva a una rotación de la pelvis y de las piernas como reacción de una posición compensatoria (Floyd & Thompson, 2004) referenciado de (Vargas, Bustamante, & Terry, 2016).
- Rotación externa de tibia y Pronación del pie: A consecuencia de una mala dorsiflexión, puede surgir una pronación de pie o una rotación de la tibia que afecta directamente a la rodilla, esto como consecuencia de no poder alcanzar un descenso máximo.
- Levantamiento de talones: Este error común en la realización de la sentadilla puede ser causada por una baja dorsiflexión de tobillo o debido a una baja movilidad de la cadera, cualquiera de los dos casos el levantar los talones durante una sentadilla puede considerarse un movimiento potencial mente lesivo, en la mayoría de casos los

deportistas optan por utilizar apoyos en sus talones pero esto no resuelve el problema lo que puede llegar a desencadenar aún más problemas (Vargas, Bustamante, & Terry, 2016). En la figura 4 se puede observar las deficiencias de flexibilidad graves que poseen algunas personas en su articulación al realizar sentadillas.



Figura 4. Limitación de Flexibilidad Durante la Realización de una Sentadilla Profunda  
Fuente: <https://cdn.hsnstore.com/blog/wp-content/uploads/2015/11/dorsiflexion-tobillo.jpg>

### 2.2.3 Ergonomía en la Sentadilla Profunda

Ejercicios como las sentadillas, la que involucra las articulaciones de los hombros, rodillas, espalda y tobillos son los que generan más lesiones por mala ejecución, miles de personas se lesionan todos los años en los gimnasios con las sentadilla, enseñar la correcta ejecución de sentadillas profundas requiere de un tiempo considerable para que la persona comprenda su ejecución y aun así un entrenador debe percatarse de los posibles errores que se estén cometiendo tomando demasiado tiempo de entrenamiento para solo una persona.

Como en todo ejercicio se distinguen dos fases: la positiva que es cuando subimos y vencemos la gravedad, momento de mayor esfuerzo y la negativa que es cuando bajamos y luchamos porque la gravedad no nos venza y caer la piso. El número de series y repeticiones depende de cada persona. En este ejercicio se usa adecuadamente el medio circundante el cual brinda confort, seguridad ya que se protege la columna vertebral y las rodillas y eficiencia ya que los resultados se ven sin demora. (Maximo, 2016).

#### **2.2.4 Técnica Adecuada de Sentadilla Profunda**

Con el objetivo de conseguir una ejecución del ejercicio de sentadilla profunda adecuada, evitando todo tipo de movimiento lesivo se debe conocer cuál es la técnica adecuada, la cual ha sido descrita por una gran variedad de entrenadores deportivos y ha sido comentada por (Lavorato & Vigario, 2008), referenciada por (Vargas, Bustamante, & Terry, 2016) y expuesta a continuación:

- Posición inicial

Cuando se esté listo para comenzar el entrenamiento de sentadillas, el deportista se debe ubicar frente a la barra con los pies ligeramente rotados hacia el exterior, el ángulo de rotación recomendado es entre 30 y 45 grados (Walter & Townsend, 2007), esto con el fin de distribuir el peso en toda la planta del pie, ya que si los pies se colocan completamente rectos o con una rotación interna esto podría causar dolencias en cadera y rodillas.

Se deberá colocar las manos en la barra a una distancia ligeramente separada de los hombros para posteriormente colocarla en el centro de la base del cuello, buscando la posición más confortable para cada individuo junto a un buen equilibrio. La cabeza se mantiene con la vista hacia el frente no hacia abajo o hacia los lados, aunque la mirada puede bajar ligeramente para comprobación de la posición de los pies.

- Sacar la barra del rack

Antes de sacar la barra del soporte en el que esté ubicado o en el lugar en el que se encuentre se debe asegurar el agarre de la barra, se tomara un respiro profundo y se retira la barra del soporte, mediante un paso se retirara del soporte, manteniendo en todo momento la posición de los pies y evitando tomar una posición errónea ya que esto afectara el resto de las repeticiones.

- Fase de Descenso

Durante la fase de descenso se debe mantener los talones siempre fijos al suelo evitando levantarlos, se deberá mantener el torso erguido en todo momento evitando arquearlo, se iniciará el descenso con una flexión de cadera simulando el movimiento de sentarse, no se debe iniciar con una flexión de rodillas ya que esto causaría una sobrecarga sobre ellas.

El descenso que se realice deberá ser máximo hasta que la cadera este más baja que las rodillas, en el caso de que las rodillas sobrepasen la punta del pie no preocuparse ya que en este tipo de sentadillas esto es normal y necesario.

Al finalizar la fase de descenso la posición adquirida se caracterizara por tener el Torso erguido y tomando aire en el pecho, las rodillas estarán hacia afuera y se tendrá los codos altos.

- Fase de subida

Desde la posición final de la fase de bajada se tendrá que el mayor peso se depositara sobre los talones, así que desde ese punto se deberá empujar para realizar el ascenso, empujando la cadera hacia el frente y manteniendo la espalda recta, hasta alcanzar la altura máxima, manteniendo en todo momento la espalda recta, después de lo cual se procederá a repetir el procedimiento desde la fase de bajada y por ultimo cuando se haya terminado la rutina de entrenamiento se depositara de nuevo la barra sobre el soporte o rack de pesas.

### **2.2.5 Mejoras en el Entrenamiento de Sentadillas**

Como todo ejercicio, el deportista que practique sentadillas deberá poseer requisitos mínimos en su estructura muscular y articular para poder realizar sin riesgos dicho ejercicio, (Balsalobre & Jiménez, 2014) menciona que entre las principales mejoras que se puede tener al momento de realizar un entrenamiento de sentadillas se tiene:

- Mejora de la flexibilidad: Se debe mejorar la flexibilidad en las articulaciones que más las necesiten dependiendo el caso personal, pero por lo general los tobillos son los más afectados por dicha dolencia. Esto se lo puede lograr realizando un adecuado calentamiento antes de cada rutina de ejercicio o realizando ejercicios de estiramiento como el mostrado en la Figura 5.

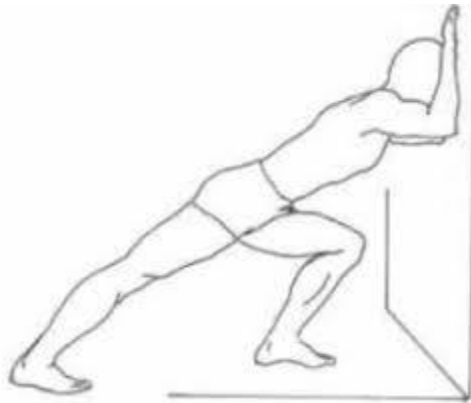


Figura 5. Ejercicio de Calistenia para Pantorrillas y Tobillo  
Fuente: (Julio, s.f.)

- Mejora de la estabilidad: Esto con el objetivo de al momento de realizar movimientos bruscos estos no puedan causar una lesión, se recomienda realizar repeticiones sucesivas de sentadillas sosteniendo una barra o un disco con las manos frente a nuestro cuerpo, el movimiento a realizar se puede observar en la Figura 6.



Figura 6. Sentadilla de Calentamiento para Mejorar la Estabilidad del Cuerpo  
Fuente: <https://www.msn.com/es-ar/salud/ejercicio/fuerza/sentadilla-con-disco-y-brazos-estirados/ss-BBtSKhb>



- Mejora de la fuerza: En especial de las piernas ya que en ellas recae la mayor parte del peso de nuestro cuerpo y de la barra, para lo cual se puede realizar entrenamiento de atletismo como la caminata.

## **2.3 Los Tobillo en una Sentadilla Profunda**

Los tobillos son las articulaciones que nos permiten realizar movimientos de flexión y extensión del pie, y es en ellos en los que recae todo el peso del cuerpo humano y el peso adicional que se esté levantando. En una sentadilla la flexibilidad de los tobillos permite determinar la profundidad de la misma y en gran parte si no se cuenta con un adecuado nivel de fuerza y flexibilidad son causantes de la realización de movimientos erróneos y de adquirir una posible lesión (Guimbao, 2017).

### **2.3.1 Biomecánica del Tobillo**

La articulación del tobillo es una de las más importantes del tren inferior está unida directamente a la tibia y al peroné en su parte superior y abajo se une directamente al pie existiendo un mismo ángulo sagital entre estos dos. La articulación del tobillo es la que más carga soporta en el cuerpo humano, teniendo una relación de casi dos a uno de la carga soportada con respecto a otras articulaciones como la rodilla. El tobillo tiene su movilidad primaria en el plano sagital con un rango de flexo-extensión medio de 43 a 63 grados, con una rotación acompañada de rotaciones menores al interior de pie las cuales evitan lesiones en el mismo (Monteagudo & Villardefrancos, 2007) referenciado por (Guimbao, 2017).

La unidad articular compuesta por el tobillo y el pie es denominada complejo articular periastragalino, siendo la articulación más importante de todo este complejo la tibiotarsiana mostrada en la Figura 7, ya que esta permite ubicar la bóveda plantar en todas las direcciones, siendo posible los siguientes ejes de movimiento (LLanos & Angulo, 1997) referenciado por

(Guzman, Cesar; Carrera, Jose; Blanco, Andres; Oliver, Marco; Gomez, Fabio, 2014), los mismo que pueden ser visualizados en la Figura 8:

- Eje transversal: Es aquel que está incluido en el plano frontal, condicionando los movimientos de flexo extensión del pie.
- Eje longitudinal de la pierna: Eje en el cual se determinan los movimientos de aducción – abducción del pie, realizados en un plano transversal posible durante la flexión de la rodilla.
- Eje longitudinal del pie: Es aquel que establece la orientación de la planta del pie, se da en el plano horizontal permitiendo así que la planta del pie tomo posiciones de pronación, supinación o neutro.

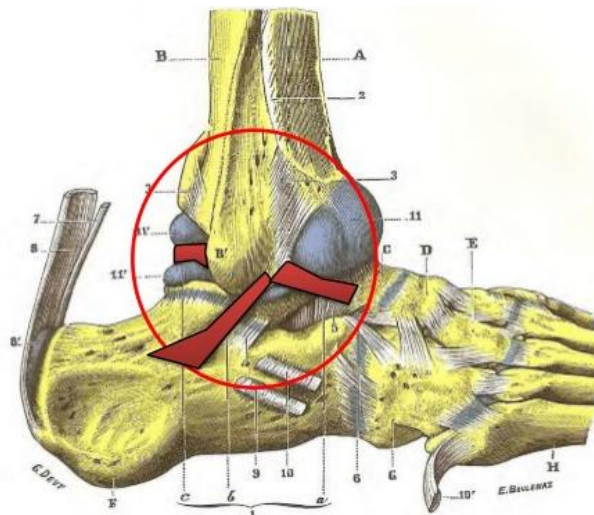
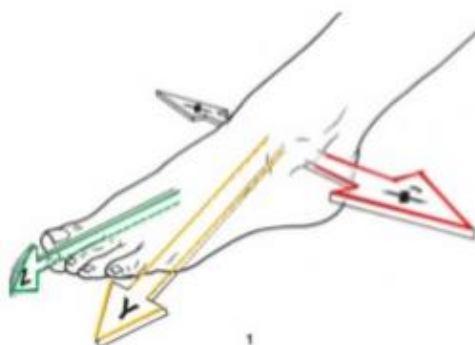


Figura 7. Articulación Tibiotarsiana

Fuente: <https://es.slideshare.net/krysthellmemo/articulacion-tibiotarsiana>



### **COMPLEJO ARTICULAR**

#### **1.- Eje Transversal**

Flexo-Extensión

#### **2.- Eje Longitudinal de la pierna**

Aducción-Abducción

#### **3.- Eje Longitudinal del pie**

Prono-Supinación

Figura 8. Ejes de Movimiento de la Articulación Tibiotarsiana

Fuente: (Kapandji, 1998)

### 2.3.2 Dorsiflexión del Tobillo

La inclinación que posee la articulación tibio peroneo astragalina en el eje longitudinal permite realizar al tobillo un movimiento de aducción en el transcurso de la flexión plantar, y una de abducción durante la dorsiflexión. (Zaragoza & Fernández, 2015).

De esta manera si partimos de una posición de referencia en la que la planta del pie se encuentra perpendicular al eje de la pierna, la dorsiflexión se define como el movimiento que reduce el ángulo entre el pie y la cara interior de la pierna, siendo descrito como un movimiento de tobillo en el plano sagital, los movimientos en el plano sagital del tobillo están detallados en la Figura 9. Teniendo así una amplitud de la extensión de 20 a 30 grados, siendo necesarios 10 grados de dorsiflexión para un normal funcionamiento del tobillo (Sánchez, Navarro, Garcia, Brito, & Ruiz, 2011).

A pesar de mencionar que con 10 grados de dorsiflexión se puede realizar la mayoría de los movimientos de flexo-extensión, existen casos en los que este no es suficiente y se debe aumentar dicha dorsiflexión.

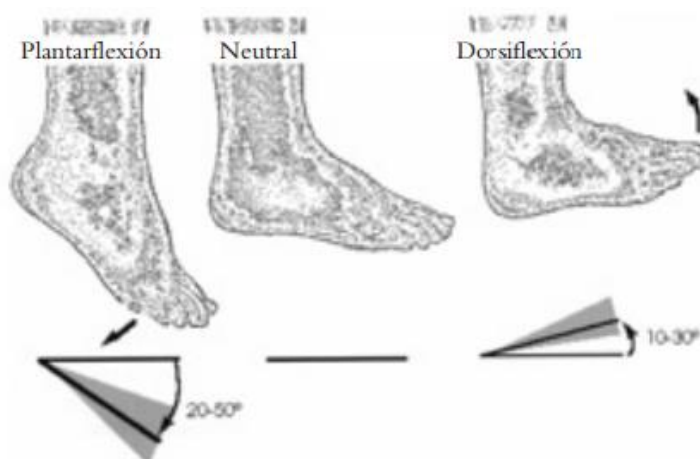


Figura 9. Posición de Referencia y Movimientos de Flexo-Extensión en el Tobillo  
Fuente: (Sánchez, Navarro, Garcia, Brito, & Ruiz, 2011)

### 2.3.3 Dorsiflexión del tobillo: Importancia y Relación con las Lesiones Deportivas

El impacto del rango de movimiento óptimo en el ejercicio de fuerza ha despertado múltiples controversias, aunque se cree que un rango de movimiento completo es el que más

beneficios reporta en esta práctica deportiva.

No existe un rango de movimiento óptimo estandarizado ya que éste va a depender de múltiples factores, muchos de ellos de índole completamente individual, por lo que podemos observar rangos de movimiento de una determinada articulación que difieren enormemente de una persona a otra.

Cuando se realiza un trabajo muscular con mucho peso y un rango de movimiento óptimo limitado, la flexibilidad disminuye drásticamente, lo que a su vez implica no poder optimizar los resultados que se obtienen del ejercicio.

#### **2.3.4 Niveles Adecuados de Dorsiflexión**

(Chato & Moya, 2017) Analizaron la biomecánica de la sentadilla de sujetos experimentados y encontraron que es requerido un rango de entre 15 y 20 grados de dorsiflexión mínima para poder realizar el ejercicio de sentadilla profunda de una manera adecuada además se debe considerar que las rodillas sobrepasaban la vertical de la punta de los pies aproximadamente 7 cm para los hombres y 9 cm para las mujeres. Ya que de otra manera se formarían movimientos compensatorios que causarían más lesiones que si las mantuviera sin sobrepasar la punta del pie.

Una sentadilla en el cual las rodillas no sobrepasen al menos 5 cm de la vertical de la punta del pie significará una limitación a la dorsiflexión del tobillo. Si alzando los talones 2 cm con una tabla o similar la técnica del ejercicio mejora claramente, la sospecha es que la limitación principal se encuentra en la articulación del tobillo.

La limitación obligará a levantar el talón del suelo si se quiere progresar en el movimiento. En muchos casos de limitación en la dorsiflexión del tobillo, se producen adaptaciones en las articulaciones adyacentes como pie y rodilla para compensar la limitación.

El movimiento de dorsiflexión se produce en el plano sagital y si se encuentra limitado tanto el pie como la rodilla "buscan" movimientos en los otros planos para intentar

compensarlo. Concretamente, el pie buscará principalmente la eversión pronación, y en la rodilla la rotación externa de la tibia.

### 2.3.5 Detección de Dorsiflexión de los Tobillos

Existen algunas técnicas que permiten evaluar y cuantificar la posición, y ángulos de las articulaciones descartando los momentos y movimientos que lo producen con el objetivo de simplificarlos aproximándolos a valores menos complejos, entre los principales se tiene de acuerdo a (Lucero, 2014):

- Cinemática Articular

Goniometría: Se necesita un goniómetro simple que se ubique manteniendo los ejes óseos involucrados unidos por la articulación a medir, considerando los puntos anatómicos. Su desventaja es su poca fiabilidad con respecto a las mediciones.

Electro goniómetro: La desventaja del goniómetro ha mejorado en parte con los sistemas de electro goniómetros, incrementando la fiabilidad en las mediciones, que no es más que desplazamiento angulares de los segmentos estudiados, donde la señal eléctrica que se entregan los transductores, representa la desviación angular, en la figura 10 se puede observar un electro goniómetro de tipo circular.



Figura 10. Electro Goniómetro

Fuente: <https://www.google.com.ec/url?sa=i&source=images.instrumentacion-metrologia.es>

- Modelos

Modelo de Bisagra: Modelo en el que el elemento óseo gira respecto del otro entorno a un eje, siendo éste el mismo a lo largo de todo el movimiento.

Modelo 2D: Se basa en una trama de una filmación, foto o vídeo documentado, siendo usados como los datos de posición de articulaciones aquellos adquiridos de éstos, donde se puede evaluar el riesgo de una tarea al comparar los datos de momentos de fuerzas obtenidas en la práctica con los teóricos.

Modelo 3D: Modelo fundamentado en el movimiento espacial, donde “el paso de un cuerpo de una posición a otra se puede explicar mediante un giro del mismo alrededor de un eje en el espacio más una traslación a lo largo del mismo eje”. El modelo da datos fiables de articulaciones que por poseer varios grados de libertad (cadera, columna, hombro) se vuelve un tanto complejo analizarlo con otros modelos. El objetivo es ubicar el movimiento de un segmento determinado y adquirir las características del movimiento como: fluidez del movimiento, velocidad angular y ángulos.

## **2.4 Placas y Sensores**

La gran variedad de sistemas embebidos que existen en la actualidad a disposición de la población permite realizar investigaciones de cualquier tipo, implementando soluciones tecnológicas y prácticas a casi cualquier actividad que realizamos. Obteniendo resultados realmente precisos y muy cercanos a la realidad, siendo esto principalmente producto de la utilización de equipos libres de restricciones corporativas, disponibles en una gran variedad de sitios a bajos costos.

### **2.4.1 Arduino**

El sistema embebido Arduino es una placa de programación de código abierto, la cual está disponible para todo aquel entusiasta de la tecnología y la creación de sistemas interactivos,

teniendo como principales ventajas la facilidad de utilización, amplio estudio y sus costos reducidos en comparación con otros sistemas embebidos.

Existe una gran variedad de placas Arduino cada una creada para ser utilizada en ambientes diferentes, variando principalmente en su tamaño, en su forma, en el número de pines de entradas y salida, voltajes de funcionamiento y velocidad de procesamiento de información.

Gracias a las características de cada placa y mediante la obtención de entradas de datos por medio de sensores compatibles es posible controlar les, motores, realizar toma de datos y enviarlos por medios inalámbricos o cableados, en la Figura 11 se puede observar la amplia variedad de placas Arduino que existen disponibles en el mercado.

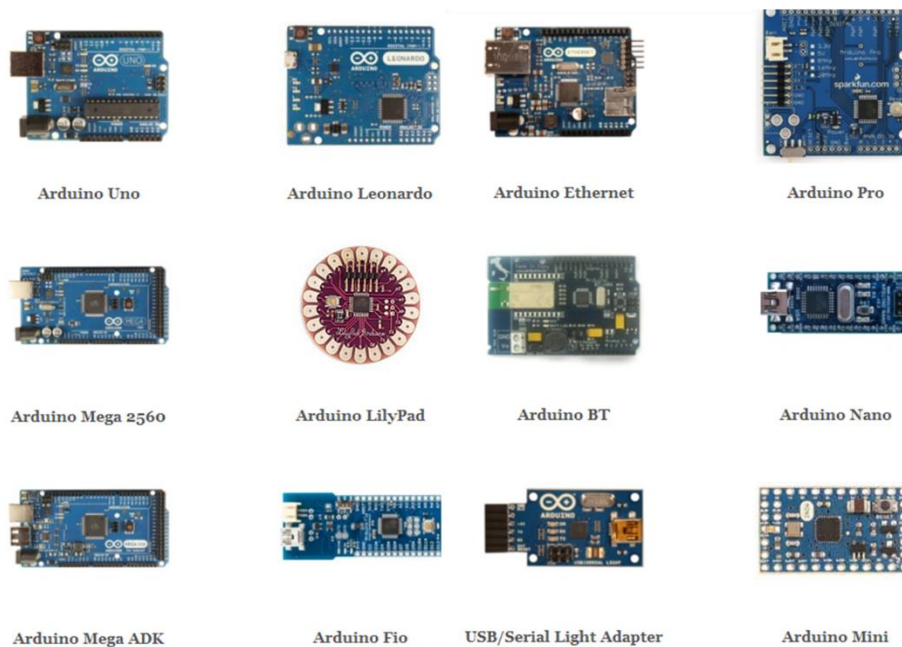


Figura 11. Tipos de Arduino Disponibles en el Mercado

Fuente: <https://www.google.com.ec/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved>

## 2.4.2 Sensores Detectores de Movimiento

Una de las principales formas de obtener datos numéricos de diferentes movimientos como la aceleración, inclinación, desplazamientos, fuerza es mediante la utilización de sensores, estos elementos que están en constante contacto con el medio adquiriendo datos de las diferentes variables de instrumentación.

La detección y valoración de movimientos es muy practica en una gran variedad de campos como la medicina, la domótica, la industria, el deporte, entre otras en donde el comprender los diferentes movimientos y valorarlos ayuda a mejorar sus especialidades y crear nuevas alternativas que faciliten ciertas acciones, la Figura 12 muestras un conjunto de sensores de arduino utilizados para tomar datos de distancia, luz, movimientos entre otros.



Figura 12. Sensores de Detección de Movimientos Disponibles  
Fuente: Autoría

### 2.4.3 Módulos de Comunicación Inalámbrica

Los módulos de comunicación inalámbrica permiten transmitir y recibir información que es proporcionada por diferentes sensores, en lugares de difícil acceso o en condiciones en las que se necesita libertad de movimiento, para lo cual es necesario la utilización de protocolo que aseguren la información y no permitan que se altere, esto con el objetivo de almacenarlos posteriormente y utilizarlos en diferentes estudios, el funcionamiento de algunos sensores RF de arduino se muestra en la Figura 13, donde existe un receptor y dos transmisores..





Figura 13. Módulos de Comunicación Inalámbrica en arduino  
Fuente: Autoría

## 2.5 Adquisición y tratamiento de Datos de Sensores

Con el objetivo de encontrar valores de medición a determinados parámetros de inclinación, velocidad, giro, se hace necesario la utilización de sensores IMU, los cuales son capaces de medir fuerzas de aceleración y de velocidad, datos que combinados con modelos trigonométricos proporcionan la información de las mediciones que en realidad son necesarias, el principal problema de estos sensores es la dificultad en su utilización ya que utilizan protocolos de comunicación complicados como I2C o SPI. (Guamán & Bermeo, 2017) y adicional mente a esto las mediciones obtenidas no son siempre las mejores , dando valores erróneos debido principalmente a la sensibilidad de los mismos. Es por tal motivo que se hace necesario la implementación de otras opciones de toma de datos que minimicen dichos valores erróneos y estabilicen los datos obtenidos por el sensor.

### 2.5.1 Error en la medición de datos de sensores

El principal inconveniente que existen en la toma de datos de sensores es el ruido presente en cada uno de los componentes electrónicos y presentes en el ambiente que los rodea, estas interferencias se ven muy presentes en sensores que utilizan datos de aceleración o giro para obtener datos de inclinación u movimiento, ya que las lecturas que proporcionan tienen errores.

En la figura 14 se puede apreciar la diferencia de las mediciones ideales (línea azul) que se esperaría obtener del sensor y las mediciones reales que se obtienen del sensor (línea roja).

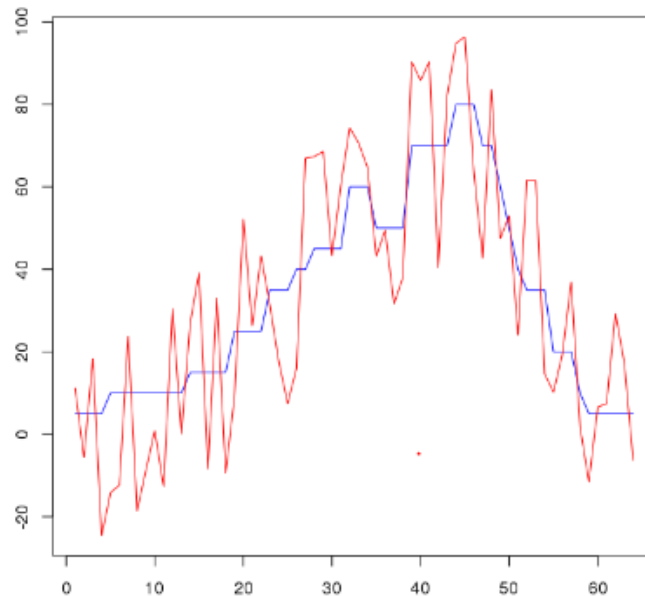


Figura 14. Comparación de Medición Ideal y Real de un Sensor de Distancia  
Fuente: [http://robologs.net/wp-content/uploads/2014/10/ruido\\_imu.png](http://robologs.net/wp-content/uploads/2014/10/ruido_imu.png)

De esta manera se tiene que la medición de un acelerómetro se ve afectada por el ruido y por la toma de valores de aceleración en diferentes ejes que son tomadas por el sensor, además de esto al ser el dato final un resultado de un análisis matemático, los errores propios de cálculo se acumulan hasta producir un drift en donde los datos son total mente diferentes a los reales (Braña & Cote, 2003) referenciado por (Guamán & Bermeo, 2017).

### 2.5.2 Filtro de Señales

El principal objetivo de un filtro es la eliminación del ruido, el drift y la estabilización de las mediciones obtenidas por el sensor. Para lo cual es necesaria la implementación de filtros, siendo uno de los más conocidos el filtro de Kálmán el cual ha tenido una amplia utilización en la operación y funcionamiento de aviones, cohetes y satélites.

El filtro de Kálmán es capaz de calcular el error de cada medida a partir de las medidas anteriores, eliminando así el error y dando el valor real al dato (Kalantar-zadeh, 2013). Sin

embargo, este tipo de filtros no pueden ser implementados en todos los ambientes por su alto procesamiento y por su complejidad.

### **2.5.2.1 Filtro Complementario**

El filtro complementario surgió como alternativa a la utilización del filtro de kálmán y ha sido muy utilizado ya que pueden ser implementados en cualquier tipo de proyecto por su bajo consumo de procesamiento y por los buenos resultados que se obtienen con este.

El filtro complementario se obtiene de la unión de dos filtros diferentes, un filtro paso-alto, y un filtro paso-bajo, permitiendo así que solo los valores que estén por encima y por debajo de un límite sean tomados y proporcionados al usuario (Santafe, Chaparro, & Franco, 2013).

Además de esto el filtro complementario es muy utilizado con sensores que utilizan aceleraciones y giros para dar sus valores, y pueden ser implementados en varios tipos de placas, independientemente de su capacidad de procesamiento obteniendo muy buenos resultados en sus mediciones

### **2.5.3 Algoritmos de Aprendizaje de maquina**

El principal objetivo del Aprendizaje de Máquina (ML por sus siglas en inglés) es el desarrollo de sistemas que puedan cambiar su comportamiento de manera autónoma basada en su experiencia. El ML ofrece algunas de las técnicas más efectivas para el descubrimiento de conocimiento (patrones) en grandes volúmenes de datos. y ha jugado un rol fundamental en áreas tales como la bioinformática, la recuperación de información en la web, la inteligencia de negocios y el desarrollo de vehículos autónomos. Siendo los más representativos K-NN, SVM y KMEANS.

### 2.5.3.1 K - NN

K – NN es un algoritmo utilizado en la clasificación de elementos, buscando a los K vecinos más cercanos de ahí su nombre. El funcionamiento de K – NN se basa en que el algoritmo clasifica cada dato nuevo en el grupo que corresponda, según tenga  $k$  vecinos más cerca de un grupo o de otro. Es decir, calcula la distancia del elemento nuevo a cada uno de los existentes, y ordena dichas distancias de menor a mayor para ir seleccionando el grupo al que pertenecer. Este grupo será, por tanto, el de mayor frecuencia con menores distancias (García, 2015).

K-NN es un algoritmo de aprendizaje supervisado, es decir, que a partir de un conjunto de datos inicial su objetivo será el de clasificar correctamente todas las instancias nuevas. El juego de datos típico de este tipo de algoritmos está formado por varios atributos descriptivos y un solo atributo objetivo también llamado clase. Dicho proceso de aprendizaje se puede observar en la figura 15. En donde los datos de entrenamiento son validados y asignados a una clase.



Figura 15. Modelo de Aprendizaje K-NN  
Fuente: (García, 2015)

## 2.6 Software de Programación y Visualización

Las diferentes opciones disponibles para realizar una programación de sistemas electrónicos y mostrar los datos obtenidos de los mismos a sus usuarios a través de interfaces intuitivas que puedan ser manejadas por cualquier persona, son amplias por lo que en este apartado se identificarán algunas de las opciones disponibles que más relevancia pueden tener.

### 2.6.1 IDE Arduino

La plataforma como tal de arduino se compone tanto de una placa de programación (Hardware) como de un software para realizar dicha programación y hacerla funcionar en las diferentes placas con las que cuenta el sistema, las principales ventajas con las que cuenta el IDE de arduino es la variedad de sistemas en los que puede funcionar, disponible para Linux, MAC y Windows, además los requerimientos de los equipos para su funcionamiento son mínimos y el lenguaje de programación que utiliza es intuitivo, siendo así fácil de manejar por los entusiasta de la tecnología (Campo, Vasquez, Faulkner, & Gonzáles, 2017). La pantalla principal del IDE de arduino puede ser visualizada en la Figura 16.

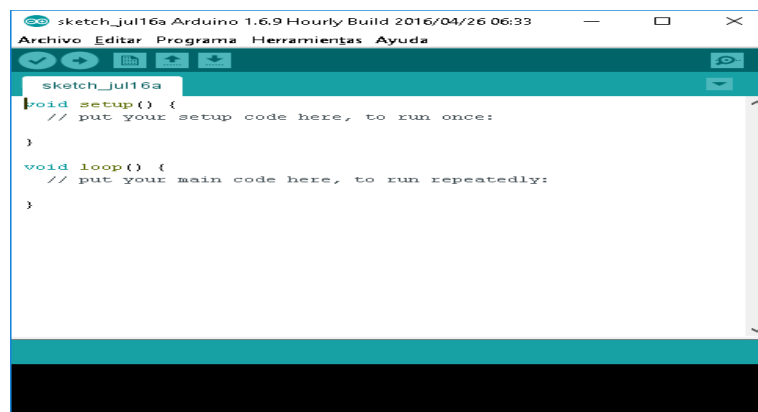


Figura 16. IDE de Arduino  
Fuente: Autoría

### 2.6.2 Visualizadores Gráficos

Con el objetivo de facilitar la comprensión de los datos y transformarla en información útil para un usuario, se ha creado diferentes métodos de presentación de los mismos, siendo la más utilizada la representación mediante gráficos, los seres humanos comprendemos de una manera más intuitiva la información que percibimos en gráficos más que cuando se las presenta con números y letras, por lo que con el pasar del tiempo esta manera de mostrar los datos ha tomado fuerza y se ha extendido en muchos campos de acción. En la Figura 17 se pudo observar el software para diseño de sistemas gráficos Python con su librería TKinter, conocida por su facilidad de uso y gran capacidad de desarrollo de aplicaciones.

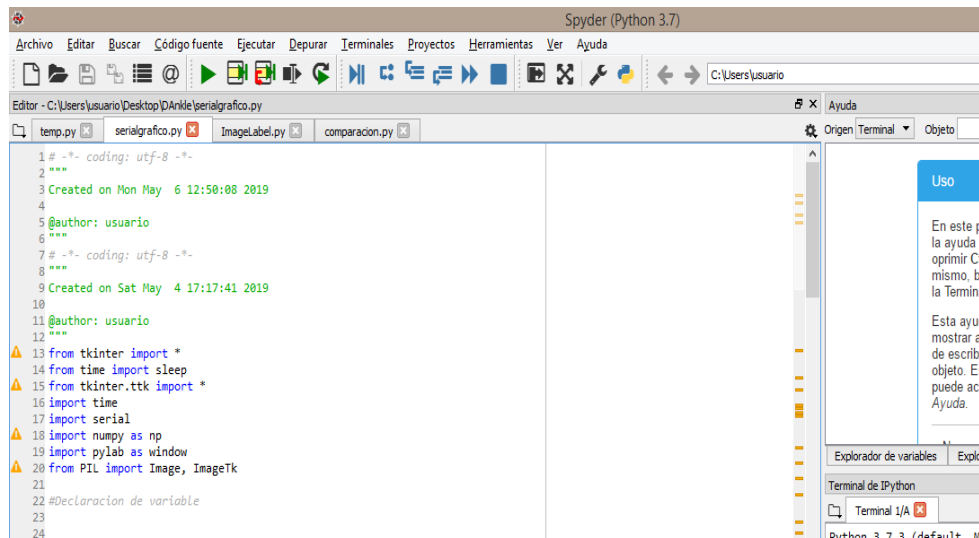


Figura 17. Visualizador Grafico Python - Spyder  
Fuente: Autoría

### 2.6.3 Software de Diseño de Modelos 3D

Debido a la necesidad creciente de adaptar diferentes proyectos tecnológicos a ambientes no tan convencionales con las mejores condiciones, eficiencia y personalización propia del creador, las diferentes soluciones existentes en el mercado para dichos se hacen insuficientes, por lo que una de las mejores opciones a considerar es el diseño propio de figuras en 3 dimensiones, el cual con la ayuda de una impresora 3D puede ser convertido en realidad, facilitando la implementación del mismo al proyecto con mejores resultados, en la figura 18 se muestra uno de los tantos diseños 3D que son posibles de realizar.

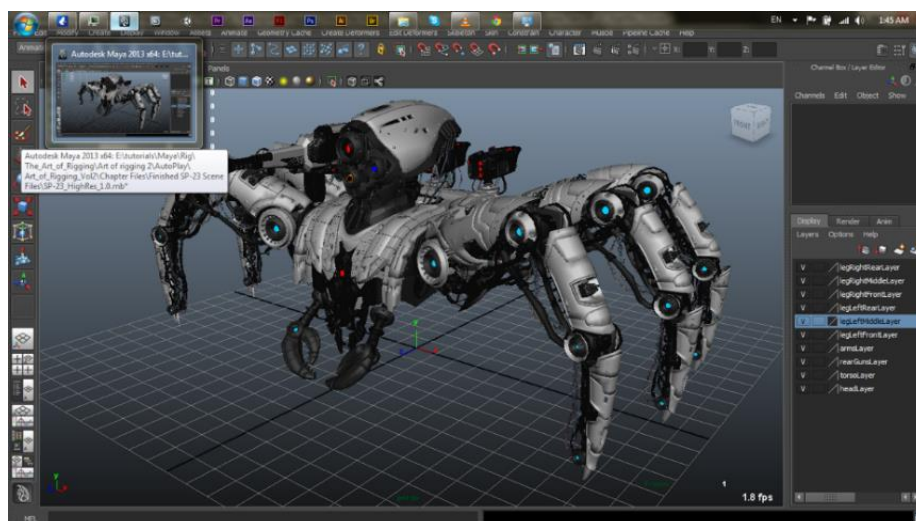


Figura 18. Diseño 3D de Robot de Exploración

Fuente: Leidy Ramirez, (2015) Conocimientos básicos 3D, Disponible en:  
<http://leidynamirez3d.blogspot.com/2013/07/conocimientos-basicos-definicion.html>.

## **Capítulo III**

### **Desarrollo Experimental**

El desarrollo del capítulo experimental iniciara con un análisis de la situación actual del gimnasio de la Universidad Técnica del Norte y de cómo se realiza el entrenamiento de sentadillas de los deportistas del club de fisicoculturismo, mediante la realización de encuestas las que ayudaran a determinar requerimientos del sistema desde el punto de vista de los usuarios, además se realiza un análisis de los requerimientos de arquitectura, funcionales y de stakeholders. Los cuales darán la pauta principal para la elección de materiales usados en el sistema de detección de niveles de dorsiflexión del tobillo y finalmente se explicará el proceso de diseño del sistema hasta estar completo.

#### **3.1 Situación Actual**

La situación actual identificara los aspectos más relevantes del lugar de entrenamiento de sentadillas dentro del gimnasio de la Universidad Técnica del Norte, y de cómo los deportistas que utilizan dicho espacio realizan su entrenamiento, basados en una metodología de investigación que incluye la observación directa y la realización de encuestas y para finalizar el planteamiento de los resultados obtenidos de dicha investigación.

##### **3.1.1 Metodología de Investigación Utilizada**

Con el objetivo de obtener información importante sobre las instalaciones del gimnasio de la Universidad Técnica del Norte y conocer cómo se realiza el ejercicio de sentadilla profunda de mejor manera se utilizarán varias técnicas de investigación las cuales se mencionan a continuación:

- **Observación Directa:** Permitirá conocer las instalaciones del gimnasio UTN y su equipación deportiva para así observar las principales deficiencias de los deportistas y las acciones que ellos realizan antes y después del entrenamiento de sentadillas,

obteniendo así aspectos importantes que influirán en el diseño del prototipo y de como este se adaptara a la forma de entrenamiento de los deportistas sin ser una molestia para ellos.

- Encuesta: Se las realizara a los diferentes integrantes del club de fisicoculturismo los cuales podrán dar información de dolencias que hayan sufrido en el transcurso de su entrenamiento, además permitirán conocer si ellos practicas con regularidad el ejercicio, la forma en la que realizan su entrenamiento y que elementos les parecería menos invasivos dentro del mismo.

### **3.1.2 Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte**

Con el objetivo de mantener un buen estado físico y ayudar a la mejora deportiva de las diferentes personas que son parte de la Universidad Técnica del Norte ubicada en la Av. 17 de Julio 5-21 y General José María Córdoba, se ha construido diferentes instalaciones deportivas que inculcan a su práctica, entre las que se tiene canchas de futbol, básquet, voleibol, una piscina y un gimnasio en los cuales día a día se desarrolla la práctica deportiva por parte de estudiantes y personal docente y administrativo.

Al poseer la institución un gimnasio con una amplia variedad de equipamiento deportivo, permitió a los estudiantes crear diferentes clubs deportivos que aprovechen dicho espacio, conformándose así el club de fisicoculturismo de la Universidad Técnica del Norte el cual cuenta actualmente con 80 miembros activos, los cuales participan activamente en actividades y competencias deportivas representando a su club. En la figura 19 se puede observar el concurso de fisicoculturismo realizado por el club, en las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte.





Figura 19. Concurso de Fisicoculturismo Realizado en las Instalaciones de la UTN.  
Fuente: Autoría

Las instalaciones del gimnasio poseen máquinas deportivas para el entrenamiento deportivo de atletas, contando con una amplia variedad de pesas y barras, pres de banca, caminadoras, bicicletas, jaula de sentadillas las mismas que permiten un entrenamiento completo de acuerdo a las exigencias propias de la halterofilia.

### 3.1.3 Observación Directa del Entrenamiento de Sentadilla

Durante la observación realizada a los diferentes miembros del club de fisicoculturismo en el gimnasio de la Universidad Técnica del Norte durante su entrenamiento de sentadilla profunda se comprobó que el ejercicio se realiza en una jaula de sentadillas presente en la Figura 20.



Figura 20. Jaula de Sentadillas UTN  
Fuente: Autoría

Y de la misma manera se pudo evidenciar el entrenamiento de sentadilla profunda en la jaula de sentadilla vista en la figura 21.

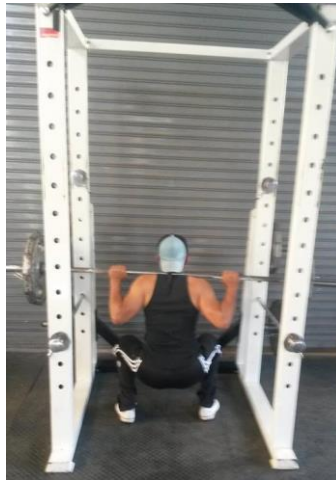


Figura 21. Entrenamiento de Deportista en Jaula de Sentadillas UTN  
Fuente: Autoría

Además se observó que muchos de los deportistas utilizan un apoyo en sus talones durante la ejecución del ejercicio ya que les cuesta realizar un descenso completo en cada repetición sin dicho apoyo, igualmente la posición de los pies varía en cada deportista de acuerdo a su comodidad, observando que algunos de ellos tenían los pies rectos y otros con las puntas hacia afuera, se notó que durante su entrenamiento en ningún momento tuvieron un control por parte de un instructor el cual rectifique sus posiciones, debido a que cada deportista realiza su propia rutina de entrenamiento en diferentes instantes de tiempo.

Una de las principales acciones que llamaron más la atención fue el poco interés que le prestan los deportistas a sus tobillos en la realización de las sentadillas ya que asumen que es más importante corregir las posiciones de otras partes de su cuerpo y no dan ninguna prioridad a sus tobillos a pesar de ser notorio su bajo nivel de flexibilidad en ellos.

### 3.1.4 Encuestas

Las encuestas fueron realizadas a una cantidad determinada del total de integrantes del club de fisicoculturismo conformado por hombres y mujeres, estos fueron elegidos indistintamente de entre los 80 integrantes que constan en nómina.

La obtención de la cantidad específica de encuestas que se realizó se la obtuvo mediante la Ecuación 1 de muestra, en donde cada sigla de la misma se especifica en la Tabla 3.

Tabla 3. Significado de las Siglas Utilizadas en la Fórmula de Muestra

N= Tamaño de la muestra	n = ?
N= Tamaño de la población	N = 80
S= Varianza de la población	$\sigma = 0.5$
z= Nivel de confianza	z = 1.96
d= Nivel de precisión absoluta	$\varepsilon = 0.09$

Fuente: (Saraí, 2005)

$$n = \frac{N \cdot z^2 \cdot S^2}{d^2(N - 1) + z^2 \cdot S^2}$$

Ecuación 1. Calculo de Número de Muestra

Fuente: (Saraí, 2005)

$$n = \frac{80(1.96)^2(0.5)^2}{(0.09)^2(80 - 1) + (1.96)^2(0.5)^2}$$

$$n = 48$$

Obteniendo de esta manera el número de encuestas que se debe realizar, 48, La encuesta es dirigida hacia los integrantes del club de fisicoculturismo y hacia las personas que acuden regularmente al gimnasio y realizan el entrenamiento de sentadilla, permitiendo así obtener información precisa sobre requerimientos propios de usuarios que de otra manera sería muy difícil conocer.

La encuesta realizada consta de 5 preguntas, realizadas específicamente para ser contestadas señalando los recuadros de “sí” o “no” según la persona entrevistada lo crea conveniente, El formato de encuesta y su tabulación se encuentran disponibles en el Anexo 5, y a continuación se mencionaran algunos de los resultados más relevantes de las diferentes preguntas:

En la pregunta número uno se establece que el 58% de los integrantes del club utilizan un apoyo en sus tobillos al realizar una sentadilla profunda.

Las respuestas obtenidas en la pregunta numero dos indican que solo una cuarta parte de los encuestados conocían de las posibles lesiones que puede causar una baja flexibilidad en los tobillos y una mala posición de los pies.

La pregunta número tres hace referencia a la utilización del sistema en una tobillera, el cual informa de errores cometidos y avisa de una adecuada posición de pies al iniciar el ejercicio en donde a un 75% de los integrantes del club no le molestaría utilizar dicha tobillera y se la pondrían pero a un 25% si le molestaría su uso, a pesar de los beneficios que esta ofrece.

En la pregunta número 4 las personas encuestadas prefieren ser informadas de los errores cometidos mediante una alarma sonora distinguible al oído.

La pregunta número 5 hace referencia al funcionamiento del sistema, dando así la pauta de que el 100% de los integrantes del club relacionan una luz verde al inicio de una medición del sistema y a la indicación de que pueden seguir realizando su rutina de sentadillas.

### **3.1.5 Resultados del Análisis de la Situación Actual**

En conclusión después de haber realizado un análisis detallado de la situación actual del entrenamiento de sentadilla realizado por los integrantes del club de fisicoculturismo de la UTN, se tiene que muchos de dichos deportistas tienen problemas con la flexibilidad de sus tobillos y no conocen sobre la importancia de una adecuada flexibilidad en ellos para realizar

el ejercicio sin ningún riesgo, añadiendo a esto que no poseen un control continuo de una persona especializada que controle la posición de sus pies y su técnica.

Pero a pesar de dicho desconocimiento están prestos a mejorar sus deficiencias en esta parte del cuerpo mientras se le brinde un equipo que les ayude a darse cuenta de dichas falencias y errores, mejorando así su régimen de entrenamiento y su estado físico.

### **3.2 Modelo en V y STAKEHOLDERS**

El determinar la buena ejecución de un proyecto tecnológico surge a partir de seguir un modelo determinado de acción, el presente proyecto se plantea realizar basándose en la metodología de desarrollo del modelo en V, por las múltiples ventajas que presenta en cuanto a la forma en la que se trata cada etapa de ejecución con claridad y basadas en normativas como lo es la referente a análisis de Stakeholders IEEE 29148 y realización de pruebas en cada fase de desarrollo sin esperar a realizarlas al final.

#### **3.2.1 Revisión General Del Proyecto**

El presente proyecto pretende tener una medición cercana de los niveles de Dorsiflexión de los tobillos, de los integrantes del club de físico - culturismo para que ellos puedan tener en cuenta que sin una adecuada flexibilidad en ellos no deben realizar el ejercicio de sentadilla profunda, y centrarse más en el desarrollo de su elasticidad y en su defecto realizar el ejercicio de sentadilla tradicional el cual requiere menor flexibilidad en sus tobillos.

La medición se realizará en tiempo real, enviando mediciones de los ángulos que se formen entre la tibia de la pierna y el empeine del pie en cada repetición obteniendo así el ángulo de Dorsiflexión, además se determinara el principal error que se comete al realizar mal una sentadilla profunda que es la elevación de los talones y se emitirá una alarma en cada caso y se informara del tipo de fallo en tiempo real.

Los datos obtenidos se recolectarán para que estos posteriormente sean analizados por un profesional médico o un entrenador y determinen que personas cometió más fallos en la

realización de este ejercicio y se le preste una mayor atención a su entrenamiento.

Además, para un mejor entendimiento de las fallas cometidas o de la ejecución del ejercicio se realizará una visualización gráfica del mismo que será visualizada por entrenador y por deportista permitiendo así un entendimiento de los errores y una corrección apropiada de los mismos por parte de un profesional.

### 3.2.2 Identificación Y Análisis de STAKEHOLDERS

Basado en la normativa IEEE 29148, se ha definido como beneficiarios iniciales a los integrantes del club de físico culturismo de la Universidad Técnica del Norte, y a todos aquellos que realicen series de entrenamiento de sentadillas en el gimnasio como beneficiarios directos ya que todos los deportista de la universidad comparten el espacio del gimnasio para su entrenamiento independiente mente del deporte que practiquen, y de igual manera se considera como beneficiarios indirectos a todas aquellas personas que pretenden llevar un estilo de vida saludable realizando ejercicio como un pasatiempo dentro del gimnasio UTN.

De esta manera se ha establecido en la tabla 4 un listado de los stakeholders diferenciándolos entre beneficiarios directos e indirectos, y de esta manera poder tomar en cuenta todos los errores presentes en cada individuo que tenga relación con el entrenamiento de sentadillas en el gimnasio UTN.

Tabla 4. Identificación de STAKEHOLDERS

#	Tipo de Beneficiario	STAKEHOLDERS
1	Directo	Integrantes del Club de Fisicoculturismo UTN
2	Directo	Deportistas que realicen entrenamiento de sentadillas en el Gimnasio UTN
3	Directo	Instructor del Gimnasio - Javier LLumiquinga
4	Indirecto	Universidad Técnica del Norte
5	Indirecto	Desarrollador del Proyecto – Brayan Calderón

Fuente: Autoría

### 3.2.3 Requerimientos de STAKEHOLDERS

Los requerimientos de Stakeholders toman en cuenta la opinión de todos los individuos que tiene interés directo en los resultados obtenidos con el desarrollo del sistema, especificando los requerimientos funcionales y de usuarios.

- **StRS:** Abreviatura de STAKEHOLDER con la que se identificara cada requerimiento.

Tabla 5. Requerimientos de Stakeholders

<b>StRS</b>						
<b>Requerimientos de Stakeholders</b>						
<b>Numero</b>	<b>Descripción</b>	<b>Prioridad</b>			<b>Relación</b>	<b>Verificación</b>
		Alta	Media	Baja		
<b>Requerimientos de Usuarios</b>						
<b>StRS</b> <b>1</b>	El deportista debe tener colocado el sistema en sus tobillos para poder iniciar la tomar datos.	x				
<b>StRS</b> <b>2</b>	Las baterías del sistema deben estar cargadas para poder controlar el ejercicio.	x				
<b>StRS</b> <b>3</b>	La colocación de la tobillera debe ser fácil, practica y rápida para evitar demoras en el entrenamiento	x				
<b>StRS</b> <b>4</b>	La alarma de fallos no debe ser molesta.	x				
<b>StRS</b> <b>5</b>	El sistema debe ser liviano y poco invasivo		x			
<b>StRS</b> <b>6</b>	Se debe poder implementar el sistema indistintamente del sexo, peso y altura del deportista	x				
<b>Requerimientos Operacionales</b>						
<b>StRS</b> <b>7</b>	El sistema no debe tener fallos mientras el deportista realiza su entrenamiento	x				

<b>StRS</b> <b>8</b>	Se debe conocer cuando los diferentes elementos del sistema están encendidos	x
<b>StRS</b> <b>9</b>	El sistema debe poseer un indicador claro de cuando se pueda iniciar la realización del ejercicio.	x
<b>StRS</b> <b>10</b>	Se debe mostrar el movimiento del ejercicio a los usuarios.	x

Fuente: Autoría

Los requerimientos descritos en la tabla 5, indican algunas consideraciones extras que tienen los diferentes actores que intervienen en el sistema, los cuales fueron obtenidos en base a la observación directa y a las encuestas que se realizó a los integrantes del club, determinando así que se debe encontrar un balance entre la obtención de una buena medición y la comodidad de utilización del prototipo.

### 3.2.4 Requerimientos Funcionales del Sistema

Los requerimientos funcionales que se presentan a continuación en la tabla 6, son aquellos en donde se toma en consideración los requerimientos del sistema en sí, describiendo los requerimientos de uso, de interfaces, de modos, estados y requerimientos físicos, Esta tabla tendrá la abreviatura

- **SySR:** Abreviatura de requerimientos funcionales la cual Identificara el número de requerimiento referenciado.



Tabla 6. Requerimientos Funcionales

<b>SySR</b>						
<b>Requerimientos Funcionales</b>						
<b>Numero</b>	<b>Descripción</b>	<b>Prioridad</b>			<b>Relación</b>	<b>Verificación</b>
		Alta	Media	Baja		
<b>Requerimientos de Performance</b>						
<b>SySR 1</b>	El sistema deberá estar en un lugar que no cause molestias y distracciones al realizar el ejercicio y debe mantenerse acoplado a este	x				
<b>Requerimientos de Uso</b>						
<b>SySR 2</b>	La información de los diferentes fallos se debe dar rápidamente a los usuarios	x				
<b>SySR 3</b>	Se debe tener indicativos de encendido e inicio de la ejecución del ejercicio	x				
<b>SySR 4</b>	Fácil y rápida Utilización	x				
<b>Requerimientos de Interfaces</b>						
<b>SySR 5</b>	Se deberá ingresar en una aplicación computarizada para ver las gráficas y el proceso de entrenamiento del deportista	x				
<b>SySR 6</b>	La información proporcionada debe ser clara y precisa para mejorar su interpretación, con la utilización de graficas	x				
<b>SySR 7</b>	Los fallos serán anunciados por una alarma sonora al instante del fallo.	x				
<b>Requerimientos de estados de funcionamiento</b>						
<b>SySR 8</b>	El sistema deberá permanecer activo durante la secuencia de	x				

	entrenamiento de cada deportista.	
<b>SySR</b> <b>9</b>	La información del entrenamiento deberá ser almacenada	x
<b>Requerimientos Físicos</b>		
<b>SySR</b> <b>10</b>	El sistema deberá ser compacto para que no cause molestias y deberá estar fijo para obtener datos con bajo nivel de error	x

Fuente: Autoría

De los requerimientos establecidos en la tabla 6 algunos de los detalles principales a recalcar son:

El sistema no puede causar molestias a los deportistas durante su entrenamiento, y al tratarse de implementar en una tobillera se reduce el espacio de trabajo en el que debe ser ubicado por lo que el sistema debe ser lo más compacto y adaptable posible a este sector del cuerpo.

La colocación del sistema debe ser rápida y fácil para así no interferir en el proceso normal de entrenamiento de los deportistas y así motivar a que este sea utilizado constantemente, además se deberá facilitar la comprensión de los diferentes momentos en los que funcionara el sistema dando indicativos de encendidos y de inicio de la rutina de sentadillas.

La información que se presente a los usuarios sobre su entrenamiento debe ser claro para que pueda ser entendido rápidamente, pudiendo visualizar dicho proceso en una aplicación computarizada y de primera mano al producirse un error el principal indicador será una alarma sonora poco molesta, pero si distinguible.

Durante la secuencia de entrenamiento de sentadillas de un deportista el sistema no puede dejar de funcionar ya que se podría producir una mala postura y no ser informado de ello,

causando así una posible lesión además de perder datos sobre su entrenamiento y así ya no quedaría almacenado para una posterior revisión por el entrenador del club.

### 3.2.5 Requerimientos de Arquitectura

En la tabla 7 se muestra los requerimientos de Arquitectura, en donde se especificara requerimientos generales y eléctricos, indispensables para un buen diseño de un sistema, en los siguientes apartados se definirán requerimientos de hardware y software, lo cuales también forman parte de los requerimientos de arquitectura. Esta tabla permitirá posteriormente realizar una selección de hardware y software que cumpla los requisitos necesarios.

- **SRSH:** Abreviatura de requerimientos de arquitectura la cual Identificara el número de requerimiento referenciado.

Tabla 7. Requerimientos de Arquitectura

<b>SRSH</b>						
<b>Requerimientos de Arquitectura</b>						
<b>Numero</b>	<b>Descripción</b>	<b>Prioridad</b>			<b>Relación</b>	<b>Verificación</b>
		Alta	Media	Baja		
<b>Requerimientos lógicos</b>						
<b>SRSH</b> <b>1</b>	Se requiere de un sistema embebido, un sensor acelerómetro y un transmisor para realizar la evaluación de dorsiflexión del tobillo.	x				
<b>SRSH</b> <b>2</b>	Se utilizará solo un receptor y transmisor inalámbrico para adquirir datos de los movimientos en los tobillos.	x				
<b>SRSH</b> <b>3</b>	Se utilizará un indicativo led para el inicio del ejercicio y una alarma sonora en errores	x				

### Requerimientos De Diseño

<b>SRSH</b> <b>4</b>	Los transmisores y el receptor deben estar funcionando y conectados para que pueda iniciar la ejecución del ejercicio	x
<b>SRSH</b> <b>5</b>	Los sensores serán ubicados en una tobillera referenciada por una canillera.	x
<b>SRSH</b> <b>6</b>	El diseño de conexiones de los diferentes elementos deberá estar protegida para evitar daños y evitar molestias al deportista.	x

### Requerimientos de Hardware

<b>SRSH</b> <b>7</b>	Es necesario un sistema embebido con varias entradas de datos analógicas y digitales para los diferentes sensores	x
<b>SRSH</b> <b>8</b>	El sistema embebido debe ser pequeño y rápido en el procesamiento de información.	x
<b>SRSH</b> <b>9</b>	Se requiere un sensor de toma de datos de ángulos de inclinación el cual no se vea afectado por movimientos bruscos.	x
<b>SRSH</b> <b>10</b>	Se requiere un módulo de transmisión y recepción de información inalámbrica que no se vea alterado por los movimientos.	x
<b>SRSH</b> <b>11</b>	Los módulos de comunicación deben ser de tipo punto a multipunto	x

<b>SRSH</b> <b>12</b>	Se requiere de alertas que informen de malos movimientos al deportista	x
<b>Requerimientos de Software</b>		
<b>SRSH</b> <b>13</b>	Se requiere un sistema que pueda obtener datos de cualquier sistema embebido y pueda almacenarlos.	x
<b>SRSH</b> <b>14</b>	Se requiere de un software que permita acoplar graficas de movimientos con datos obtenidos por el sensor en tiempo real	x
<b>SRSH</b> <b>15</b>	Se requiere de un software que proporcione límites de funcionamiento.	x
<b>SRSH</b> <b>16</b>	Se requiere de un software que proporcione información resumida del ejercicio	x
<b>Requerimientos Eléctricos</b>		
<b>SRSH</b> <b>17</b>	El sistema de transmisión deberá utilizar una batería recargable para alimentar los sistemas embebidos y sensores	x
<b>SRSH</b> <b>18</b>	El receptor de información podrá estar conectado a una batería o a una red de corriente eléctrica	x

Fuente: Autoría

En la tabla 7 se puede observar todos los requerimientos de arquitectura, en los cuales, los primeros requerimientos identifican las condiciones básicas para que el sistema funcione, enfatizando en la conexión inalámbrica de módulos con el objetivo de minimizar las incomodidades que se presenten y además se dan pautas de como deberá funcionar su sistema de comunicación.

- Requerimientos de Hardware y Software

Los requerimientos de hardware y software establecidos en la tabla 7, son parte importante de los requerimientos de Arquitectura para realizar el diseño del sistema haciendo que se acople a las necesidades vistas, y así tener una mejor comprensión y apreciación de ellos, obteniendo como resultado el buen diseño del prototipo.

- Requerimientos Eléctricos

La forma en la que sean alimentados los diferentes componentes de los sistemas es esencial ya que de esta manera se puede conocer el tiempo en el que el sistema estará funcional y se evitara apagones repentinos durante el entrenamiento de un deportista, además se debe contar con protecciones anti corto circuitos u otras novedades presentes en la misma.

### **3.3 Elección de Hardware y Software**

Las mejores opciones de hardware y software se elegirán de acuerdo a los requerimientos que se describieron en las tablas superiores y en la posibilidad de poder adaptar los diferentes equipos físicos y elementos de software a los requerimientos que se tiene, buscando así un sistema embebido que se acople a los requerimientos, y de la misma manera se deberá elegir un software de visualización de imágenes del movimiento.

Para la elección de los diferentes sensores que se utilizaran en el sistema, se utilizara un método de elección Benchmarking, el cual nos da la posibilidad de comparar las características más relevantes de cada posible elección, en donde las características van más allá de las técnicas tomando en cuenta, la disponibilidad de los sensores, el precio y consumo eléctrico.

#### **3.3.1 Benchmarking: Elección de Hardware**

La elección de los diferentes componentes de hardware a implementar en el sistema de análisis de niveles de dorsiflexión de tobillo se lo realizara de acuerdo a los requerimientos establecidos en los apartados anteriores, en los que se realizara una comparación y valoración mediante la cual se elegirá cada uno de ellos.

### 3.3.1.1 Sistema Embebido

La elección del sistema embebido que se utilizara en el sistema se determinara bajo los requerimientos establecidos previamente, realizando una comparación entre ellos y estableciendo valores de 1 para las condiciones que, si cumpla la placa y un 0 para las condiciones que no las cumpla, además se realizara un estudio de benchmarking en las que se conocerá las especificaciones de cada sistema, de esta manera se determinara la placa óptima para ser utilizada en el prototipo.

A continuación se darán las características principales de todas las posibles opciones de placas embebidas a ser utilizadas en el diseño para luego realizar la elección.

- **Opción uno: Arduino Nano**

El Arduino Nano es un sistema embebido de tamaño reducido, el cual cuenta con todos los pines de placas más grandes como el arduino, su tarjeta se encuentra disponible en dos versiones una basada en el ATmega328 y otra basada en el ATmega328. Su programación se la realiza a través de un cable Mini USB y posee dos pines de alimentación externa para proyectos móviles. Los diferentes pines con los que cuenta el arduino nano están descritos en la figura 22 y sus especificaciones técnicas en la tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones Técnicas Arduino Nano

<b>Especificaciones Técnicas Arduino Nano</b>	
<b>Voltaje de Funcionamiento</b>	5V en DC
<b>Voltaje de Alimentación</b>	7 – 12 V
<b>Pines Digitales</b>	14 – 6 PWM
<b>Entradas analógicas</b>	8
<b>Capacidad memoria Flash</b>	32 - 16 KB según el modelo
<b>Frecuencia de Reloj</b>	16 MHz
<b>Dimensiones</b>	18,5mm x 43,2mm

---

<b>Temperatura de Funcionamiento</b>	-10° C a 65°C
--------------------------------------	---------------

<b>EEPROM</b>	1KB
---------------	-----

---

Fuente: Adaptada de Datasheet de arduino nano – (Autoría)

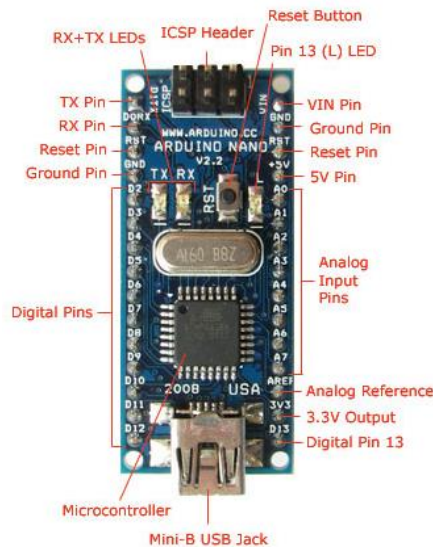


Figura 22. Identificación de Pines de Arduino Nano

Fuente: <http://arduino.cl/arduino-nano/>

- **Opción dos: Arduino Uno**

Es una de las placas electrónicas más utilizados en la mayoría de los proyectos electrónicos por su fácil uso y bajo costo, basada en un ATmega328, esta placa es muy similar en pines y utilización a la placa de arduino nano pero realizado en una presentación más grande, la forma de programación es a través de un conector USB y también puede ser alimentada por una fuente externa sin que cause problemas de funcionamiento, la descripción de los diferentes pines del arduino se muestran en la imagen 23, mientras que sus características se encuentran en la tabla

Tabla 9. Especificaciones Técnicas Arduino Uno

---

<b>Especificaciones Técnicas Arduino Uno</b>	
<b>Voltaje de Funcionamiento</b>	5V en DC
<b>Voltaje de Alimentación recomendado</b>	7 – 12 V en DC

---





voltaje. La distribución de pines de un arduino Mini Pro se muestra en la figura 24, y las especificaciones en la tabla 10.

Tabla 10. Especificaciones Técnicas Arduino Minipro

<b>Especificaciones Técnicas Arduino Mini Pro</b>	
<b>Voltaje de Funcionamiento</b>	5V o 3.3V en DC dependiendo el modelo
<b>Voltaje de Alimentación recomendado</b>	5V – 12 V en DC
<b>Corriente de salida máxima</b>	150mA
<b>Peso</b>	2 gramos
<b>Pines Digitales</b>	14
<b>Entradas analógicas</b>	8
<b>Capacidad memoria Flash</b>	32 KB
<b>Frecuencia de Reloj</b>	16 MHz
<b>Dimensiones</b>	18 x 33 mm
<b>Temperatura de Funcionamiento</b>	-10° C a 65°C
<b>EEPROM</b>	1KB
<b>SRAM</b>	2KB

Fuente: Adaptada de datasheet de arduino nano – (Autoría)

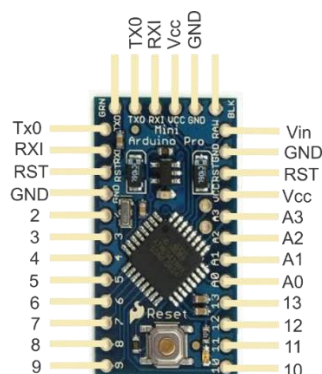


Figura 24. Pines Arduino Mini Pro

Fuente: <http://www.microsolution.com.pk/product/arduino-pro-mini-in-pakistan/>

- **Comparación y Elección de Sistema Embebido**

Para la elección del sistema embebido se tomara en cuenta los requerimientos de StRS, SySR, SRSH y las especificaciones técnicas antes establecidas de cada placa es así que se dará una valoración de 1 a las condiciones que se cumplan y una valoración de 0 a las que no se cumplan, al final la placa que más valoración obtenga será la implementada en el sistema.

Tabla 11. Comparación de Sistema Embebido

<b>Hardware Sistema Embebido</b>	<b>Requerimientos</b>					<b>Valoración Total</b>
	StRS 3	StRS 4	StRS 6	StRS 7	StRS 9	
<b>Arduino Nano</b>	1	1	1	1	1	5
<b>Arduino Mini Pro</b>	1	0	1	1	1	4
<b>Arduino Uno</b>	1	1	1	0	1	4
	SySR 1	SySR 3	SySR 7	SySR 8	SySR 9	
<b>Arduino Nano</b>	1	1	1	1	1	5
<b>Arduino Mini Pro</b>	1	1	0	1	1	5
<b>Arduino Uno</b>	1	1	1	1	1	5
	SRSH 1	SRSH 3	SRSH 8	SRSH 7	SRSH 17	
<b>Arduino Nano</b>	1	1	1	1	1	5
<b>Arduino Mini Pro</b>	1	1	0	1	1	4
<b>Arduino Uno</b>	1	1	1	1	0	4

	Voltaje Funcional	# de Pines	Capacidad Memoria	Tamaño	Corriente en pines	
<b>Arduino Nano</b>	1	1	1	1	1	5
<b>Arduino Mini Pro</b>	1	1	0	1	0	3
<b>Arduino Uno</b>	1	1	1	1	1	5
1. Cumple						
0. No cumple						

Fuente: Autoría

Elección:

Basado en los requerimientos StRS, SySR, SRSR y de especificaciones técnicas establecidos en la tabla 11 se opta por elegir la placa arduino nano para ser implementada en el sistema ubicado en el tobillo derecho del deportista por presentar una mayor valoración con respecto a las demás opciones, y se ha elegido la placa arduino uno para ser implementada en el receptor, ya que cuenta con mayor capacidad de procesamiento de información, importante para poder interpretar las señales recibidas del transmisor.

### 3.3.1.2 *Sensores*

Para realizar una mejor elección de los sensores y módulos de comunicación a emplearse en el diseño del sistema, se realizará un análisis de Benchmarking el cual iniciara con una comparativa de las características técnicas de cada elemento, tomando en cuenta características de disponibilidad y precio en el mismo análisis, para que así la opción escogida en cada módulo tenga una verificación completa.

A continuación se describirán las características de los posibles sensores a ser implementados en el sistema de toma de datos:

- **Opción uno: Modulo Interruptor de inclinación KY-020**

Es un módulo con salidas digitales diseñado especialmente para arduino, el cual permite detectar inclinaciones de objetos unidos a este módulo enviando pulsos en sus salidas de 1 en el momento en el que se realice una inclinación y de un 0 en el caso de no detectar ninguna (Areaid, 2017), en la figura 25 se puede observar un módulo de inclinación KY-020.

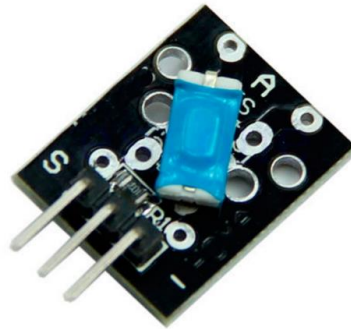


Figura 25. Módulo de Inclinación KY – 020

Fuente: <http://milyunpartes.com/movimiento-aceleracion-velocidad-etc/38-arduino-ky-020-modulo-interruptor-de-inclinacion.html>

Una de las principales desventajas de este módulo es que no proporciona el ángulo de inclinación que se ha obtenido, simplemente informa de una inclinación por lo que no es recomendable su uso en proyectos en los que se requiera el tratamiento de información.

Las especificaciones técnicas del módulo KY – 020 se encuentran en la tabla 12.

Tabla 12. Especificaciones Técnicas de Módulo KY – 020

<b>Especificaciones Técnicas</b>	
<b>Voltaje de Funcionamiento</b>	3.3V - 5V en DC
<b>Resistencia de contacto</b>	50 Max
<b>Resistencia de aislamiento</b>	100M (min 250V DC)
<b>Resistencia dieléctrica</b>	AC250V (50 / 60 Hz para 1 minuto)
<b>Ciclo de vida</b>	100 000
<b>Temperatura de Funcionamiento</b>	-25° C a 85°C

---

**Dimensiones**2.3 cm x 1.6 cm x 0.5 cm

---

Fuente: Adaptada de datasheet de módulo KY-020 – (Autoría)

- **Opción dos: Acelerómetro y Giroscopio MPU - 6050**

Este sensor posee incorporados un acelerómetro y un giroscopio de 3 ejes cada uno, dando así una libertad de 6 grados con los valores de sus tres ejes: ax, ay, az y gx, gy, gz. El sensor giroscopio incorporado en este permite medir velocidades angulares tomando en cuenta el impulso de rotación que este posee. Mientras que el acelerómetro permite medir la aceleración, pero también mediante una secuencia de cálculos se puede obtener valores de inclinación en grados, lo que facilita la interpretación de los datos.

La resolución del sensor MPU-6050 es de 16 bits dividiendo el rango dinámico en 65536 fracciones, dando así la posibilidad de implementar dicho sensor en muchas aplicaciones de electrónica y robótica e incluso para el manejo de drones. (Instrument, 2017) . En la figura 22 se puede observar un sensor MPU-6050 y en la figura 26 se puede observar cuales son los pines utilizados en una conexión con arduino u otro sistema embebido.



Figura 26. Sensor MPU-6050

Fuente: [http://hetpro-store.com/TUTORIALES/wp-content/uploads/2014/04/MPU\\_6050\\_4.jpg?x18372](http://hetpro-store.com/TUTORIALES/wp-content/uploads/2014/04/MPU_6050_4.jpg?x18372)

<b>Acelerómetro Giroscopio MPU-6050 6DOF</b>	<b>Arduino UNO</b>
VCC	VCC
GND	GND
SDA	Pin Análogo 4
SCL	Pin Análogo 5

Figura 27. Pines Usados en el Sensor MPU6050 para la Conexión con Arduino

Fuente: [http://hetpro-store.com/TUTORIALES/wp-content/uploads/2014/04/MPU\\_6050\\_4.jpg?x18372](http://hetpro-store.com/TUTORIALES/wp-content/uploads/2014/04/MPU_6050_4.jpg?x18372)

En la tabla 13 se puede observar las especificaciones técnicas del sensor proporcionadas por el fabricante en su hoja de datos.

Tabla 13. Especificaciones Técnicas de Sensor MPU-6050

<b>Especificaciones Técnicas Sensor MPU-6050</b>	
<b>Salida Digital</b>	Salida en 6 ejes, 3 en un acelerómetro y 3 en un giroscopio.
<b>Sensibilidad giroscopio</b>	$\pm 250$ , $\pm 500$ , $\pm 1000$ , y $\pm 2000$ dps
<b>Sensibilidad acelerómetro</b>	$\pm 2g$ , $\pm 4g$ , $\pm 8g$ y $\pm 16g$
<b>Voltaje de alimentación</b>	2.37V – 3.46V
<b>Regulador de voltaje</b>	Adaptado para soportar hasta 5V de alimentación.
<b>Corriente Operativa</b>	500mA
<b>Dimensiones</b>	2.3 cm x 1.6 cm x 0.5 cm

Fuente: Adaptada de Datasheet del Sensor MPU.6050 – (Autoría)

A continuación se realizara la elección del Sensor de Angulo de dorsiflexión y levantamiento de talón en base a los datos antes establecidos realizando una tabla comparativa:

- **Tabla Comparativa de Sensores de Dorsiflexión y Levantamiento de Talón**

Tabla 14. Análisis Comparativo de Sensores de Medición de Parámetros

<b>Parámetros</b>	<b>Sensores</b>	
	Sensor KY - 020	MPU - 6050
<b>Fiabilidad</b>	Alta	Alta
<b>Rango de medición</b>	0° a 90° con salida digital	$\pm 250$ , $\pm 500$ , $\pm 1000$ , y $\pm 2000^\circ/\text{seg}$
<b>Consumo</b>	bajo	bajo

<b>Sensibilidad de Temperatura</b>	-25° C a 85°C	-25° C a 85°C
<b>Disponibilidad</b>	Quito	Ibarra
<b>Precio</b>	6.00\$	5.00\$

Fuente: Autoría

En base a la comparativa de especificaciones técnicas realizadas de cada sensor y en base a la comparativa realizada en la tabla 14, se opta por elegir el sensor MPU6050 para ser utilizado en el sistema sobre el sensor KY-020 ya que proporciona una mejor toma de datos en relación a ángulos y giros de movimiento, adaptándose de mejor manera a los requerimientos del sistema.

### 3.3.1.3 *Módulo de Comunicación Inalámbrico*

Con el objetivo de no molestar el entrenamiento de los miembros del club de físico culturismo de la universidad técnica del norte con cables que permitan tomar datos de la dorsiflexión del tobillo y de los fallos cometidos en el entrenamiento, se ha decidido utilizar módulos de comunicación inalámbrica, los que presentan las siguientes especificaciones técnicas

- **Opción uno: Módulo ESP8266**

El ESP8266 es un módulo tipo WI-FI, el cual permite realizar una transferencia de información de través de este medio inalámbrico, presenta dos formas de funcionamiento una como servidor permitiendo que dispositivos con esta misma tecnología se conecten a este y asignándoles direcciones IP para estar en red, o conectándose a una red ya establecida y adquiriendo una dirección de dicha red.

Una ventaja del módulo es su tamaño reducido y su alta capacidad de procesamiento de información, pudiendo ser incorporada en varios tipos de sistemas embebidas, teniendo



tiempos de transferencia de paquetes menores a 2 milisegundos, lo cual la hace viable para varias aplicaciones de internet de las cosas (IoT) (TexasInstrument, AllDataSheet, 2017). En la figura 28 se detalla una configuración válida para conectar un módulo ESP8266 a una red y realizar envío y recepción de información, y en la figura 29 se puede encontrar una imagen del módulo.

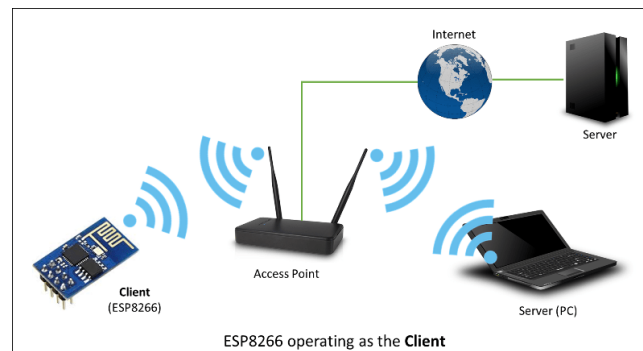


Figura 28. Esquema de Conexión de ESP8266 a una Red de Datos

Fuente: <https://www.puntofotante.net/INTERNET-OF-THINGS-BOLT-18F2550-ESP8266.html>

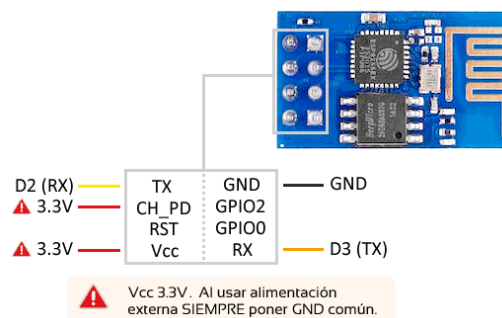


Figura 29. Distribución de Pines de Sensor ESP8266

Fuente: <https://www.luisllamas.es/arduino-wifi-esp8266-esp01/>

En la tabla 15 se puede encontrar las especificaciones técnicas del módulo.

Tabla 15. Especificaciones Técnicas Módulo ESP8266

<b>Especificaciones Técnicas Modulo ESP8266</b>	
<b>Voltaje operativo</b>	3.3V de DC
<b>Default Baud rate</b>	9600
<b>Frecuencia</b>	2.4 GHz, soporta WPA/WPA2
<b>Protocolo de Comunicación</b>	802.11 b/g/n
<b>Potencia de salida</b>	+19.5dBm

<b>Consumo de energía</b>	0,5 $\mu$ A en reposo y 170 mA en transmisión.
<b>Dimensiones</b>	11.5mm x 11.5mm
<b>Transferencia de paquetes</b>	> 2ms
<b>Rango de Temperatura</b>	-40° C a 125°C

Fuente: Adaptada de Datasheet del Módulo ESP8266 – (Autoría)

- **Opción dos: Módulo NRF24I01**

Es un módulo de comunicación RF compacto y de bajo consumo de energía, trabaja en una banda de 2.4 GHz, se encuentra disponible en dos tipos de presentaciones una con amplificación con la cual es posible alcanzar distancias de hasta 300m y la versión sin amplificación con un alcance máximo de 30m en lugares abiertos, mientras que en lugares con interferencias se puede alcanzar distancias de entre 15m y 20m, Una de sus ventajas es la incorporación de un ShockBurst, para una aceleración de protocolo de hardware en comunicaciones SPI con un sistema embebido lo que hace que los tiempos de envío de información sean prácticamente en tiempo real. (TexasInstrument, AllDataSheet, 2017)

Los módulos NRF24I01 al ser transceptores pueden ser configurados y funcionar como transmisor y como receptor, pero solo de una manera a la vez, permitiendo realizar conexiones de tipo estrella en donde un módulo es el receptor y varios transmisores envían datos a este, en la figura 30 se puede apreciar una configuración tipo estrella de módulos NRF24I01.

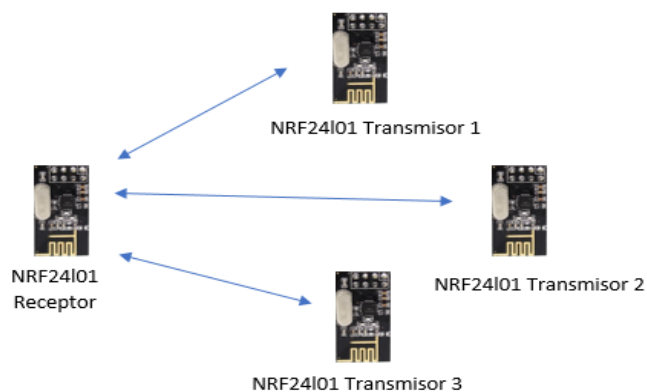


Figura 30. Configuración Tipo Estrella NRF24I01  
Fuente: Autoría

Las especificaciones técnicas para realizar un correcto uso del módulo RF y obtener los mejores resultados de envío y recepción de información se establecen en la tabla 16.

Tabla 16. Especificaciones Técnicas NRF24I01

<b>Especificaciones Técnicas Modulo NRF24I01</b>	
<b>Voltaje operativo</b>	1.8V a 3.6V en DC
<b>Default Baud rate</b>	9600
<b>Frecuencia</b>	2.4 GHz
<b>Protocolo de Comunicación</b>	I2C
<b>Potencia de Transmisión</b>	+4dBm
<b>Velocidad de Transmisión</b>	2Mbps
<b>Consumo de energía</b>	Modo Emisor: 115 mA, Receptor: 45mA.
<b>Dimensiones</b>	15mm x 29mm
<b>Transferencia de paquetes</b>	> 1ms
<b>Rango de Temperatura</b>	-40° C a 125°C

Fuente: Adaptada de Datasheet del Módulo ESP8266 – (Autoría)

- Elección de módulo de Comunicación Inalámbrica

Tabla 17. Análisis Comparativo de Módulos de Cx. Inalámbrica

<b>Análisis Comparativo de Sensores de dorsiflexión</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Sensores</b>	
	ESP8266	NRF24101
<b>Fiabilidad</b>	Media	Alta
<b>Frecuencia de Trabajo</b>	2.4 GHz	2.4 GHz
<b>Consumo</b>	Medio	Bajo
<b>Sensibilidad</b>	-90dBm	-85dBm
<b>Sensibilidad de Temperatura</b>	-40° C a +125°C	-40° C a +85°C
<b>Disponibilidad</b>	Quito	Ibarra
<b>Precio</b>	5.00 \$	3.50 \$

Fuente: Autoría

Con el objetivo de obtener una comunicación estable y que no cause problema con el movimiento del ejercicio realizado por el deportista y en base a la tabla 17 en donde se realiza una comparativa de los módulos se ha optado por seleccionar el módulo de comunicación NRF24101 para ser utilizado en el prototipo sobre el módulo ESP8266 ya que principal mente mejora la velocidad de transmisión de datos proporcionándolos en tiempo real lo que es un requerimiento necesario para graficar los movimientos del ejercicio.

### 3.3.1.4 *Alertas*

- **Alarma Sonora**

Con el objetivo de prevenir al usuario de movimientos compensatorios que afecten su estado físico, se ve necesario implementar una alerta la cual no debe distraer su rutina de ejercicios de una manera abrupta, la señal preventiva se realizara mediante un sonido el cual indicara del fallo cometido pero no afectara en su concentración.

Un buzzer en una manera práctica de alertar los posibles movimientos erróneos, ya que puede ser configurado para sonar de diferentes formas y puede ser añadido a cualquier proyecto electrónico, por su facilidad de implementación y por su tamaño reducido. En la tabla 18.

Tabla 18. Especificaciones Técnicas de Buzzer

<b>Especificaciones Técnicas de Buzzer</b>	
<b>Voltaje Operativo</b>	3V a 6V
<b>Corriente Operativa</b>	25mA
<b>Frecuencia</b>	3.2KHz
<b>Nivel de Sonido</b>	87dB
<b>Dimensiones</b>	12mm de diámetro

Fuente: Adaptada de Datasheet de Buzzer – (Autoría)

- **Led RGB**

El principal objetivo del led es establecer estados de funcionamiento de distintos elementos eléctricos o electrónicos, dando así indicativos de encendido apagado entre otros.

La variedad de colores que pueden ser mostrados por un led depende de su estructura en la cual un led RGB es aquel que posee diodos distintos para 3 tipos de color rojo, verde, azul en un solo led, y mediante la combinación de estos colores se puede crear más colores de indicación. Las características de un led RGB ánodo común se describen en la tabla 19.

Tabla 19. Especificaciones Técnicas Led RGB

<b>Especificaciones Técnicas de led RGB</b>	
<b>Voltaje Operativo</b>	R: 2v, G: 3.2v, B: 3.2v
<b>Corriente Operativa</b>	20mA máximo
<b>Temperatura de operación</b>	-25°C a 85°C
<b>Degradación en 1000 horas</b>	R:6%, G:13%, B:14%
<b>Dimensiones</b>	5mm de diámetro

Fuente: Adaptada de Datasheet de Led RGB – (Autoría)

### 3.3.2 Elección de Software

La elección del software necesario para visualizar los datos del ejercicio de sentadilla recolectados por el sistema se basará en los requerimientos que se describieron en las tablas superiores y en la posibilidad de unirlos con los equipos físicos. Sensores y Placa Embebida, buscando así un software que se acople a los requerimientos de imagen y muestra de datos en tiempo real.

El software de visualización elegido es Python basado en las características mencionadas en la tabla 18 entre las que se incluye su amplia variedad de librerías y adaptabilidad para realizar la visualización de información de varios sensores de diferentes formas, además presenta librerías que permite crear una interfaz gráfica estética con opciones de diseño permitiendo hacerla fácil de manejar por usuarios.

Python puede ser ejecutado desde su propia consola o desde la consola del sistema operativo que se utilice, siendo este multiplataforma, si se desea de igual manera se puede utilizar un IDE de desarrollo llamado Spyder, el cual se puede observar en la figura 31, además es posible realizar aplicaciones listas para ser ejecutadas en cualquier plataforma sin que los recursos de este sean grandes.

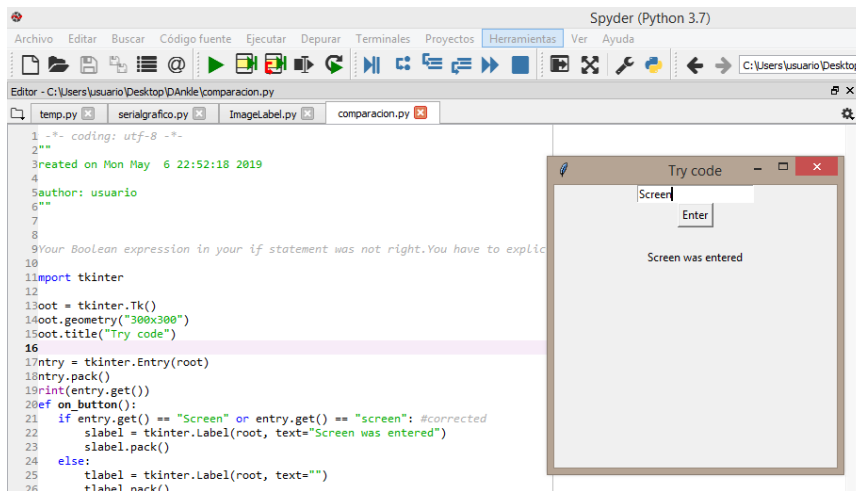


Figura 31. IDE de Programación Python - Spyder  
Fuente: Autoría

Las características más relevantes del software de visualización Python son:

Tabla 20. Características Principales de Python

Nº	Características de Python
1	Excelente curva de aprendizaje
2	Escalabilidad: Combinación de programación con java, php y C++
3	Permite programación orientada a objetos
4	Realización de aplicaciones ejecutables
5	Posibilidad de generación de aplicaciones para móviles
6	Conexión con dispositivos y placas electrónicas
7	Gran cantidad de paquetes gráficos
8	Desarrollo de visualizadores 2D y 3D
9	Posibilidad de aplicación de visualización artística

Fuente: Basado en el Apartado de Python de (Linares, 2016)

### 3.4 Diseño del Sistema

El diseño del sistema permite comprender paso a paso la forma en la que se realiza el sistema de evaluación de niveles de dorsiflexión del tobillo, de una manera ordenada y clara relacionando así los niveles de dorsiflexión con los fallos cometidos en el entrenamiento de sentadillas, con el fin de obtener los mejores resultados de evaluación que ayuden a los deportistas del club de fisicoculturismo en su proceso de entrenamiento.

La utilización de una variedad de sensores y placas adaptadas especialmente para este análisis se produjo gracias a la utilización de equipos open source el cual junto a la visualización del ejercicio en tiempo real de una manera clara y de libre acceso crearon un sistema que puede ser utilizado en cualquier momento y lugar.

El diseño específico del sistema se realiza en dos fases, la primera referente al diseño de hardware con todas las características necesarias para ser usadas y la segunda en el desarrollo de software en la cual la visualización del ejercicio es una parte importante para su funcionamiento.

### 3.4.1 Diagrama de Bloques del Sistema

La realización de un diagrama de bloques ayuda a la comprensión de las diferentes etapas de las que se compone el sistema (DAnkle), así como la forma en la que estas se relacionan entre sí.

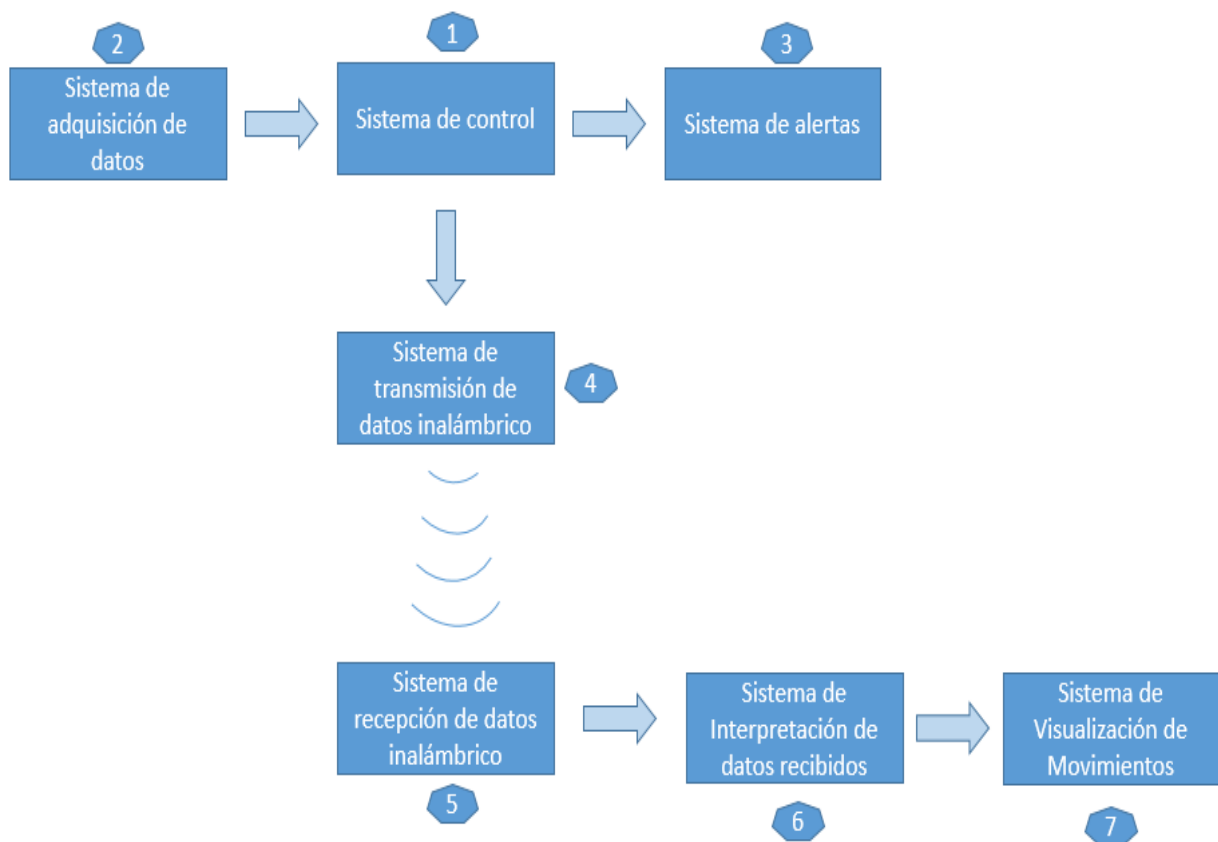


Figura 32. Diagrama de Bloques de DAnkle  
Fuente: Autoría



En la figura 32 se puede observar el diagrama de bloques establecido para el funcionamiento del sistema denominado DAnkle, compuesto de 7 etapas de funcionamiento en las cuales se realiza el diseño de hardware y software, desde la toma de datos hasta la creación de la interface gráfica de visualización.

Las diferentes etapas de funcionamiento se detallan a continuación:

- **Etapa 1:** Se refiere a la parte principal del sistema, la cual está encargada de procesar la información disponible de los diferentes movimientos que se realicen, compararlos con datos preestablecidos y de esta manera tomar decisiones que informen sobre los diferentes estados del sistema.
- **Etapa 2:** Conformada por el sensor MPU-6050 encargado de recolectar datos sobre los diferentes niveles de dorsiflexión del tobillo, posición del pie para dar inicio a la ejecución del ejercicio y elevación de talón en la ejecución de la sentadilla. Todos los datos mencionados se enviarán a la etapa 1 para ser procesados.
- **Etapa 3:** Esta etapa está diseñada para proporcionar una alerta temprana de posibles movimientos lesivos, y así dar un indicativo al deportista de los movimientos erróneos que está realizando.
- **Etapa 4:** Los datos que ya han sido recolectados y procesados en la etapa 1 y 2 deben ser enviados de manera inalámbrica hacia la etapa 5, esto se lo logra por medio del sensor de radiofrecuencia NRF24I01.
- **Etapa 5:** Los datos que fueron enviados en la etapa 4, son recibidos en esta etapa con el objetivo de ser enviados a un sistema que los interprete, la recepción de los datos se los realiza mediante un sensor de radiofrecuencia NRF24I01.
- **Etapa 6:** Los datos recibidos en la etapa 5 son transmitidos hacia esta etapa en donde se los interpreta y se toma las decisiones que posteriormente servirá para realizar la visualización. Esta será controlada por una placa arduino uno.

- **Etapa 7:** Se adquieren los datos procesados en la etapa 6, para realizar una visualización de los movimientos, de acuerdo a los indicativos de cada uno y de esta manera se los muestra al usuario final.

### 3.4.2 Diagrama de Flujo del Sistema

La evaluación del ángulo de dorsiflexión del tobillo, la posición inicial de los pies y el movimiento de talón durante el ejercicio de sentadilla profunda se la puede realizar mediante la extracción de los movimientos realizados en la articulación tibiotarsiana, los mismos que determinaran si una sentadilla se ha ejecutado de manera correcta o se presenta errores en ella, causando así la activación de la alarma preventiva. Esto en tiempo real, pero después de realizar dicho análisis se debe enviar los datos obtenidos, por los transceptores RF para así poder visualizar el ejercicio en el sistema de visualización.

Como se muestra en la figura 33, en el diagrama de flujo del sistema, para lograr el desarrollo del sistema en sí, se lo ha tenido que dividir en varios subsistemas, entre los que se tiene el de medición del ángulo de dorsiflexión, el de medición de la posición inicial de las piernas, subsistema de movimiento de talón, sistema de alarma e indicación de inicio de la ejecución del ejercicio, subsistema de transmisión y recepción de datos, y el subsistema de interpretación de datos recibidos y de visualización, planteando en cada una su modo de funcionamiento y explicando en el transcurso del desarrollo del proyecto cada uno de estos y como al final se logra la integración de todos ellos en un solo sistema con su componente de hardware y software.

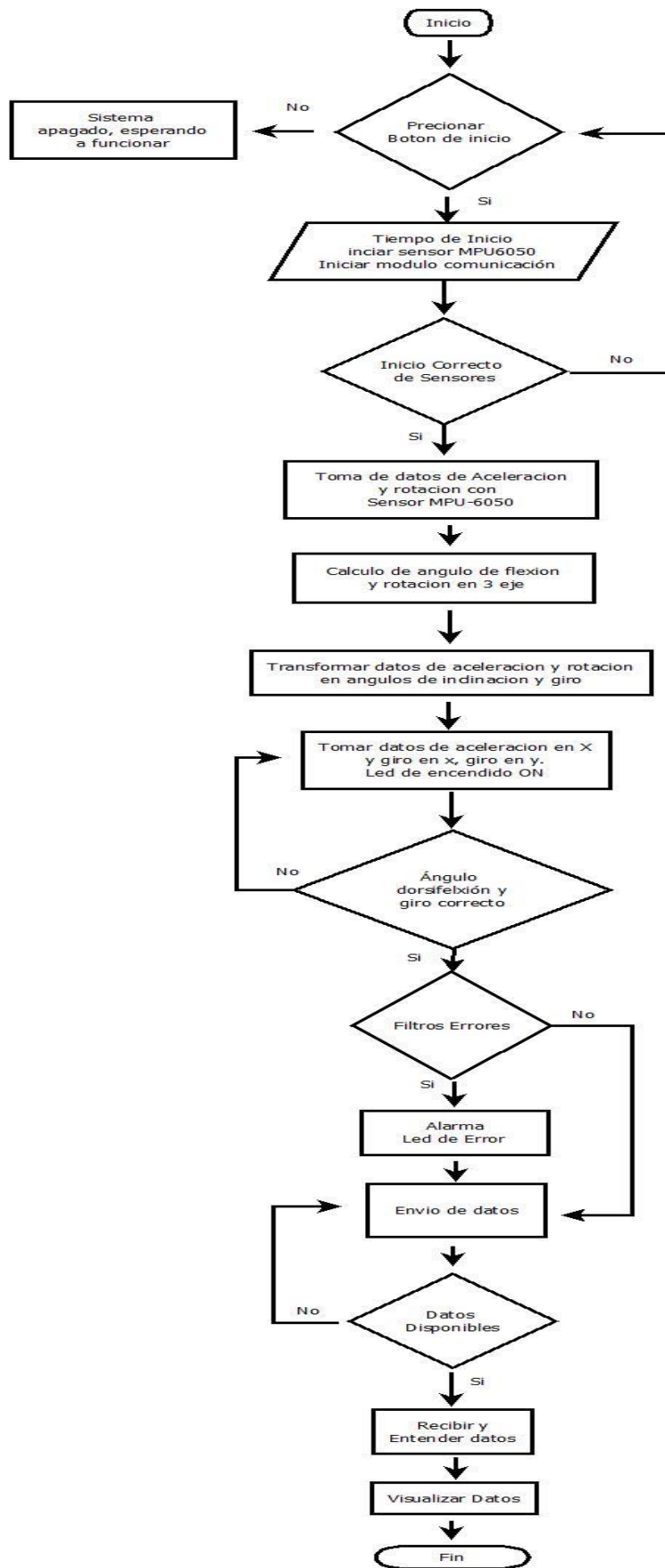


Figura 33. Diagrama de Flujo del Sistema  
Fuente: Autoría

### 3.4.3 Diseño de Hardware (DAnkle)

El diseño de hardware se lo realizara con la utilización de placas arduino y sensores acoplables a estos, todos de tipo open source lo que facilidad su adquisición y mejora la integración con el software de visualización libre. En esta sección se diseñaran las primeras cuatro etapas de las mencionadas en el apartado 3.4.1 y presentes en la figura 32.

#### 3.4.3.1 Evaluación del Ángulo de Dorsiflexión

La evaluación del ángulo de dorsiflexión del tobillo es parte de la etapa 2 descrita en la figura 32, esta se la obtendrá por medio de las mediciones del sensor IMU, el cual posee mediciones de aceleración para calcular ángulos en los ejes X e Y,

El parámetro a medir es la dorsiflexión del tobillo por lo que se hará uso de la medición obtenida en la aceleración en el eje Y, en donde se medirá el ángulo que forma la tibia con el empeine del pie, es decir que en la fase de inicio se tendrá una medición de 90 a 88 grados aproximados y conforme se realice la flexión de las piernas este ángulo disminuirá y aumentara dando valores de flexión de cada repetición.

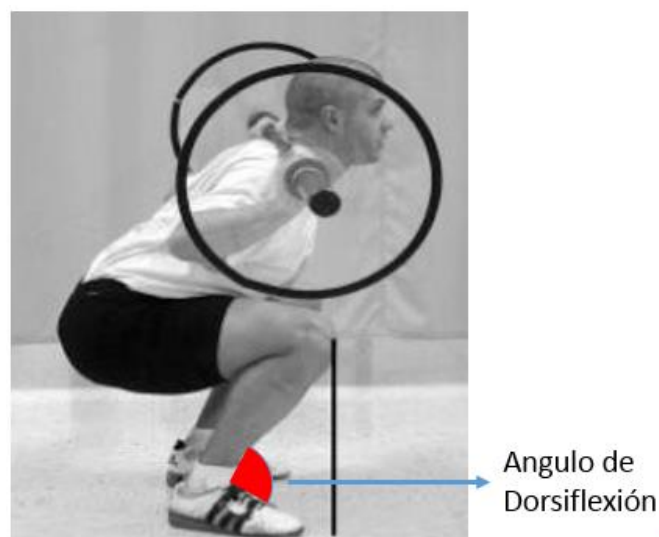


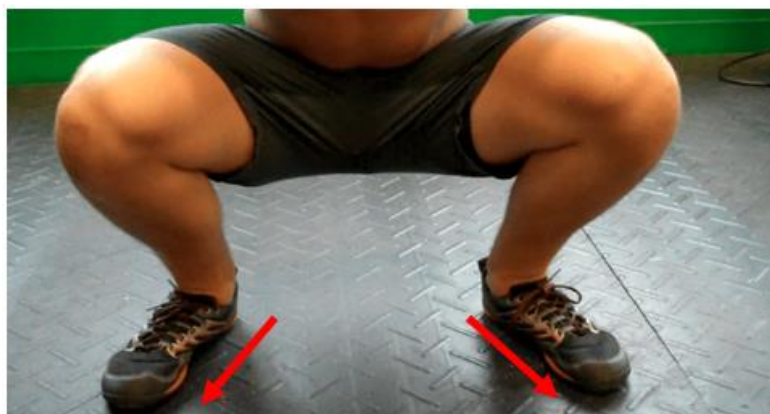
Figura 34. Ángulo de Dorsiflexión a Medir  
Fuente: Autoría

En la figura 34 se puede observar el ángulo que será evaluado para conocer el nivel de dorsiflexión del tobillo de cada deportista.

### 3.4.3.2 Evaluación de la Posición Inicial de las Piernas

En el estudio realizado de las posiciones correctas de pies durante una técnica adecuada de la sentadilla profunda, se menciona que durante la posición inicial del ejercicio es importante posicionar los pies con las puntas ligeramente orientadas hacia afuera para de esta manera balancear las cargas de peso por todo el pie, para realizar dicha medición se tomara como referencia el ángulo del eje X proporcionado por el sensor MPU6050, además de que esta posición inicial que se debe evaluar también forma parte de la etapa 2 descrita en la figura 32. En donde se debe considerar que si no se ha tomado la posición correcta no se puede iniciar la ejecución del ejercicio.

En la figura 35 se puede observar la posición inicial correcta de los pies, en donde las puntas están orientadas hacia afuera, esta posición durante todo el ejercicio no debe cambiar, ya que podría causar lesiones.



Puntas Hacia Afuera

Figura 35. Posición Inicial Adecuada de Puntas de los Pies

Fuente: <https://www.entrenamiento.com/musculacion/ejercicios/piernas/como-hacer-la-sentadilla-perfecta/>  
y Autoría

De la misma forma en la que se considera que los pies estén orientados ligeramente hacia afuera, en casos las puntas de los pies pueden estar ubicadas rectas, dependiendo del tipo de repetición que se esté realizando.

Si se llega a dar el caso en el que las puntas de los pies no se encuentren rectas o ligeramente orientadas hacia afuera sino más bien hacia dentro, se considerara que estas tienen una mala posición y no podrá comenzar las repeticiones del ejercicio.

### 3.4.3.3 *Evaluación de Elevación de Talón en el Descenso de las Sentadillas*

Durante la realización de una sentadilla profunda, la elevación de talón se da por la baja flexibilidad de los tobillos, esta elevación se da siempre en la fase de descenso como resultado de un movimiento compensatorio, tal movimiento no se debe dar en ningún momento del ejercicio ya que la planta del pie siempre debe estar completamente pegada al suelo, y cualquier elevación de esta debe ser considerada un error grave y ser corregida de inmediato, para conocer este fallo se tomara como referencia las variaciones bruscas que sufra el giroscopio en el eje Y de giro, esta es la última de las evaluaciones que son parte de la etapa 2 establecida en la figura 32.

En la figura 36 se puede observar un descenso completo sin realizar una elevación de talón y una en la que no se puede realizar un descenso completo sin realizar una elevación de talón.



Figura 36. Elevación de Talón en Descenso de Sentadilla  
Fuente: <https://movinglivespilates/la-sentadilla-profunda-y-sus-beneficios/> y Autoría

Todas las anteriores posiciones serán determinadas por el sensor MPU6050 por lo que se deberá colocar dicho sensor en una posición específica que determine todas las posiciones de la mejor manera y se obtengan datos reales.

- **Conexión del Sensor IMU MPU6050**

El sensor MPU – 6050 se conecta a cualquier placa arduino a través de entradas analógicas, las que por lo general son A4 y A5, en la figura 36 se puede observar gráficamente la forma correcta de conexión del sensor a un arduino nano.

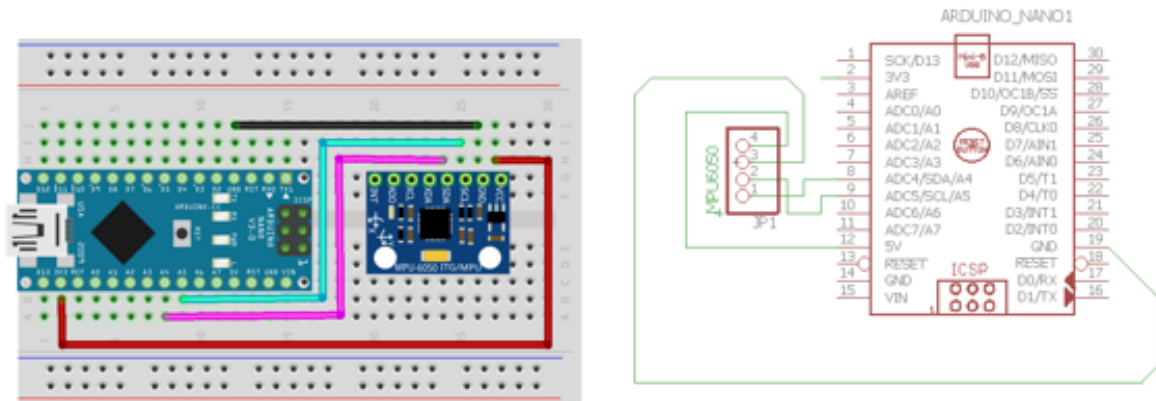


Figura 37. Diagrama de Conexión de MPU6050 con Arduino Nano

Fuente: Autoría

- Diagrama de Flujo del sensor IMU MPU-6050

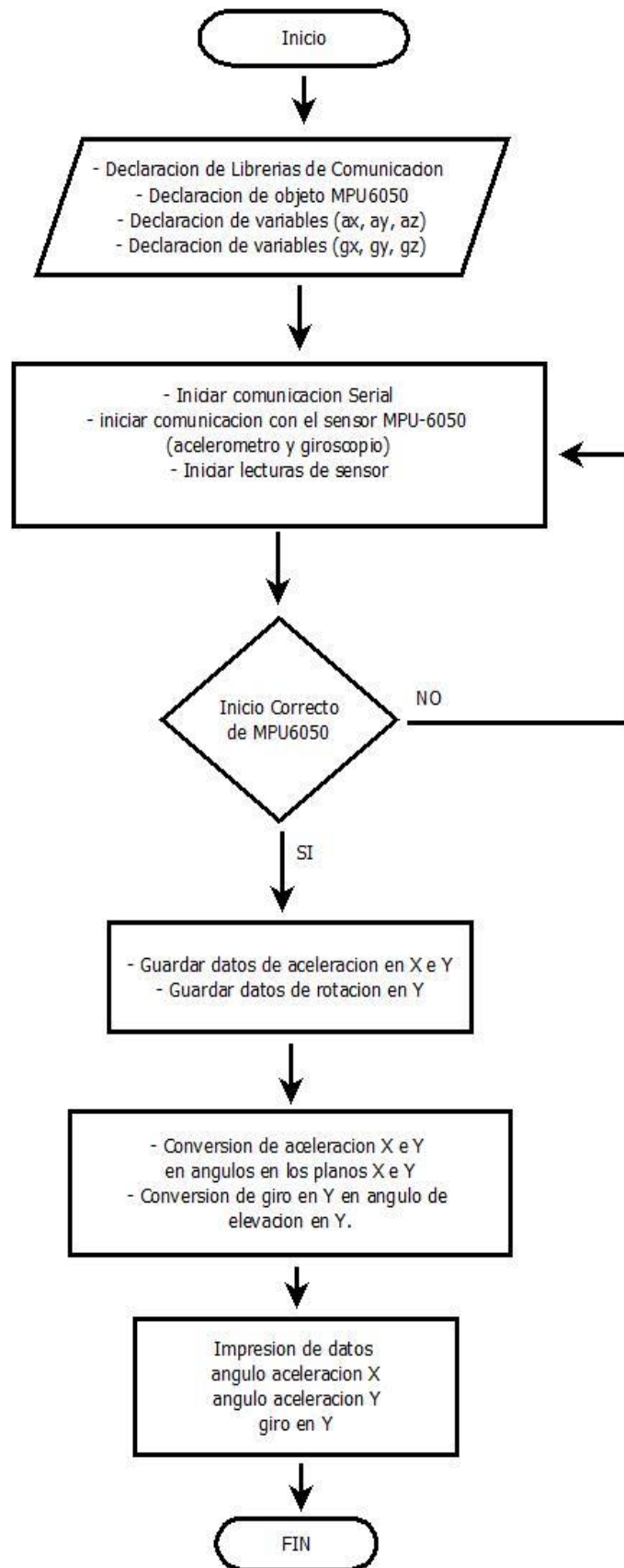


Figura 38. Diagrama de Flujo del Sensor MPU-6050  
Fuente: Autoría



El diagrama de flujo del funcionamiento del sensor MPU – 6050 que se muestra en la figura 38, brinda los detalles reales de cómo es su configuración y de cómo se logran obtener sus datos. En donde se llama a las librerías del módulo de comunicación I2C, se declaran variables para sus 6 ejes, 3 de aceleración y 3 de giro. Para poder realizar una toma de datos se debe comprobar su conexión para luego guardar las datos de aceleración y rotación en las variables antes declaradas y mediante fórmulas de aceleración transformar dichos datos en ángulos de inclinación y rotación de los cuales se tomara, el ángulo de rotación en X e Y y el de giro en Y.

#### **3.4.3.4 Sistema de Alarma, Indicativo de Inicio y Filtros**

Las diferentes alertas que se darán en el sistema estarán definidas por la etapa 3 de la figura 32, en donde se dará indicaciones para que se pueda comenzar la ejecución del ejercicio, este indicativo estará determinado por un led RGB el cual, mostrara un color blanco cuando el sistema simplemente este encendiéndose, cambiando a color verde o azul en el momento en el que se pueda iniciar la ejecución del ejercicio, este color dependerá de la posición de las puntas de los pies siendo azul si estas rectas o verde si estas hacia afuera y dando el color rojo cuando se produzca una falla en el ejercicio.

Las fallas se determinaran bajo los parámetros obtenidos cuando el deportista inicie la ejecución del ejercicio, por lo cual el sistema da el tiempo necesario para que el mismo tome una posición inicial correcta. Obteniendo fallas cuando las puntas de los pies se encuentren hacia dentro, cuando no se sobrepase el ángulo de dorsiflexión recomendado y en el caso de que se realice un levantamiento de talón durante la ejecución del ejercicio, estos estarán definidos por filtros o umbrales que serán percibidos por el usuario por una alarma sonora y un cambio de color notorio en el led a rojo.

- **Conexión de Alarma y Led RGB**

La figura 39 establece la conexión de pines que tiene el sistema de alerta, en donde para la conexión de la sirena y del led se usaron los pines digitales 2, 3, 4 para el led y 5 para la sirena, se ha utilizado resistencias para la protección de los elementos electrónicos considerando resistencias de 330 ohm para los pines del led suficiente para que se pueda establecer un buen funcionamiento.

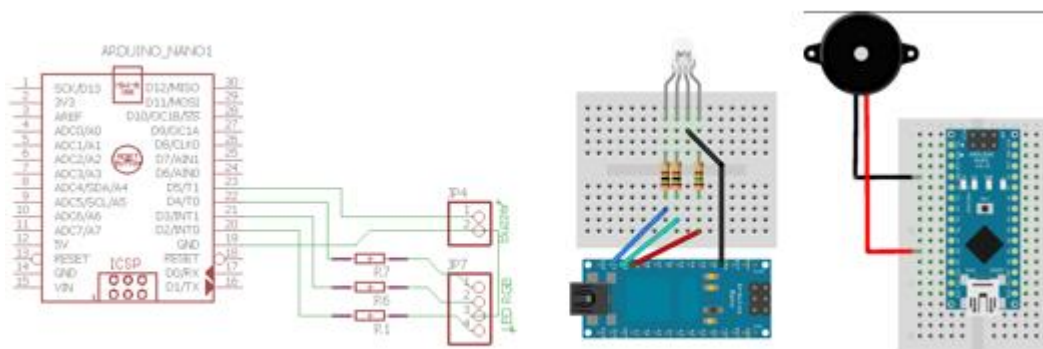


Figura 39. Configuración de pines de Buzzer y Led RGB como Alertas  
Fuente: Autoría

Como modo de prevención contra daños en el led RGB se ha utilizado resistencias las cuales controlaran valores de voltaje e intensidad de corriente de acuerdo a los establecidos en su hoja de especificaciones presente en el anexo 4, El valor de cada resistencia utilizada en la conexión del led RGB con la placa arduino se tomo en base a la ecuacion 2, la cual describe la relacion que existe entre el voltaje, la intensidad de corriente y la resistencia que se empleara, en relacion a los valores establecidos en la tabla 19.

$$V = I \times R$$

Ecuación 2. Ley de Ohm

Fuente: Autoría

Dicha ecuación será modificada para poder obtener el valor en ohm de las resistencias, descrita en la ecuacion 3.

$$R = \frac{V}{I}$$

Ecuación 3. Ley de Ohm para obtener Valor de Resistencias

Fuente: Autoría

De esta manera se podrá hacer el cálculo del valor de las resistencias a utilizarse en el diseño del sistema teniendo que el valor del voltaje de la fuente es de 5V, y la intensidad recomendada por los fabricantes del led es de 15mA, estableciendo el valor obtenido de 333.33 ohm en la ecuación 4. De la cual el valor de las resistencias más cercano de venta al público es de 330 ohm.

$$R = \frac{5V}{15mA}$$
$$R = 333.33 \text{ ohm}$$

Ecuación 4. Obtención de Valor de Resistencia

Fuente: Autoría

- **Diagrama de Flujo del Sistema de Alerta**

En la figura 40 se establecerá el funcionamiento de la activación de la alarma y del led RGB, en donde se declara valores que establecen los distintos filtros de los que estará compuesto el sistema, si las condiciones de los datos obtenidos entran en uno de estos filtros, la alarma se accionara, existen 3 filtro en el sistema comenzando por la posición inicial de los pies, luego pasando al nivel de dorsiflexión del tobillo y finalmente terminando con el levantamiento de talón en la fase de bajada de la sentadilla, siendo todas la variables obtenidas por el sensor MPU-6050.

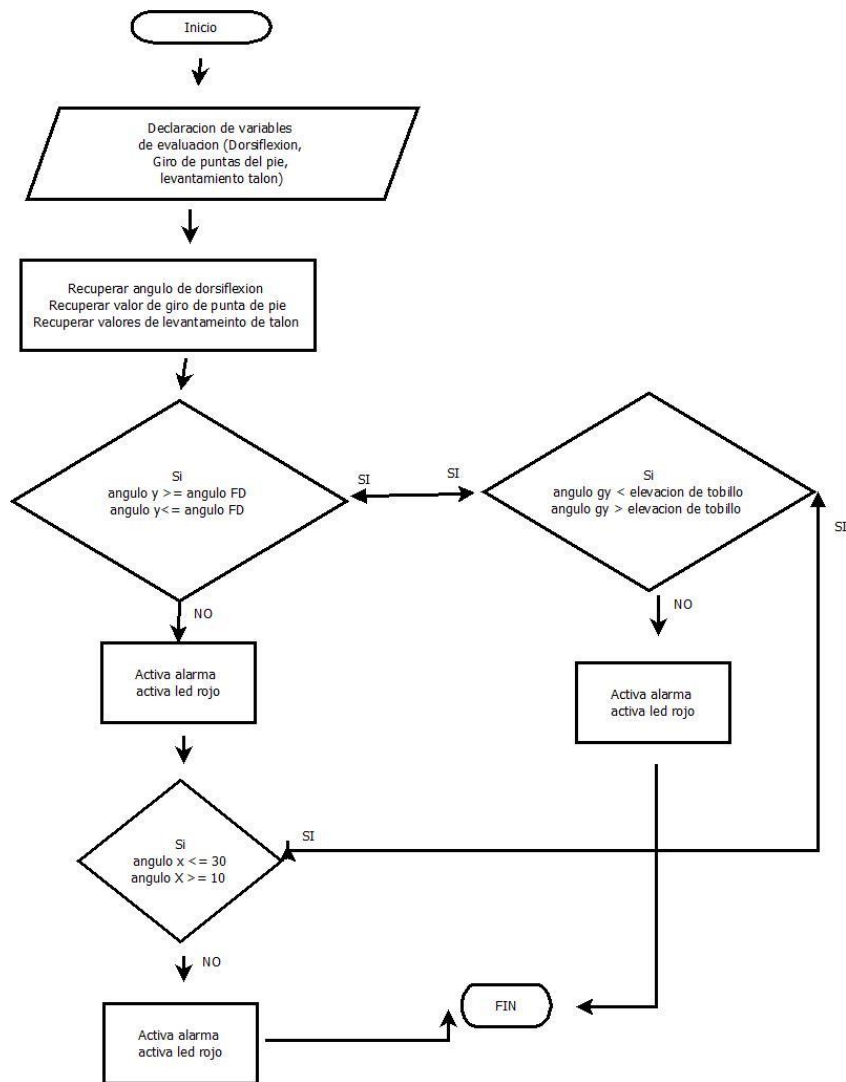


Figura 40. Diagrama de Flujo de Sistema de Alarma

Fuente: Autoría

### 3.4.3.5 Transmisión de Datos

La transmisión de datos desde el prototipo móvil hacia el receptor fijo en un sistema computacional, se realizara a través de módulos de comunicación de radiofrecuencia concretamente el módulo NRF24I01, de esta manera se evitara la utilización de cables que molesten el entrenamiento de los deportistas y se podrá obtener la visualización del ejercicio con un retardo casi imperceptible, la transmisión de información será unidireccional.

- **Conexión de Transmisor NRF24101 a Arduino Nano**

La figura 41 muestra la conexión realizada desde el módulo NRF24101 a un arduino nano.

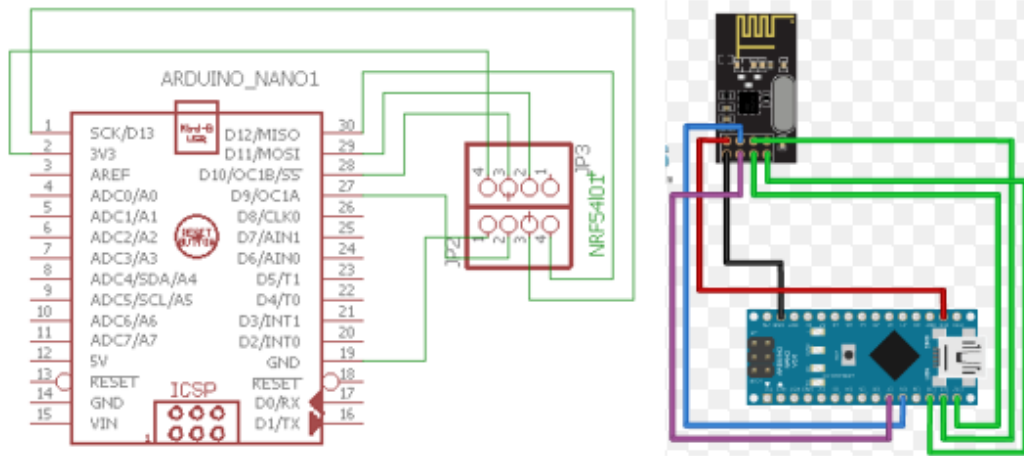


Figura 41. Conexión de Módulo NRF24101 a Arduino Nano  
Fuente: Autoría

- **Diagrama de Flujo de Transmisión de Datos**

La forma en la que el módulo NRF24101 transmite sus datos hacia el receptor se encuentra descrita en el diagrama de flujo de la figura 42, de esta manera se puede obtener los datos de movimientos en el sistema de visualización.

El modulo tranceptor utiliza la librería de comunicación ISP, por lo que se debe iniciarla, a continuación se abre un canal de comunicación para la transmisión de datos por lo que hay que configurar un identificador de canal igual en el transmisor y en el receptor, y para almacenar los diferentes datos se crea arreglos y son estos los que se envían y graban en otros arreglos realizados en el receptor, para finalizar con el cierre del canal, se añade una instrucción de verificación de datos con la cual se tiene conocimiento de si el envío tuvo éxito.

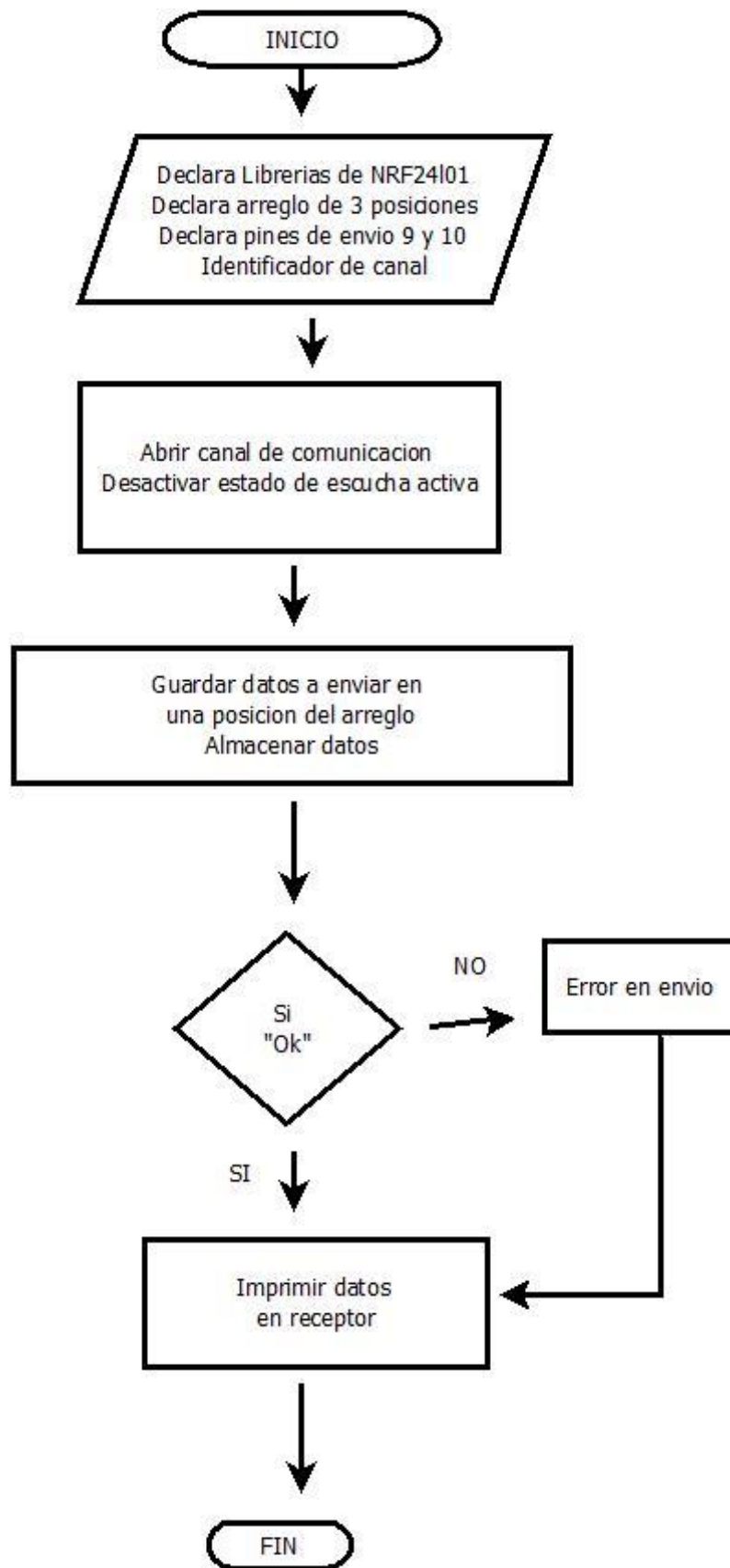


Figura 42. Diagrama de Flujo de Transmisor  
Fuente: Autoría

### 3.4.3.6 Fuente de Alimentación del Sistema

Con el objetivo de evitar fallos de energía en el sistema DAnkle que afecten a la evaluación del ejercicio de sentadillas se debe evaluar la fuente de alimentación que va a abastecer a todo el sistema, dentro del sistema portable se hace notoria la necesidad de utilizar una batería portable, en el mercado existe una gran variedad de baterías con diferentes suministros de voltaje e intensidad de corriente.

Por lo que se optara por calcular el total de consumo que se tendrá entre todos los componentes del sistema entre los que se incluye: arduino nano, MPU-6050, NRF24101, Buzzer, Led RGB. Dicho consumo se obtendrá de las hojas de especificaciones de todos los componentes disponibles en los anexos 2, 3 y 4.

En primer lugar se considerara la corriente total como una suma de las corrientes de cada elemento.

$$IT = \sum_{i=1}^n I_{e_i}$$

Ecuación 5. Fórmula para la Sumatoria de Corrientes de los Elementos del Sistema

Fuente: <https://www.emaze.com/@ALQOQTIZ>

La ecuación 2 nos permite conocer que la suma de todas las corrientes nos dará un total aproximado de la corriente de la fuente de alimentación, necesaria para el funcionamiento del sistema.

- **Sumatoria de Corrientes de los Elementos Electrónicos del Sistema**

Tabla 21. Sumatoria de Corrientes del Sistema

#	Elemento	Corriente	Voltaje	Cantidad	Total	Total (V)
<b>Elemento</b>		(c/u)	(c/u)		(mA)	
<b>1</b>	Arduino nano	40mA (Out - in)	3.5 a 12 V	1	40mA	3.5 a 12 V
<b>2</b>	MPU-6050	3.6mA	3 a 5 V	1	3.6mA	3 a 5 V
<b>3</b>	NRF24101	11.3mA	1.9 a 3.6 V	1	11.3mA	1.9 a 3.6 V
<b>4</b>	Buzzer	18mA	3 a 6 V	1	25mA	3 a 6 V
<b>5</b>	Led RGB	15mA	5 a 9 V	3	45mA	3 a 9 V
TOTAL, Corriente					124.9m	
					A	
TOTAL, Voltaje						3.5 a 12 V
TOTAL DEL SISTEMA						124.9mA
						3.5 a 12 V

Fuente: Autoría

En base a los datos obtenidos en la tabla 21 se puede decir que la corriente total consumida será de 124.9mA y el voltaje podrá ser variable estando entre 3.5 y 12 V con el cual se podrá alimentar a la placa de arduino y posterior mente distribuir los voltajes necesarios a los diferentes componentes.



- **Elección de Fuente de Alimentación**

Al haber calculado los rangos de voltaje e intensidad de corriente necesarios para hacer funcionar el prototipo si ninguna falla, se debe encontrar una batería que se acople a los requerimientos siendo estos de 3.5V y 150mA añadiendo otras recomendaciones de uso y de fabricante.

El número de baterías que pueden suministrar esos niveles de voltaje e intensidad de corriente son varios por lo que realizara una comparación de elementos para elegir el que más se aplique a nuestro proyecto.

Tabla 22. Comparación de Baterías de Alimentación

<b>Opciones de Batería</b>			
<b>Característica</b>	Batería Recargable	Batería Lipo de 1 Celda	Batería Alcalina
	Godp 9v – 280mAh	3.7V – 600mAh	9V – 350mAh
<b>Tension</b>	9V	3.7V	9V
<b>Intensidad de corriente</b>	280mAh	600mAh	350mAh
<b>Tamaño</b>	Grande	Pequeña	Mediana

Fuente: Autoría

Basándose en la comparación realizada en la tabla 22, se realiza la elección del tipo de batería eligiendo, la batería recargable tipo Lipo de 3.7V y 600mA, la cual puede ser observada en la figura 43. Por brindar las características necesarias para alimentar el sistema y por ser recargable, además por su tamaño 45x30x10 mm se convierte en una excelente opción para ser implementada en proyectos poco invasivos y con varias horas de utilización.



Figura 43. Batería Lipo Recargable una Celda  
Fuente: Datasheet Batería 3.7V 600mA

- **Módulo de Carga y Protección de Batería Lipo de una Celda**

Las baterías de tipo lipo presentan muchas ventajas en cuanto a tamaño, duración, peso entre otros, pero al momento de ser recargadas están necesitan módulos especiales que realicen dicha acción ya que si se lo hace de una manera inadecuada están pueden sufrir daños o inclusive pueden causar daños a los equipos a las que están conectadas.

Tomando en cuenta lo antes mencionado el módulo de carga TP4056 en su modelo 18650 presente en la figura 44, es la mejor opción a considerar para realizar la carga de una batería de Litio de una celda por su tamaño, puertos, y protección detallados en la tabla 23.



Figura 44. Módulo de Carga TP4056  
Fuente: Datasheet Modulo TP4056 – 18650

Tabla 23. Características principales de módulo TP4056

N°	Características de Modulo TP4056
1	Entrada de carga con puerto micro USB de 4.5 – 8 V y 1,2 A max
2	Circuito de protección ante cortocircuitos y picos de voltajes
3	4 puertos de salida
4	Opción de carga y suministro de energía al mismo tiempo
5	Led rojo para indicar la carga de la batería y Azul para carga completa
6	Tamaño de 2,6x1,7 cm
7	Circuito interruptor de protección para carga de batería litio

Fuente: Autoría - Fuente: Datasheet Modulo TP4056 – 18650

- **Duración de la Batería**

La duración de la batería estará regida por el tiempo de uso que presente, Tomando en cuenta el voltaje e intensidad de 3.7 V y 600mAh que presenta la batería en su carga máxima y que en una hora de entrenamiento se ha descargado un aproximado de 125mAh obtenido en la tabla 21. La batería alimentara al sistema 5 horas de entrenamiento continuo, las cuales de acuerdo a datos obtenidos de integrantes del club de fisicoculturismo es un aproximado del tiempo que entrenan todos en un día, por lo que se recomienda cargarla una vez al día para que se encuentre siempre disponible el prototipo para su uso, teniendo un tiempo de carga de aproximadamente 30 minutos.

### 3.4.3.7 Integración del Prototipo

El prototipo será ubicado en una tobillera la cual tiene la curvatura ideal para adaptarse a un tobillo de un adulto, en la parte frontal para evitar la mala ubicación del sistema se ubicaron etiquetas que indican como debe ser ubicado, haciendo este proceso fácil e intuitivo, buscando la mejor posición para que los datos tomados sean lo más cercanos a la realidad, el prototipo no tendrá cables por fuera ya que estos podrían molestar al deportista u podrían dañar el circuito completo. La figura 45 muestra la ubicación del prototipo en cualquier deportista.

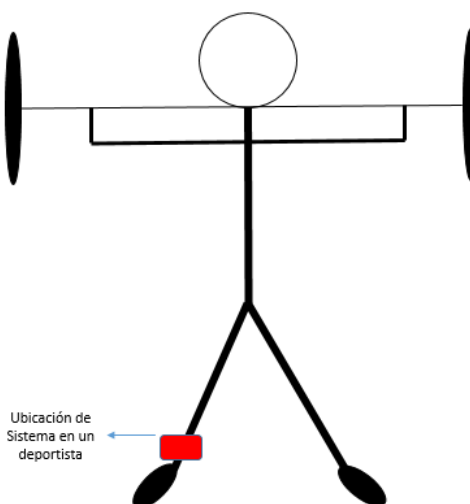


Figura 45. Ubicación de DAnkle en un Deportista  
Fuente: Autoría

- **Ubicación de los sensores en la Tobillera**

Para realizar la integración de los sensores se buscó la mejor posición del sensor MPU-6050 ya que este tienen la función de tomar datos de los tres posibles movimientos, por tal razón se ha implementado dentro de una protección el sensor NRF24101 también se encuentra fijo a la placa realizada, de igual manera la batería utilizada queda oculta de los usuarios y es casi imperceptible su ubicación, al final el sistema debe ser ubicado en la pierna derecha del deportista como se muestra en la figura 45, de la misma forma dicha información se proporcionara en el manual de usuario.



Figura 46. Modulo Tobillera para Toma y Procesamiento de Datos  
Fuente: Autoría

- **Diagrama de pines del sistema central DANKle**

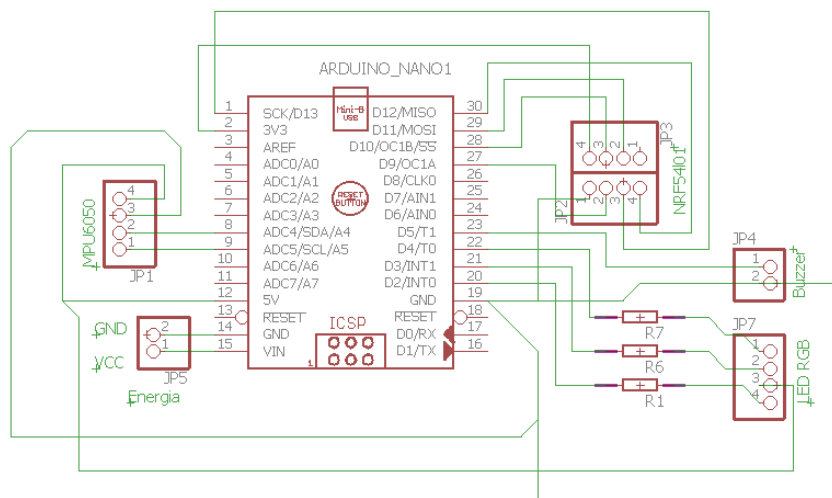


Figura 47. Diagrama Circuital Final de Todo el Sistema DANKle  
Fuente: Autoría

Las conexiones necesarias para que el sensor, módulo de comunicación, alarma y led indicativo puedan funcionar se muestran en la figura 47 ubicando la conexión de cada pin de cada componente electrónico a la placa arduino nano, dichas conexiones se las logro mediante la realización de una placa en baquelita la cual se muestra en la figura 48.



Figura 48. Elementos Electrónicos Ubicados en la Placa  
Fuente: Autoría

- **Pines de Conexión**

Los pines del sistema se determinan por la función específica que cumple cada uno de estos, detallando así las conexiones en la tabla 24.

Tabla 24. Pines de Conexión del Sistema

Pines de Conexión del Sistema DAnkle						
Arduino nano	MPU-6050	NRF24I01	Fuente de alimentación	Buzzer	Led RGB	
D2	-	-	-	-	-	Pin 4
D3	-	-	-	-	-	Pin 3
D4	-	-	-	-	-	Pin 1
D5	-	-	-	Vcc	-	-
D9	-	CE	-	-	-	-

D10	-	CS	-	-	-
D11	-	MOSI	-	-	-
D12	-	MISO	-	-	-
D13	-	SCK	-	-	-
A4	SCL	-	-	-	-
A5	SDA	-	-	-	-
5V	VCC	-	-	-	VCC
3.3v	-	VCC	-	-	-
VIN	-	-	VCC	-	-
GND	GND	GND	GND	GND	-

Fuente: Autoría

- **Funcionamiento de Sistema de Evaluación y Envío de Información (DAnkle).**

Las diferentes funcionalidades que tendrá el sistema de evaluación de los movimientos del tobillo, implementado en una tobillera se dividirán en 3 fases, la fase de inicio corresponderá a los requerimientos iniciales que se deberán tener para que la información acerca del ejercicio se recolecten, la fase de toma de datos en la cual se recolectara, enviara, se toma decisiones de alertas y visualizara toda la información del ejercicio y la fase de finalización en la cual se interpretara el final del ejercicio se dejara de enviar información al sistema de visualización y se realizara una evaluación de los movimientos del tobillo realizados durante el ejercicio. En la tabla 25 se encuentra la descripción del funcionamiento de cada una de las fases.

Tabla 25. Funcionamiento del Prototipo por Fases

<b>Fase</b>	<b>Subsistema</b>	<b>Funcionamiento</b>	<b>Alertas</b>
<b>1</b>	Evaluación de posición de pies	Mediante el ángulo de aceleración obtenido con el sensor mpu6050 en el eje x se tendrá el ángulo de orientación de las puntas	El sistema determinara que está listo para iniciar la realización del ejercicio cuando el led tome un color verde o azul, Si el giro de las piernas no es el adecuado y se comienza la realización

---

		de los pies, las cuales deben estar apuntando hacia afuera.	del ejercicio se emitirá un sonido que indicara que se está realizando mal el ejercicio.
2	Evaluación de ángulo de dorsiflexión	de Mediante el ángulo de aceleración obtenido con el sensor mpu6050 en el eje y se tendrá el ángulo de dorsiflexión del tobillo. El cual se medirá desde la parte frontal de la tibia hasta el empeine del pie.	Si el descenso del deportista no es completo, se emitirá una alarma sonora que informara de dicho fallo y de los movimientos compensatorios que se están produciendo, además el color del led cambiara de verde o azul a rojo.
2	Evaluación de levantamiento de talón.	de Si dentro de la ejecución del ejercicio el giro del sensor mpu6050 en el eje Y varia abruptamente, se determinara esto como un levantamiento de talón.	Si se detecta un levantamiento de talón se emitirá una alarma sonora y el color del led cambiara a color rojo.
3	Sistema de transmisión de datos	de La transmisión de los datos de posición de pies, ángulo de dorsiflexión y levantamiento de talón se realizara mediante los módulos NRF24101 inalámbricos, en donde estos se almacenaran en arreglos.	
4	Sistema de recepción de datos	de Un módulo NRF24101 será configurado como receptor y estará a la escucha siempre de datos enviados.	
5	Sistema de interpretación de datos	de Los datos recibidos por el módulo NRF24101 serán transmitidos a este sistema para ser procesados y mostrar la visualización adecuadas.	El sistema recibirá las alertas y su tipo, haciendo esto que el sistema muestre la falla realizada. Tomando las etiquetas identificativos del color verde si está bien ejecuta o rojo si no lo está y mostrar una imagen del error cometido.

---

Fuente: Autoría

El encendido general del sistema ubicado en la tobillera se lo realizara mediante un pulsador, en donde un led tomara el color blanco para determinar que el sistema esta encendido, y posteriormente pasara a azul o verde cuando comience a realizar el ejercicio. Los datos se enviarian cuando el deportista tome la posición inicial del ejercicio y realice una sentadilla inferior a los límites establecidos.

En caso de realizar mal una sentadilla, el color del led implementado en el prototipo será rojo, acompañado de un sonido y en caso de realizar bien será de color verde sin ningún sonido.

### 3.4.3.8 *Implementación de algoritmo KNN o SVM al sistema*

La utilidad que tendrá la implementación de un algoritmo de aprendizaje autónomo es el determinar de mejor manera las repeticiones acertadas y equivocadas en el ejercicio de sentadilla, mejorando así las alertas que se emitirán en tiempo real, evitando así la mayor cantidad de fallos que puedan afectar al ejercicio de sentadilla. Cabe recalcar que para realizar dicho análisis ha sido necesario la creación de una base de datos con valores de sentadillas realizadas por deportistas con más de dos años de entrenamiento, por lo que se considera que dominan la técnica de realización. A dichas repeticiones se les ha sido asignado identificativos según su tipo, teniendo dos tipos de evaluaciones: una que corresponderá a la posición inicial de la sentadilla durante la cual se asignaran las etiquetas 4, 5, 6 y otra durante el descenso que se realice con las etiquetas 1, 2, 3. En la tabla 26 se muestra los identificadores de dichas repeticiones.

Tabla 26. Identificación de Repeticiones

<b>Tipo de Repetición</b>	<b>Identificación</b>
<b>Repetición Buena Puntas Hacia Afuera</b>	1
<b>Repetición Mala Baja Dorsiflexión</b>	2
<b>Repetición Mala Levantamiento Talón</b>	3
<b>Sentadilla con Punta de Pies Rectos</b>	4



<b>Sentadilla con Puntas de Pies Hacia Dentro</b>	5
<b>Sentadilla con Puntas de Pies Hacia Fuera</b>	6

Fuente: Autoría

- **Identificación de Datos para la BBDD**

Al considerar que el sistema de toma de datos (Tobillera), realiza una medición de valores cada 300 milisegundos la obtención de datos durante la realización de una repetición es igual a la mostrada en la figura 49.

En la cual se puede identificar en color azul los datos obtenidos en la fase de bajada y en verde los valores obtenidos en la fase de subida de la sentadilla.

Dorsiflexion,Elevacion,Giro
84.00,4.00,-14.95
84.00,3.00,-14.95
79.00,5.00,-8.59
59.00,-29.00,-10.76
62.00,-27.00,-10.84
83.00,-6.00,-15.74
83.00,5.00,-17.40

Figura 49. Formato de Datos Inicial  
Fuente: Autoría

La intercepción que se muestra en la figura 49, es considerada como el punto de flexión más bajo obtenido durante una repetición de sentadilla y el resto son los valores que se obtienen en el transcurso de la misma. Dichos datos en una evaluación de un algoritmo de aprendizaje autónomo son considerados como ruido por lo que la base de datos no debe contar con estos para realizar un análisis y clasificación adecuada de las diferentes repeticiones.

Para efectos del proyecto el mismo sistema de toma de datos será el encargado de limitar la toma de estos, considerándolos como innecesarios y solo proporcionando el valor de la posición inicial y los valores obtenidos en el punto más bajo de la flexión como lo muestra la figura 50.

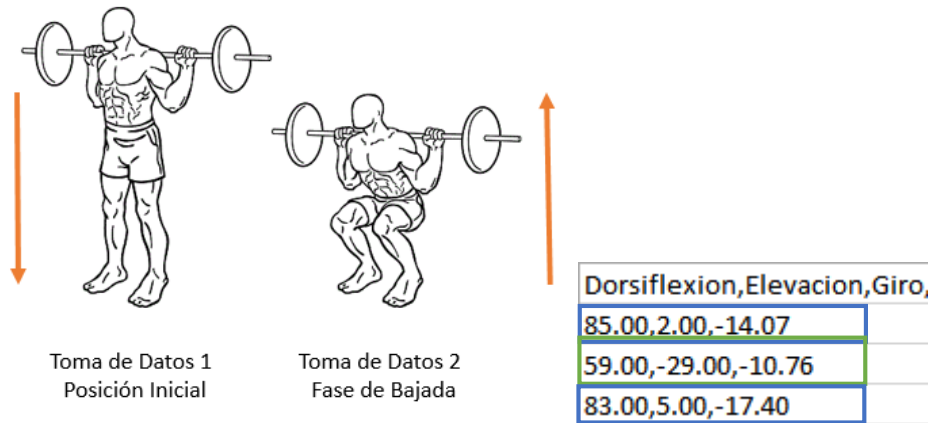


Figura 50. Posición de Medición y Formato de Datos Final  
Fuente: Autoría

Al finalizar la toma de datos con los diferentes tipos que lo conforman, estos serán almacenados en un archivo de tipo csv, compuesto por 132 datos, los cuales presentan un valor de asignación que los identifica dependiendo el tipo de repetición y posición, de acuerdo a los establecidos en la tabla 26.

En la figura 51 se puede observar el conjunto de datos finales perteneciente a la BDD de entrenamiento que poseen el identificativo 1, los cuales son considerados como una buena repetición, tomando así en cuenta dentro del conjunto de datos tres valores (Dorsiflexión, Elevación, Giro) y el primer valor es el referente al identificador de cada repetición.

Tipo	Dorsiflexion	Talon	Giro
1	59.00	-5.00	6.00
1	59.00	-3.00	-2.00
1	58.00	-5.00	4.00
1	59.00	-9.00	0.00
1	57.00	-9.00	-5.00
1	57.00	-8.00	-4.00
1	52.00	-11.00	-8.00
1	59.00	-6.00	-3.00

Figura 51. Tabla Repeticiones Buenas  
Fuente: Autoría

De la misma forma como se le ha añadido un identificativo de “1” a los anteriores datos, se procede a hacer lo propio con los demás en donde se considera una mala repetición por baja

dorsiflexión, dando un identificativo de “2” a las repeticiones realizadas y visualizadas en la figura 52.

2	52.00	-5.00	56.00
2	59.00	-10.00	-3.00
2	51.00	-5.00	-3.00
2	53.00	-7.00	3.00
2	52.00	-5.00	6.00
2	55.00	-6.00	6.00
2	71.00	-9.00	-4.00

Figura 52. Repeticiones con Baja Dorsiflexión  
Fuente: Autoría

El tipo de repetición a las que se le asigna el identificativo “3” son las repeticiones en las que el talón es elevado del suelo, causado como una compensación de una falta de dorsiflexión, y puede ser visualizada en la figura 53.

3	29.00	-19.00	38.00
3	48.00	-11.00	22.00
3	47.00	-4.00	34.00
3	39.00	-16.00	34.00
3	44.00	-8.00	77.00
3	46.00	-21.00	72.00
3	39.00	-21.00	65.00
3	46.00	-19.00	90.00

Figura 53. Repetición Levantamiento de Talón  
Fuente: Autoría

A partir del caso “4” se identificarán posiciones de los pies al inicio del ejercicio pudiendo estas ser las establecidas en la tabla 26 y visualizadas en la figura 54.

4	32.00	-7.00	6.00	5	82.00	-7.00	17.00	6	83.00	-6.00	-2.00
4	32.00	-7.00	0.00	5	82.00	-5.00	19.00	6	82.00	-7.00	-5.00
4	35.00	-4.00	0.00	5	84.00	-5.00	14.00	6	82.00	-7.00	-5.00
4	32.00	-6.00	3.00	5	82.00	-7.00	27.00	6	83.00	-4.00	-4.00
4	33.00	-6.00	4.00	5	83.00	-3.00	58.00	6	82.00	-7.00	-8.00

Figura 54 Posición de Puntas de Pies  
Fuente: Autoría

### 3.4.3.9 Análisis K-NN

Para la realización del análisis en R del algoritmo K-NN se utilizara el IDE RStudio, para facilidad de ejecución del código de R, como primer paso se realizara la carga de una archivo con un total de 132 datos disponibles en el archivo de tipo .csv se hará la división del 75% en una base de datos de entrenamiento y un 25% en una de revisión, teniendo la división de la base de datos en la figura 55.

data	132 obs. of 4 variables
fit	List of 23
test	27 obs. of 4 variables
training	105 obs. of 4 variables

Figura 55. Clasificación de Bases de Datos  
Fuente: Autoría

Posterior a esto se establecerá la búsqueda del valor K con el cual se tenga la mayor exactitud o el menor número de errores, el análisis realizado en R se establecerá tomando en cuenta las repeticiones bien realizadas con las mal realizadas obteniendo así los valores presentado en la tabla 27.

Tabla 27. Balance de Exactitud K-NN

Valor K	Balance de Exactitud
5-NN	0.826
7-NN	0.852
9-NN	0.873
13-NN	0.82

Fuente: Autoría

De esta manera el valor que se le debe establecer a K para obtener un balance de exactitud mejor es de “9” (9-NN), además se realizara un análisis para conocer que variable es la de mayor importancia dentro del análisis de datos obteniendo los resultados presentes en la

figura 56, en donde dorsiflexión y giro son los principales datos a tomar en cuenta al realizar una elección de clase.

```

variables are sorted by maximum importance across the classes
      No1    No2    PA    PF    PR    Si
Dorsiflexion 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
Giro         95.44  95.44  95.44  95.44  95.44  79.49
Talon       67.59  67.59  67.59  67.59  72.82  0.00
  
```

Figura 56. Importancia de Variables en Analisis K-NN  
Fuente: Autoría

De esta manera las clases se han identificado como los muestra la tabla 28.

Tabla 28. Identificativos de Clases en R

<b>Clase</b>	<b>Identificativo</b>
<b>SI</b>	Datos de repetición Bien Realizada
<b>NO1</b>	Fallo en Dorsiflexión
<b>NO2</b>	Fallo en Levantamiento de Talón
<b>PA</b>	Posición de Puntas de Pies hacia dentro
<b>PF</b>	Posición de Puntas de Pies Hacia Afuera
<b>PR</b>	Posición de Puntas de Pies Rectas

Fuente: Autoría

Al aplicar el algoritmo K-NN se ha logrado obtener las condiciones apropiadas a ser implementadas dentro del sistema de toma de datos (Tobillera) con una exactitud de 92.5% como se muestra en la figura 57. Además el código completo para la realización del análisis KNN se encuentra disponible en el anexo 1.

```

overall statistics
      Accuracy : 0.9259
      95% CI   : (0.7571, 0.9909)
No Information Rate : 0.2593
P-Value [Acc > NIR] : 4.362e-13
  
```

Figura 57. Exactitud del Sistema  
Fuente: Autoría

- **Análisis SVM con Múltiples Clases**

SVM es un algoritmo de aprendizaje maquina supervisado, que puede ser aplicado en datos lineal mente separables, separándolos así en clases a través de hiper planos con vectores soporte, este algoritmo como tal está preparado para para el análisis de dos varíales, en el caso de que se desee realizar un análisis con más variables existe SVM uno vs uno con el cual se ha logrado obtener una exactitud del sistema del 90%.

#### ***3.4.3.10 Funcionamiento de K-NN en sistema de toma de datos***

Al necesitar que el sistema de toma de datos implementado en el tobillo pueda diferenciar y decidir qué tipo de repetición ha sido realizada por el deportista en tiempo real, es necesaria la aplicación de un algoritmo de aprendizaje autónomo en este, para lo cual se tomara los datos obtenidos del análisis de K-NN en R.

Tomando en cuenta las condiciones que debe cumplir el sistema al diferenciar la clase de repetición que se ha realizado y alertar al usuario de si está realizando bien o mal una repetición en tiempo real se ha optado por la aplicación del algoritmo obteniendo las alertas mediante condicionales.

En la figura 58 se puede observar el diagrama de flujo del funcionamiento del algoritmo KNN implementado en el sistema de medición de tobillo, es así que el prototipo al detectar que se ha realizado una sentadilla, clasifica el valor de flexión menor, para posteriormente calcular la distancia euclidiana de este punto hacía las diferentes limitantes condicionales, seleccionando así el tipo de repetición basada en la menor distancia hacia cada una.

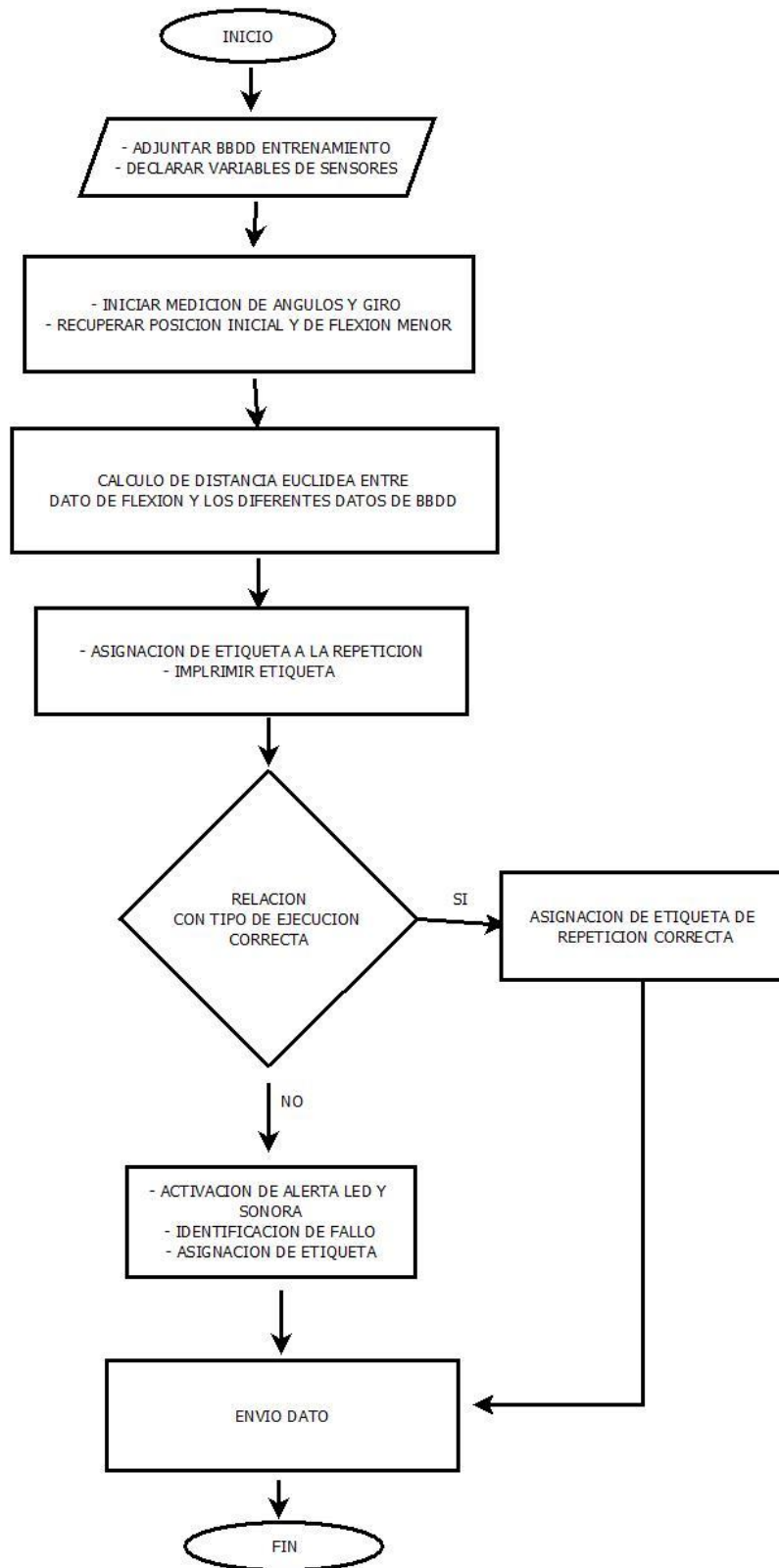


Figura 58. Diagrama de Flujo de Algoritmo K-NN  
Fuente: Autoría

Como se puede apreciar en la figura 59 el sistema al aplicar el algoritmo K-NN, toma el dato mínimo de la flexión, realiza una separación de las variables que conforman dicho dato, y verifica a qué tipo de repetición pertenece para luego imprimir el mismo dato añadido el identificativo al final, a partir de la cual se puede accionar las diferentes alertas y se puede enviar el dato para verificar en el sistema de visualización.

```
58.00,-29.00,-10.76
Dorsiflexion: 58.00
Talon: -29.00
Giro: -10.76
>> Clase: 1
1,58.00,-29.00,-10.76
-----
85.00,1.00,-27.13
Dorsiflexion: 85.00
Talon: 1.00
Giro: -27.13
>> Clase: 6
6,85.00,1.00,-27.13
-----
62.00,-27.00,-12.65
Dorsiflexion: 62.00
Talon: -27.00
Giro: -12.65
>> Clase: 2
2,62.00,-27.00,-12.65
-----
```

Figura 59. Resultado de Implementación K-NN en Sistema  
Fuente: Autoría

#### ***3.4.3.11 Prototipo Receptor de datos***

Tras realizar el análisis de los datos en la tobillera, estos se deberán enviar a un módulo receptor para ser interpretados y transformados en una visualización grafica del ejercicio, esto gracias a la versatilidad que poseen los módulos transceptores NRF24I01 con su configuración de transmisor o receptor, la información captada por el modulo será enviada a una placa arduino que interpretara los datos y tomara las decisiones de visualización del ejercicio por lo que esta deberá estar conectada directamente a una computadora a través de un cable USB. Los módulos transmisor y receptor se muestran en la figura 60, ubicados cada uno en ubicación.



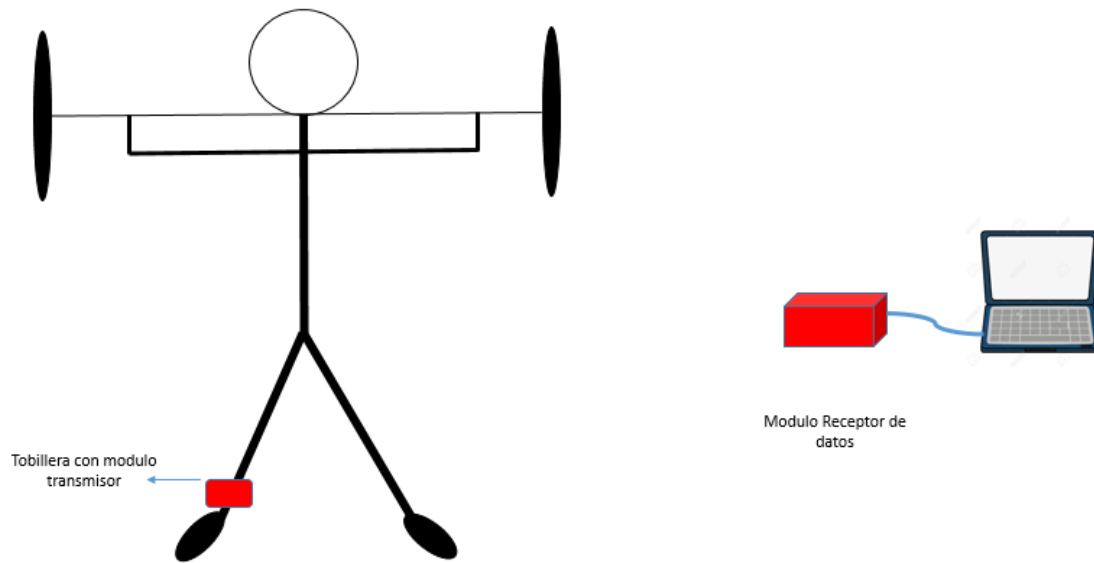


Figura 60. Identificación de Modulo Receptor de Datos  
Fuente: Autoría

El diagrama de conexión del módulo NRF24I01 configurado como receptor se muestra en la figura 61, siendo de esta manera como toma los datos y los transmite a la placa embebida arduino uno para ser interpretada y tomar las decisiones de visualización correspondientes.

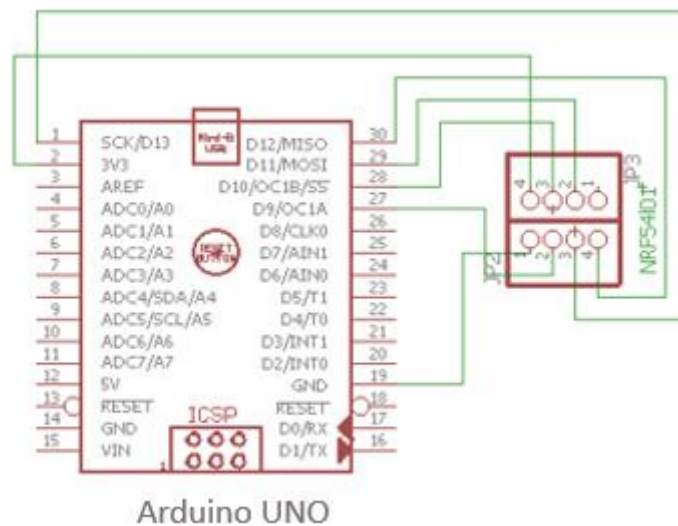


Figura 61. Conexión de Sistema Receptor de Datos  
Fuente: Autoría

La fuente de alimentación de este sistema se determinara en base a la tabla 22, en donde se establecen los requerimientos de consumo de energía, y de correcto funcionamiento siendo alimentado directamente por su puerto USB conectado a una PC.

### **3.4.4 Diseño de Aplicación de Visualización**

El software elegido para realizar una interface de visualización amigable con el usuario, en la cual el ejercicio de sentadilla sea interpretable es Python con su librería de interface gráfica TKinter el cual da varias opciones para la creación de interfaces de control y comunicación con placas embebidas a utilizar.

El sistema de visualización contara con 3 apartados, cada uno distribuido en una pestaña de la ventana principal en la primera se podrá controlar el entrenamiento del ejercicio indicándonos si está bien o mal realizado, en la segunda se tendrá un control de los registro de entrenamiento de los usuarios pudiendo identificar la fecha en la que se realizó el ejercicio, las repeticiones que realizo las mismas que serán identificadas como buenas o malas, y finalmente en la pestaña número tres se tendrá la opción de verificar el manual de usuario y plan de contingencia anti fallos creados para el sistema y establecidos en el anexo 11 y 12 respectivamente.

En la figura 62 se puede observar el diagrama de flujo del programa de visualización utilizado.

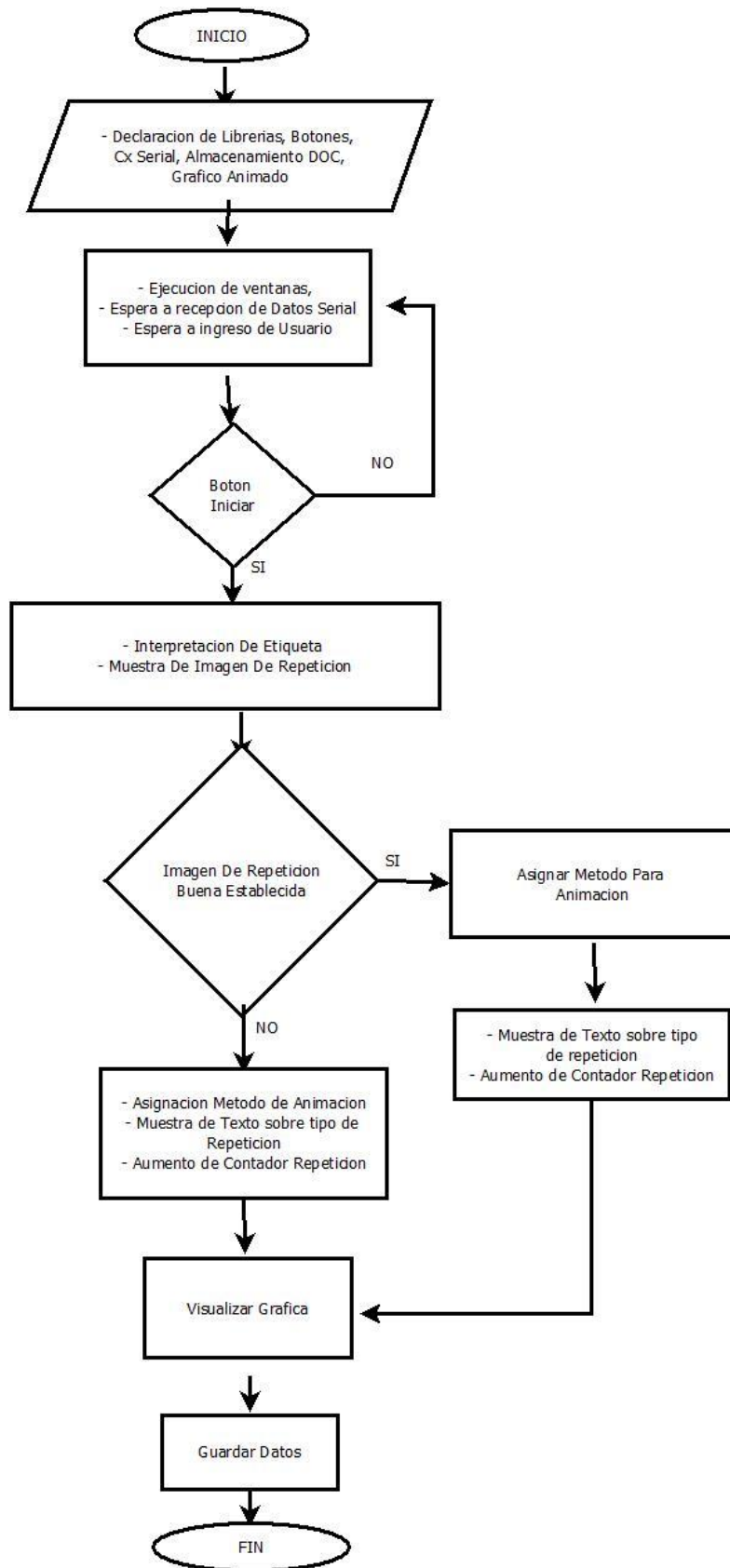


Figura 62. Diagrama de Flujo de Funcionamiento de Aplicación  
Fuente: Autoría

El funcionamiento del apartado de revisión del ejercicio al iniciarse buscara el puerto serie para recibir los datos procesados por el sistema receptor de información, esto gracias a las librerías cargadas dentro del sistema, en el momento en que el usuario tome la posición inicial correcta, comenzara la evaluación y visualización del ejercicio presionando el botón iniciar, habiendo previamente indicado su usuario para así tener registro de su entrenamiento. También se establecen contadores de repeticiones totales, buenas y malas, llevando un mejor control de cada serie. El botón “Ver Repetición” permitirá crear una nueva ventana la cual animara el movimiento de la repetición realizada, permitiendo verificar cual fue el fallo cometido. Cuando se ha terminado el entrenamiento se cuenta con un botón llamado “Desconectar” para poder desconectar el receptor y cerrar la ventana,

La interface de la aplicación se puede observar en la figura 63.



Figura 63. Aplicación DAnkle  
Fuente: Autoría

### 3.4.4.1 Muestra de Repeticiones en el sistema DAnkle

El sistema DAnkle puede interpretar y mostrar todas las posiciones que son tomadas por el sistema receptor de datos y mostrarlas, con una variación de texto o con un cambio de imagen, esto de forma que un usuario pueda interpretar cual fue el fallo y saber cómo corregir dicho fallo, la imagen inicial implementada en el sistema, indica la forma en la que se debe realizar correctamente el ejercicio, posterior a presionar el botón de inicio y realizar la primera sentadilla el sistema determinara unos de los siguientes casos:

- **Sentadilla Bien Realizada con Puntas de Pies Rectos**

Este tipo de sentadilla se puede observar en la figura 64 donde nos indican cual es la imagen y el mensaje que se obtendrá al confirmar que fue una repetición bien realizada, de igual manera aumenta el contador tanto de repeticiones realizadas como de repeticiones buenas.



Figura 64 Sentadilla Bien Realizada  
Fuente: Autoría

- **Sentadilla Bien Realizada con Pies Hacia Afuera**

La figura 65 muestra la imagen y el mensaje que se obtendrá al confirmar que fue una repetición bien realizada con las puntas de los pies hacia afuera, aumentando el contador tanto de repeticiones realizadas como de repeticiones buenas.

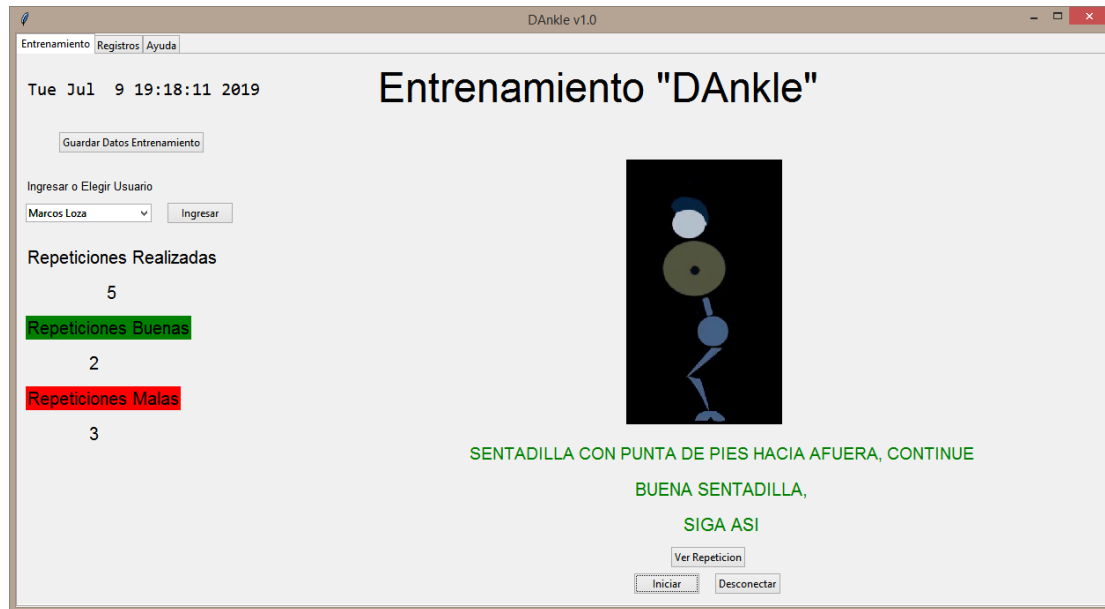


Figura 65. Sentadilla Buena con Puntas Hacia Afuera  
Fuente: Autoría

- **Sentadilla Errónea con Baja Dorsiflexión**

La figura 66 muestra la imagen y el mensaje que se obtendrá al confirmar que fue una repetición del ejercicio mal realizada, en la cual el descenso realizado no es completo y puede causar lesiones en el deportista, de igual forma aumenta el contador tanto de repeticiones realizadas como de repeticiones erróneas.



Figura 66. Sentadilla con Baja Dorsiflexión  
Fuente: Autoría

- **Sentadilla Errónea por Levantamiento de Talón**

La figura 67 muestra la imagen y el mensaje que se obtendrá al confirmar que fue una repetición del ejercicio mal realizada, en la cual el deportista tiende a levantar los talones en cada descenso ya sea por compensar su baja dorsiflexión o por estar ejercitándose con demasiado peso, de igual forma aumenta el contador tanto de repeticiones realizadas como de repeticiones erróneas.



Figura 67. Sentadilla Errónea por Levantamiento de Talón  
Fuente: Autoría

- **Animación de Repetición de Sentadilla**

Como extra a la imagen que permite diferenciar que tipo de repetición se ha realizado, se ha implementado una animación de la repetición de sentadilla realizada, vista en una ventana extra, teniendo casos para una sentadilla bien realizada, mal realizada por dorsiflexión y mal realizada por levantamiento de talón como se muestra en la figura 68.



Figura 68. Animación de Repetición  
Fuente: Autoría



## Capítulo IV

### PRUEBAS Y CONCLUSIONES

En este apartado se describirán en detalle cada uno de los casos de pruebas que se identifican como necesarios para verificar la eficiencia del sistema. Iniciando por las pruebas realizadas al diseño del sistema, continuando con las pruebas de funcionamiento y finalizando con las de requerimientos hacia los usuarios del sistema. Realizando una tabla de revisión para cada apartado que se requiera, del conjunto de casos de pruebas definidos. Para asegurar el correcto despliegue del prototipado. Finalizando con las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la investigación realizada.

#### 4.1 Test de Diseño

En este apartado de test realizados se evaluara el desarrollo y funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema, realizando en cada apartado una descripción e indicando los diferentes resultados obtenidos, además se tendrá tablas de revisión en las que se identificara si los requerimientos han sido cumplidos o no y cuales han sido las novedades que se han encontrado.

##### 4.1.1 Test de Hardware

El test realizado para el análisis del hardware de la tobillera y del receptor de datos se puede observar en la tabla 29.

Tabla 29. Test de Hardware

---

#### Test de Hardware

Descripción:

En esta fase de revisión se pretende comprobar que todos los equipos presentes en la tobillera y el receptor estén en un estado físico adecuado para tener un correcto funcionamiento, verificando su ensamblaje y ubicación dentro del sistema.

---

---

Prerrequisitos:

1. Ubicar elementos electrónicos dentro de los contenedores (Tobillera, Receptor)
2. Revisión de funcionamiento adecuado de los equipos en sus respectivos datasheets.
3. Revisión Visual del estado de los equipos.

Pasos:

1. Verificación de estado de placas electrónicas
2. Revisión de contenedores de equipos
3. Test de Cables, Pulsadores y Conectores
4. Verificación de encendido de los dispositivos
5. Verificación de nivel de temperatura de los equipos tras un tiempo de funcionamiento
6. Análisis de soporte ante vibración o movimientos bruscos de componentes electrónicos

Resultado esperado:

Tras el análisis completo de hardware se espera tener todos los equipos y dispositivos listos para la etapa de programación y toma de datos, además de prevenir posibles errores externos que pueden afectar la programación de los equipos o aun peor la ejecución de las sentadillas en los deportistas del gimnasio de la Universidad Técnica del Norte, perjudicando en su entrenamiento.

Resultado obtenido:

Se elaboró el análisis de hardware en el que se pudo determinar que los equipos se encuentran en correcto estado además se estableció que los contenedores tanto de la tobillera como del receptor tienen una ventilación adecuada evitando el calentamiento de los dispositivos, tampoco estos pueden causar interferencia por el tipo de material del que están fabricados (plástico), brindando de igual forma una estabilidad a todos los componentes que protegen, las placas y componentes presentan una distribución con la cual no se ven afectados entre sí.

---

Fuente: Autoría

En la figura 69 se puede observar el estado de los contenedores de las placas y sensores electrónicos tanto la tobillera como el receptor de datos, y en la tabla 30 se podrá hacer una revisión de las principales características de revisión.



Figura 69. Estado de Tobillera y Receptor de información  
Fuente: Autoría

Tabla 30. Elementos de Verificación de Hardware

Aspecto a ser Revisado	Cumple	No Cumple
Verificación de placas electrónicas, soldaduras	X	
Poco Movimiento de Componentes Electrónicos	X	
Resistencia de Contenedores	X	
Poca Interferencia eléctrica de Contenedores	X	
Buen estado de conectores, cables y pulsadores	X	
Baja Temperatura de elementos electrónicos	X	
Tamaño y peso adecuado	X	

Fuente: Autoría

### 4.1.2 Test de Software

El test realizado para el análisis del software de la aplicación y programación del sistema se puede observar en la tabla 31.

Tabla 31. Test de Software

---

#### Test de software

##### Descripción:

En esta fase de revisión se pretende comprobar que todos los equipos presentes en la tobillera y el receptor tengan un correcto funcionamiento en la toma y análisis de datos, así mismo que el código de programación que se está implementando realice las acciones adecuadas para las que están pensados los distintos sensores y módulos de comunicación.

##### Prerrequisitos

1. Programación de microcontrolador para obtener datos de sensores y envío de datos
2. Programación de alertas auditivas y led
3. Obtención de Imágenes de repeticiones buenas y erróneas de sentadillas
4. Programación en Python

##### Pasos:

1. Verificación de toma de datos de inclinación y giro de tobillo
2. Funcionamiento Oportuno de alertas sonora y led
3. Funcionamiento de algoritmo de aprendizaje autónomo K-NN dentro del sistema de la tobillera
4. Envío y recepción adecuada de datos
- 5 Creación de la aplicación para la muestra del ejercicio.

##### Resultado esperado:

Se espera que el sistema pueda realizar una correcta obtención de los datos necesarios para evaluar el tipo de repetición que se ha realizado, que el envío y la recepción de los datos sea precisa y en el menor tiempo posible para que la evaluación dentro del sistema DAnkle sea rápida y pueda obtener datos reales, que sean amigables y entendibles por el usuario.

---

Resultado obtenido:

En Base a las pruebas realizadas se puede constatar que la toma de datos por parte de los sensores es adecuada y no presenta fallas, de igual manera el funcionamiento del algoritmo de aprendizaje autónomo haciendo la correlación y asignando etiquetas dependiendo el tipo de sentadilla que se realice, de la misma manera las alertas tanto visual como auditiva van de acuerdo a la realización del ejercicio, obteniendo un envío y recepción de información con muy poco retardo, que al ingresar en la aplicación de visualización DAnkle se observa casi inmediatamente.

---

Fuente: Autoría

Para realizar el test de software fue necesario colocarse la tobillera en la pierna derecha y realizar algunas sentadillas como la que se muestra en la figura 70, y luego de aplicar el algoritmo de aprendizaje autónomo podemos obtener los datos que identifican cada repetición de sentadilla la cual se puede observar en la figura 71, en la tabla 32 de igual forma se establece las características de revisión obtenidas de este test.



Figura 70. Pruebas de Software en Tobillera  
Fuente: Autoría

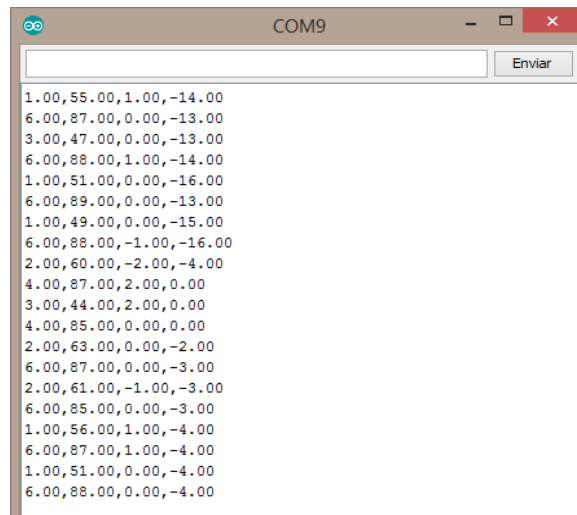


Figura 71. Datos Obtenidos de Análisis de Sentadillas  
Fuente: Autoría

Tabla 32. Elementos de Verificación de Software

Aspecto a ser Revisado	Cumple	No Cumple
Toma de Datos de inclinación	X	
Toma de Datos de Giro	X	
Envío y Recepción de datos	X	
Tiempo de respuesta corto	X	
Implementación de algoritmo de ML	X	
Ejecución correcta de interface de usuario	X	
Correcta ejecución de alertas en diferentes casos	X	

Fuente: Autoría

### 4.1.3 Test Eléctrico

El test realizado para el análisis eléctrico del sistema junto a su cuadro de revisión se puede observar en la tabla 33.

Tabla 33. Test Eléctrico

---

#### Test Eléctrico

##### Descripción:

El test eléctrico nos permitirá que el sistema tenga un funcionamiento correcto en todo sentido y permite aumentar el tiempo de vida de los diferentes elementos electrónicos, ya que en caso de existir fallos en la parte eléctrica, todas las partes del sistema fallan.

##### Prerrequisitos

1. Verificación de valores (Tensión y Corriente) de fuentes de energía
2. Conexiones de transporte y distribución hacia y desde las placas programables
3. Verificar posiciones de dispositivos

##### Pasos:

1. Verificación de encendido de placa programable
2. Verificación de encendido de dispositivos electrónicos.
3. Comprobación de niveles bajos de temperatura de elementos
4. Comprobación de valores de energía en batería portables.
5. Verificación de niveles de voltaje regulados por resistencias.
6. Consumo de energía de LED, Buzzer, Sensor
7. Comprobación de suministro de energía continua hacia dispositivos.

##### Resultado esperado:

Dotar a todos los elementos electrónicos del suministro y distribución de energía en el sistema, con un consumo de energía de la batería portable controlado, mantener una larga duración de tiempo de vida de los dispositivos electrónicos y placa programable, evitar que el sistema sufra fallas durante la realización del ejercicio teniendo el sistema siempre funcional, facilitando la carga de la batería.

---

Resultado obtenido:

La fuente de alimentación implementada dentro del sistema portátil, es completamente suficiente para alimentar todos los componentes que lo conforman, permitiendo que todos ellos realicen sus funciones a la perfección, evitando sobrecalentamientos de los diferentes componentes, además la implementación de un módulo de carga a permitido hacer al sistema más fácil de usar en todo momento, y la duración de la misma cuando está evaluando es un tiempo adecuado para un día entero de entrenamiento.

---

Fuente: Autoría

Las principales verificaciones de este test se las realizo con la ayuda de un multímetro como se muestra en la figura 72, además el ping de carga para la batería de tipo MicroUSB visto en la figura 73, ayuda para que sea cargado con cualquier cargador de teléfono celular de 5V y 1A. En la tabla 34 se establecerá las características de revisión de este test.



Figura 72. Medición con Multímetro  
Fuente: Autoría



Figura 73. Puerto de Carga de Tobillera  
Fuente: Autoría



Tabla 34. Verificación de Test Eléctrico

Aspecto a ser Revisado	Cumple	No Cumple
Verificación de encendido de componentes	X	
Comprobación de temperatura baja	X	
Duración de batería del sistema en funcionamiento	X	
Mediciones de perdidas bajas en la batería	X	
Pruebas de protección anti corto circuitos	X	
Protección anti sobrecarga de la batería	X	
Funcionamiento de batería con Switch encendido	X	

Fuente: Autoría

#### 4.1.4 Test de Aplicación

El test realizado a la aplicación desarrollada en Python para trabajar junto al sistema y los resultados obtenidos se puede observar en la tabla 35.

Tabla 35. Test de Aplicación

Test de aplicación
<p>Descripción:</p> <p>El test de aplicación nos permitirá conocer que opciones debe tener la aplicación de visualización del sistema, además evaluara el envío, recepción e interpretación del ejercicio de sentadilla, haciendo que funcione correctamente.</p> <p>Prerrequisitos</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluar el software</li> <li>2. Evaluar el hardware</li> <li>3. Evaluar el sistema eléctrico</li> </ol> <p>Pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Análisis de datos</li> <li>2. Visualizar los datos.</li> </ol>

- 
3. Listar el número de repeticiones totales, buenas y erróneas de cada deportistas
  4. Visualizar resultados
  5. Desplegar Ayuda

Resultado esperado:

Se espera que el test de aplicación ratifique la conectividad de todo el sistema, y que la aplicación interprete adecuadamente cada repetición y muestre los diferentes casos, con una respuesta en tiempo real y práctica.

Resultado obtenido:

La aplicación realizada presenta un funcionamiento adecuado con respecto a la conectividad que existe entre el sistema de transmisión y el de recepción a una distancia considerable mientras se tenga línea de vista, la transición entre imágenes y texto de la misma se presenta fluida, al igual que el almacenamiento de los datos de entrenamiento, de igual manera se presenta una corrección de posibles errores cuando la comunicación serial se encuentre desconectada y no presenta retardos o bugs.

---

Fuente: Autoría

La interface de la aplicación se puede observar en la figura 74, recibiendo datos por comunicación serial sin problemas e incorporando varias acciones necesarias para el registro del entrenamiento, y en la tabla 36 se puede observar las características que se han confirmado en el test de aplicación.



Figura 74. Interface de Aplicación DAnkle

Fuente: Autoría

Tabla 36. Verificación de Test de Aplicación

Aspecto a ser Revisado	Cumple	No Cumple
Verificación de ejecución rápida	X	
Retardo bajo en cambio de imágenes	X	
Identificación de Usuario	X	
Correcta interpretación de datos	X	
Almacenamiento de datos de usuario	X	

Fuente: Autoría

Al terminar de realizar los diferentes test de diseño se puede evaluar los resultados finales del sistema los cuales se evidencian en la tabla 37.

Tabla 37. Resultados de Test de diseño

Resultados	Observaciones
Toma y análisis de datos de giro e inclinación	La toma de datos se presenta con normalidad en inclinación y giro, pero al realizar repeticiones seguidas el giro puede cambiar provocando un cambio de color del led a rojo.
Ubicación de tobillera	La posición de la tobillera se debe hacer en la pierna derecha para lo cual esta implementado indicativos, el sistema no depende de la altura a la que se ubique la tobillera, pero si se debe tener en cuenta que el sistema debe estar orientado con la punta del pie.
Duración de Batería	Con lo mencionado, la duración de la batería es de 5 horas por lo que en el caso de acabarse esta, en horas inhábiles del gimnasio se podrá hacer la recarga

Fuente: Autoría

## 4.2 Test Funcional

El test del funcionamiento del sistema basado en el test de diseño, junto a su cuadro de revisión se puede observar en la tabla 38.

Tabla 38. Test Funcional

---

### Test Funcional

#### Descripción:

El test de funcionamiento identificara como se desarrolla el sistema en un entrenamiento real, con varias repeticiones buenas y malas poniendo a prueba todo el sistema en conjunto y determinando cual es la tasa de error del mismo.

#### Prerrequisitos

1. Pasar las pruebas de diseño
2. Implementación del sistema en conjunto

#### Pasos:

1. Encendido y tiempo de inicio del sistema.
2. Medición y análisis de ángulos de dorsiflexión y giro
3. Identificación de la alarma sonora y led de acuerdo con parámetros del sensor
4. Visualización del ejercicio.
5. Análisis de errores y aciertos en series de repetición de sentadillas

#### Resultado esperado:

Se espera que el sistema se encienda de una forma normal, los sensores tomen los datos de forma correcta para y funcione adecuadamente el algoritmo de aprendizaje para de esa forma accionar la alertas en caso de mala ejecución del ejercicio y posteriormente los usuarios puedan corregir su ejecución de las sentadillas profundas.

#### Resultado obtenido:

Durante la realización del test se pudo evidenciar que la colocación de la tobillera es fácil y rápida, además el encendido del sistema es fácil, el tiempo de inicio proporcionado por el sistema es suficiente para que se pueda iniciar el sistema de visualización y se tome la posición inicial con la barra, la toma de datos, las alarmas en repeticiones buenas y malas

---

son adecuadas en tiempo real y la visualización es rápida y amigable por lo que se hace fácil de comprender, el análisis de errores obtenidos se establece en la tabla 36. En donde la fiabilidad del sistema es de 90%.

Fuente: Autoría

La tabla 39 muestra los errores producidos por el sistema en la ejecución de repeticiones de sentadillas buenas y malas, con un total de 30 repeticiones de las cuales 2 fueron erróneas, 1 de ellas en el levantamiento de talón y una en una repetición buena. Dando así una fiabilidad del 93.3%. lo que indica que los errores más comunes se darán cuando los datos se encuentren en los límites de los tipos de repeticiones. Esta mejora en la toma de datos del ejercicio cuando se realiza de una manera pausada.

Tabla 39. Errores en Realización de Sentadillas

Numero de Repeticiones	Aciertos	Errores
10 Repeticiones bien realizadas	9	1
10 Repeticiones con baja Dorsiflexión	10	0
10 Repeticiones con levantamiento de talón	9	1

Fuente: Autoría

La tabla 40 muestra las verificaciones de los parámetros evaluados en el test funcional.

Tabla 40. Verificación de Parámetros de Test Funcional

Aspecto a ser Revisado	Cumple	No Cumple
Colocación y encendido del sistema	X	
Tiempo de inicio	X	
Toma de datos y clasificación con ML	93.3%	
Envío y recepción de datos	X	
Visualización y funcionamiento de aplicación	X	

Fuente: Autoría

La figura 75 muestra las pruebas funcionales realizadas en el gimnasio de la Universidad Técnica del Norte.



Figura 75. Ejecución de Sentadillas con Sistema  
Fuente: Autoría

### 4.3 Test de Requerimientos

El test final de requerimientos del sistema junto a su cuadro de revisión se puede observar en la tabla 41.

Tabla 41. Test de Requerimientos

---

#### Test de Requerimientos

Descripción:

El test de requerimiento ayudara a realizar pruebas del diseño del prototipo basado en los requerimientos de usuario, haciendo que se fácil de utilizar y que ayude en realidad a los deportistas del club de fisicoculturismo.

Prerrequisitos

1. Haber pasado el test de diseño
2. Haber pasado el test de funcionalidad
3. Prototipo funcional

Pasos:

1. Verificar facilidad de uso del sistema
  2. Verificar robustez
-

- 
3. Verificar comodidad
  4. Funcionalidad
  5. Verificar sistema de alarma sonora (claridad del sonido)
  6. Verificar que la aplicación sea intuitiva

Resultado esperado:

Cumplir con todos los requerimientos del entrenamiento para que el sistema se pueda implementar. En la rutina diaria de entrenamiento, de una manera fácil y práctica, tomando en cuenta situaciones de entrenamiento cotidiano.

Resultado obtenido:

Se pudo comprobar que el sistema es fácil de implementar por parte de los deportistas, además que se acomodaba a la gran variedad de anchos de tobillos y pantorrillas, siendo cómodo por la forma curva que presenta el prototipo, durante la realización del ejercicio como se mencionó en la tabla 36 la exactitud del prototipo es de un 90%, aumentando este valor cuando la sentadillas no se realizan de manera demasiado seguida, caso que se descarta por el peso que levantan los deportistas.

---

Fuente: Autoría

La tabla 42 identifica las verificaciones de los aspectos evaluados en el test de requerimientos.

Tabla 42. Verificación de Test de Requerimientos

---

Aspecto a ser Revisado	Cumple	No Cumple
Facilidad de uso, robustez y comodidad	X	
Funcionalidad	X	
Audición de alertas	X	
Aplicación Intuitiva	X	

---

Fuente: Autoría

#### 4.4 Conclusiones

- Los aspectos biomecánicos del tobillo durante una sentadilla profunda que son estudiados a través de una investigación de literatura amplia, son ciertamente complementados por la observación propia del ejercicio y por conversaciones con profesionales en el campo del entrenamiento físico, para así establecer aspectos generales a tomar en cuenta durante el diseño de un sistema que se acople al cuerpo humano.
- Los diferentes movimientos compensatorios producidos por el cuerpo al realizar una sentadilla profunda erróneamente, son la base para identificar las falencias principales en la realización de dicho ejercicio y permitir así controlarlas a través de un sistema de monitoreo de entrenamiento continuo.
- El seguimiento de un modelo de investigación en V, permite definir de manera organizada el diseño de un sistema electrónico de evaluación, trabajando en todos los aspectos técnicos y de stakeholders, así como para elegir componentes de hardware y software en base al estándar IEEE 29148, los cuales puedan superar todas las fases de pruebas que requiere el modelo de investigación.
- La realización de una tobillera a partir de una impresión 3D, permite acoplar el sistema de toma de datos a un soporte ergonómico el cual es fácilmente utilizable y adaptable para todo tipo de tobillo u pantorrilla de los deportistas del club de físico culturismo.
- El algoritmo de aprendizaje autónomo K-NN para funcionar de una manera óptima no debe analizar datos innecesarios, ya que estos son catalogados como ruido lo que puede provocar fallos en la asignación de las diferentes clases, mediante la implementación de filtros de estos valores se puede obtener una normalización del algoritmo, produciendo retardos mínimos en el análisis de cada repetición.



- Las bases de datos de entrenamiento como de pruebas dentro del algoritmo K-NN no requieren ser excesivamente grandes, siendo más importante que los datos que la conforman deben ser claros y presentar diferencias entre ellos.
- La utilización de un módulo de carga para la batería tipo lipo que alimenta los componentes electrónicos de la tobillera, facilita la utilización del prototipo, pudiendo ser recargado con cualquier cargador de teléfono celular con puerto MicroUSB y protegiendo a la batería y al circuito ante cortos y sobrecargas.
- Mediante la etapa de observación del ejercicio de sentadilla en el gimnasio de la Universidad Técnica del Norte, se pudo verificar que algunos de los integrantes del club de fisiculturismo tienden a realizar movimientos innecesarios en sus pies al iniciar cada repetición, lo que provoca errores en la ejecución de la técnica y necesitan ser advertidos de dichos movimientos innecesarios.

#### **4.5 Recomendaciones**

- La realización de un manual de usuario del sistema DAnkle es indispensable para que este tenga un correcto manejo por parte de sus usuarios, y a la vez presentar una explicación personal de cómo se debe utilizarlo.
- Los componentes electrónicos que se encuentran dentro de las protecciones del sistema deben estar bien sujetos para así evitar fallos por vibraciones, además los componentes deberán estar soldados a una placa para evitar fallos por cables.
- El prototipo a pesar de tener una muy buena resistencia ante el manejo no puede entrar en contacto directo con agua ni recibir golpes fuertes ya que esto puede dañar los componentes internos.
- La gran variedad de proyectos tecnológicos que se presentan por parte de tesistas o investigadores deben tener una continuación de ser necesario para así evitar que proyectos innovadores pierdan fuerza.
- La utilización de elementos open source en hardware y software facilita la implementación de este tipo de proyectos, además que dan la oportunidad de crear aplicaciones que puedan ser ejecutadas en una gran variedad de plataformas y sin necesitar de grandes requerimientos.

## Bibliografía

- Angulo, P., Caceres, B., & Cuenca, M. (2014). *EFICACIA DE LA INTERVENCIÓN EDUCATIVA SOBRE ERGONOMÍA FÍSICA, APLICADA EN EL DESPEGUE DE LA MODALIDAD DE ARRANQUE EN LOS NIÑOS, NIÑAS Y ADOLESCENTES QUE PRACTICAN HALTEROFILIA EN LA FEDERACIÓN DEPORTIVA DEL AZUAY*. Cuenca: Escuela de Tecnología Médica.
- Areaid. (2017). *Sensor KY-20*. Obtenido de Arduino Modules:  
<http://arduinomodules.info/ky-20-module/>
- Balsalobre, C., & Jiménez, P. (2014). *Entrenamiento de fuerza, nuevas perspectivas metodológicas*. Madrid: 1Ed.
- Bernstein, N. (1975). *Bewegungsphysiologie*. J. A. Barth Leipzig.
- Braña, J., & Cote, J. (2003). *Modulo de adquisicion de datos configurable*. Bucaramanga.
- Campo, D., Vasquez, M., Faulkner, I., & Gonzáles, E. (2017). *RIC · Vol. 3 - N.0 1 · Junio · 2017* *Revista de Iniciación Científica Journal of Undergraduate Research* *Diseño y construcción de un prototipo robótico de un automóvil para transporte personal y económico con la tecnología Arduino*. Panama.
- Canto, A. (2007). La aplicación de la biomecánica al entrenamiento deportivo mediante los análisis cualitativos y cuantitativos. Una propuesta para el lanzamiento de disco. *Revista internacional de ciencias del deporte*, 49-55.
- Chato, L., & Moya, D. (2017). *Análisis biomecánico de la técnica de sentadilla en los fisicoculturistas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE)*. Quito.
- Comfort, P., & Kasim, P. (2007). Optimizing squat technique. *Strength and conditional Journal*.
- Contreras, F. (2006). *La Técnica Deportiva*. Universidad de Leon.
- ESPRESSIF. (2017). *Texas Instrument*. Obtenido de  
[http://www.alldatasheet.com/view\\_datasheet.jsp?Searchword=ESP8266](http://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=ESP8266)
- Fernández de Pinedo. (1987). *Ergonomía. Condiciones de trabajo y calidad de vida*. Majadahonda.
- Ferro, S., & Floria, M. (2016). La aplicación de la biomecánica al entrenamiento deportivo mediante los análisis cualitativos y cuantitativos. *Revista internacional de ciencias del deporte*, 49-80.
- Fetter, W. (2009). *Filtro de Kálmán*.
- Floyd, R., & Thompson, C. (2004). *Manual of structural kinesiology*. Boston: McGraw-Hill.

- Garavito, E. C. (2015). *Laboratorio de Condiciones de trabajo. Antropometria*. Obtenido de [http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2956\\_antropometria.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2956_antropometria.pdf)
- García, C. (2015). *Algoritmos de aprendizajes KNN y KMEANS*. Madrid.
- Gianikellis, K., Pantrigo, J., & Tena, J. A. (2012). *Diseño y desarrollo del paquete informático BiomSoft para análisis Biomecánicos*.
- Gorsuch, J., Long, J., Miller, K., Rutledge, S., Sossong, A., & Durocher, J. (2012). *The effect of squat depth on multiarticular muscle activation in collegiate cross-country runners*.
- Guamán, E., & Bermeo, J. (2017). *Diseño e implementación de la instrumentación para la caracterización de la biomecánica de la extremidad inferior en sujetos sanos*. Salgolquí.
- Guimbao, G. (2017). *ASIMETRÍAS EN EL CROSSOVER HOP TEST FOR DISTANCE EN JUGADORES DE FÚTBOL*. Grupo Sanvalero.
- (2014). *Guzman, Cesar; Carrera, Jose; Blanco, Andres; Oliver, Marco; Gomez, Fabio*. México : Scielo.
- Instrument, T. (2017). *AllDataSheet*. Obtenido de [http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Mpu-6050%20datasheet&gclid=CjwKCAjwx\\_boBRA9EiwA4kIELqi5KWhfYY9qKfWhRH7LvhytxDGathzPs67UpO6lhY-ODWypy47RnxoC3FEQAvD\\_BwE](http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Mpu-6050%20datasheet&gclid=CjwKCAjwx_boBRA9EiwA4kIELqi5KWhfYY9qKfWhRH7LvhytxDGathzPs67UpO6lhY-ODWypy47RnxoC3FEQAvD_BwE)
- Jiménez, M. (2007). *Resultado funcional del manejo quirúrgico de las fracturas cerradas bimalleolares y trimaleolares de tobillo*. Managua.
- Julio, G. (s.f.). *Ejercicios de Estiramiento*. Obtenido de SLD: [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-ejer/estiramientos\\_1.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-ejer/estiramientos_1.pdf)
- Kalantar-zadeh, K. (2013). *Sensor - An Introductory Course*. Melbourne: Springer.
- Kapandji, I. (1998). *Fisiología Articular: esquemas comentados de mecánica humana (tomo 2)*. Madrid: Médica Panamericana.
- Lavorato, M., & Vigario, N. (2008). *La sentadilla, Un ejercicio potencialmente lesivo*. Buenos Aires: Fortia.
- Linares, J. (2016). *Graficos por Computadora*.
- LLanos, L., & Angulo, M. (1997). *Patomecánica del complejo articular periastragalino*. Biomecánica.
- Lucero, P. (2014). *Diseño, experimentación y evaluación de prácticas en el área de ergonomía, modelado biomecánico y análisis de movimiento para un laboratorio de ingeniería biomédica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca*. Cuenca.

- Martínez Miquel, A. X. (1991). La Ergonomía, Otro campo de aplicación de la biomecánica. En *Educación Física y Deportes* (págs. 79-86).
- Maximo, O. (2016). *LA SENTADILLA EN EL DESARROLLO DE HABILIDADES BÁSICAS EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA DE LA UNIDAD EDUCATIVA MAYOR HORACIO ZURITA BAYAS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL*. Guayaquil.
- Mondelo, P., Torada, E. G., & Bombardó, P. B. (2010). *Ergonomía I. Fundamentos*. Catalunya: Univ. Politèc. de Catalunya.
- Monteagudo, D. I., & Villardefrancos, G. (2007). *Artrodesis frente a artroplastia en el tobillo traumático indicaciones*. MC. Medical.
- Narváez, G. (2014). *Mediciones Antropométricas. Catalogo Kit de Antropometría*. Labemorf.
- Nitsh, J., Neumaier, A., Márees, H., & Mester, J. (2002). *Entrenamiento de la Técnica, Contribuciones para un enfoque interdisciplinario*. Barcelona.
- OMS. (23 de Enero de 2015). *Temas de salud*. Obtenido de <http://www.who.int/topics/es/>
- Pachuca, I. T. (2011). *Clasificación de la Hergonomía*. Obtenido de Pachuca, Mexico: <http://www.slideshare.net/iorifoar/clasificacion-de-laergonomia>
- Palastanca, F. S. (2000). *Anatomía y movimiento humano*. Barcelona: Paidotribo.
- Pereira, G., & Fernandez, B. (2016). Incidencia de la contextualización en la adquisición de los elementos técnicos - tácticos del Karate Do durante la iniciación deportiva. *Educación Física, Deporte y Recreación*, 59-63.
- Phillips, B. (2015). *CONSECUENCIAS PATOLÓGICAS DE LA LIMITACIÓN EN LA DORSIFLEXIÓN DE TOBILLO*. Coruña.
- Rodríguez, K., Zoquez, A., Corrales, R., & Manzo, Y. (2017). ANÁLISIS BIOCINEMÁTICO DE LA EJECUCIÓN DEL ARRANQUE EN LEVANTADORAS DE PESAS ESCOLARES DE GRANMA. *OLIMPIA*, 62-74.
- Sánchez, S., Navarro, R., García, R., Brito, E., & Ruiz, J. (2011). *Bases Biomecánicas del Tobillo*. Canarias Médica y quirúrgica.
- Santafe, Y., Chaparro, B., & Franco, J. (2013). DETECCIÓN DE PATRONES CARACTERÍSTICOS CON TRANSFORMADAS WAVELET EN SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS DEL CUADRICEPS. *Tecnología de avanzada*, 152-158.
- Sará, A. (2005). Formula para el cálculo de la muestra de investigaciones. *Salubtab*.
- TexasInstrument. (2017). *AllDataSheet*. Obtenido de [http://www.alldatasheet.com/view\\_datasheet.jsp?Searchword=NRF24L01](http://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=NRF24L01)
- TexasInstrument. (2017). *AllDataSheet*. Obtenido de [http://www.alldatasheet.com/view\\_datasheet.jsp?Searchword=ESP8266](http://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=ESP8266)

TexasInstrument. (2017). *AllDataSheet*. Obtenido de

[http://www.alldatasheet.com/view\\_datasheet.jsp?Searchword=NRF24L01](http://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=NRF24L01)

Vargas, D., Bustamante, G., & Terry, M. (2016). *TÉCNICA DE SENTADILLA Y SU INCIDENCIA EN EL RENDIMIENTO DEPORTIVO DE LA SELECCIÓN FEMENINA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA DE LA FEDERACIÓN DEPORTIVA DE LOS RÍOS*. Babahoyo.

Walter, M., & Townsend, R. (2007). *The Front Squat and Its Variations*. *Strength and Conditioning Journal*.

Zaragoza, K., & Fernández, S. (2015). Ligamentos y tendones del tobillo: anatomía y afecciones más frecuentes analizadas mediante resonancia magnética. México.

## Glosario de Términos y Acrónimos

**Ergonomía:** Ciencia que estudia las condiciones de adaptación de un lugar u objeto.

**Cuádriceps:** Musculo que está situado en la zona anterior al muslo.

**Isquiotibiales:** Grupo muscular ubicado cerca de la tibia.

**Rack:** Maquina en la cual se deposita la barra para realizar sentadillas

**Periastragalino:** Complejo Articular ubicado en el tobillo de las personas

**Tibiotarsiana:** Articulación encargada de la totalidad de los movimientos del tobillo

**Tibioperoneoastragalina:** Complejo articular formada por la articulación Tibiotraciana y el complejo periastragalino.

**Dorsiflexión:** Rango de flexión que alcanza el tobillo con respecto a la parte superior del pie.

**Electro goniómetros:** Herramienta que sirve para medir valoración de ángulos articulares.

**RF:** Radio Frecuencia

**Sensores:** Dispositivos que captan magnitudes físicas y las convierten a valores legibles por el humano.

**K-NN:** K Nearest Neighbor (K vecinos cercanos), Algoritmo de aprendizaje maquina basado en instancias y etiquetas.

**SVM:** Maquina de Soporte Vectorial (Support Vector Machine)

**ML:** Machine Learning (Aprendizaje Máquina)

**IDE:** Software visual de programación

**Tkinter:** Librería utilizada para la construcción de interfaces graficas en el lenguaje de programación Python.

**Stakeholders:** Partes o individuos involucrados o interesados en la construcción u organización de un Proyecto.

**Buzzer:** Dispositivo electrónico que emite un sonido.

**Led:** Foco de alta luminosidad

**Datasheet:** Ficha técnica que resume el funcionamiento y característica de elementos eléctricos y electrónicos.

**RGB:** Acrónimo de Red, Green, Blue. Utilizado en led que pueden manejar dichos colores.

**DAnkle:** Nombre proporcionado al sistema de evaluación de dorsiflexión de tobillo descrito en la presente investigación

**LIPO:** Abreviatura de Litio y Polímero que se le asigna a cierto grupo de baterías.

**BDD:** Acrónimo que se le da a una Base de Datos

**UTN:** Universidad Técnica del Norte



## Anexos

### Anexo 1. Programación del Sistema

- **Sistema implementado en el Tobillo**

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include "MPU6050.h"
#define MPU 0x68 // Direccion I2C del MPU-6050
MPU6050 sensor;
//Librerías de módulo de comunicación
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
//Declaremos los pines CE y el CSN pines de comunicación
const int pinCE = 9;
const int pinCSN = 10;
//Variable con la dirección del canal por donde se va a transmitir
const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL;
int gx, gy, gz;
long tiempo_prev, dt;
float girosc_ang_x;
float girosc_ang_x_prev;
double AcX,AcY,AcZ;
int Pitch, Roll;
//creamos el objeto radio (NRF24L01)
RF24 radio(pinCE, pinCSN);
float data[4];
int buz=2; // Pin buz
int b = 3; // Pin PWN 11 para led rojo
int g = 6; // Pin PWM 10 para led azul
int r = 5; // Pin PWM 9 para led verde
int x=0, y=0, z=0; //variables para sonido y led
//variables para guardar datos de impresion
int inicio = 15000;
int Sup, Vdown, Vdown1 = 0;
```

```

int Sdown;
int punta=0;
int u, v, i, j, p, q,k = 0;//variables para imprimir una sola vez
void setup(){
  //inicializamos el NRF24L01
  radio.begin();
  Serial.begin(9600);
  //Abrimos un canal de escritura
  radio.openWritingPipe(pipe);
  Wire.begin();      //Iniciando I2C
  init_MPU(); // Inicializamos el MPU6050
//Declaracion de Pines
  pinMode(buz, OUTPUT);
  pinMode(r, OUTPUT);
  pinMode(g, OUTPUT);
  pinMode(b, OUTPUT);
}
void loop()
{
//Método Tiempo de Inicio
  if(millis() < inicio)
  {
    digitalWrite(buz , HIGH); // poner el Pin en HIGH
    delay(100);           // esperar un segundo
    digitalWrite(buz , LOW); // poner el Pin en LOW
    delay(2000);
  }
  if(millis() >= inicio)
  {
    // Leer las velocidades angulares
    sensor.getRotation(&gx, &gy, &gz);
    // Adquirimos los ejes AcX, AcY, AcZ.
    FunctionsMPU();
    //Metodos de alerta

```

```

posini();
sonido();
talon();
//Calcular los angulos de giro:
dt = millis()-tiempo_prev;
tiempo_prev=millis();
girosc_ang_x = (gx/131)*dt/1000.0 + girosc_ang_x_prev;
girosc_ang_x_prev=girosc_ang_x;
//Calculo de angulos de inclinacion
Roll = FunctionsPitchRoll(AcX, AcZ, AcY); //Calculo del angulo del Roll
Pitch = FunctionsPitchRoll(AcZ, AcX, AcY); //Calculo del angulo del Pitch
//Metodo de discriminacion de datos de medicion
if(Roll >= 82){
  Sdown = Roll;
  x, y, j = 0;
  punta = girosc_ang_x;
  if(u==0)
  {
    Vdown = Sdown;
    Serial.print(Vdown);
    Serial.print(",");
    Serial.print(punta);
    Serial.print(",");
    Serial.print(Pitch);
    Serial.print("\n");
    u=1;
    v=1;
    if(punta>=0 && punta <=8)
      {
        p=4;
      }
    if(punta>10)
      {
        p=5;

```

```

    }
    if(punta<=-1)
    {
        p=6;
    }
    //añadir datos a los vectores
    data[0]= p;
    data[1]= Vdown;
    data[2]= Pitch;
    data[3]= punta;

    radio.write(data, sizeof data);
}
}
if(Roll < 80)
{
    if(v==1){
        Vdown1 = Roll;
        v=2;
    }
    if(Roll < Vdown1)
    {
        v=1;
    }
    if(Roll > Vdown1 && v==2)
    {
        if(j==0)
        {
            //Vdown=0;
            Vdown=Vdown1;
            // punta = girosc_ang_x;
            Serial.print(Vdown);
            Serial.print(",");
            Serial.print(punta);

```

```

Serial.print(",");
Serial.print(Pitch);
Serial.print("\n");
j=1;
v, u = 0;
if(Vdown <= 59 && Vdown >= 49 )
{
  p=1;
}
if(Vdown>59 && Vdown<=78)
{
  p=2;
}
if(Vdown < 49)
{
  p=3;
}
//añadir datos a los vectores
data[0]= p;
data[1]= Vdown;
data[2]= Pitch;
data[3]= punta;
radio.write(data, sizeof data);
}
}
}
delay(300);
}
}
//Metodo inicio de sensor MPU
void init_MPU(){
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x6B); // PWR_MGMT_1 register

```

```

Wire.write(0); // Seteamos a cero (wakes up - Despertamos el MPU-6050)
Wire.endTransmission(true);
}
//Funcion para el calculo del angulo Pitch y Roll
double FunctionsPitchRoll(double A, double B, double C){
    double DatoA, DatoB, Value;
    DatoA = A;
    DatoB = (B*B) + (C*C);
    DatoB = sqrt(DatoB);
    Value = atan2(DatoA, DatoB);
    Value = Value * 180/3.14;
    return (int)Value;
}
//Función para adquirir los ejes X, Y, Z del MPU6050
void FunctionsMPU(){
    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x3B); // Empezamos con el registro 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
    Wire.endTransmission(false);
    Wire.requestFrom(MPU,6,true); // requerimos un total de 6 registers
    AcX=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C
    (ACCEL_XOUT_L)
    AcY=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E
    (ACCEL_YOUT_L)
    AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E
    (ACCEL_YOUT_L)
}
//Metodo de alertas
void sonido()
{
    if(Vdown >= 75)
    {
        i=0;
    }
    if(Vdown <= 59 && Vdown >= 49)

```

```

{
  i=0;
  //condicion para que este bien la sentadilla
  //color verde
  analogWrite(r,0); // Se apaga color rojo
  analogWrite(g,255); // Se enciende color verde
  analogWrite(b,255); // Se enciende color azul

}
if(Vdown>59 && Vdown<=78)//angulo minimo en sentadilla para que sea mala ejecucion
{
  //color rojo
  if(i==0)
  {
    //color rojo
    analogWrite(r,255); // Se enciende color rojo
    analogWrite(g,255); // Se enciende color verde
    analogWrite(b,0); // Se apaga color azul
    digitalWrite(buz , HIGH); // poner el Pin en HIGH
    delay(300); // esperar un segundo
    digitalWrite(buz , LOW); // poner el Pin en LOW
    i=1;
  }
}
}
//Metodo analisis de giro de puntas de pies
void posini()
{
  if(punta>=0 && punta <=8)
  {
    analogWrite(r,0); // Se apaga color rojo
    analogWrite(g,0); // Se apaga color verde
    analogWrite(b,255); // Se enciende color azul
  }
}

```

```

if (punta>30)
{
    //color rojo
    analogWrite(r,255); // Se enciende color rojo
    analogWrite(g,255); // Se enciende color verde
    analogWrite(b,0); // Se apaga color azul
}
if(punta<=-1)
{
    analogWrite(r,0); // Se apaga color rojo
    analogWrite(g,255); // Se enciende color verde
    analogWrite(b,255); // Se enciende color azul
}
}
//Metodo analisis de talon
void talon ()
{
    if(Vdown < 49 && Pitch >= 13 && Pitch <= -13)
    {
        if(Roll >= 75)
        {
            k=0;
        }
        if(k==0)
        {
            //color rojo
            analogWrite(r,255); // Se enciende color rojo
            analogWrite(g,255); // Se enciende color verde
            analogWrite(b,0); // Se apaga color azul
            digitalWrite(buz , HIGH); // poner el Pin en HIGH
            delay(300); // esperar un segundo
            digitalWrite(buz , LOW); // poner el Pin en LOW
            k=1; } } }

```



- **Programación Aplicación de Visualización DAnkle**

```

# Importar Librerias
from tkinter import *
from time import sleep
from tkinter.ttk import *
import time
import serial
import numpy as np
import pylab as windows
import pandas as pd
import pygame
from datetime import datetime
#Declaracion de gif
global animation
#Metodo para hora
def hora():
    global tiempo
    tiempo1 = time.strftime('%c')
    if tiempo != tiempo1:
        tiempo = tiempo1
    reloj.configure (text=tiempo1)
    reloj.after(500,hora)
# Metodo para toma de datos serial
def DatosSerie():
    r1 = 0
    r2 = 0
    r3 = 0
    global arduino
#Metodo analisis de datos y cambio de imagenes
    #arduino.close()
    arduino = serial.Serial('COM9',9600,timeout=0, writeTimeout=0)
    while 1:
        dato = arduino.readline()
        tipo = dato[0:1]

```

```

#print(tipo)
#TIPO DE SENTADILLA
if tipo == (b'1'):
    img1['file']="bien1.gif"
    lblsm1 ['text'] = "BUENA SENTADILLA,"
    lblsm2 ['text'] = "SIGA ASI"
    r1 = r1 + 1
    r2 = r2 + 1
    btnE['command']= ejercicio1
    # print(r1)
if tipo == (b'2'):
    img1['file']="mal1.gif"
    lblsm1 ['text'] = "NO SE HA REALIZADO UN DESENSO COMPLETO,"
    lblsm2 ['text'] = "BAJE MAS EN SU SENTADILLA"
    r1 = r1 + 1
    r3 = r3 + 1
    btnE['command']= ejercicio2
if tipo == (b'3'):
    img1['file']="talon.gif"
    lblsm1 ['text'] = "TENGA CUIDADO, SUS TALONES SE HAN ELEVADO DEL
SUELO, "
    lblsm2 ['text'] = "REDUSCA EL PESO DE LA BARRA"
    r1 = r1 + 1
    r3 = r3 + 1
    btnE['command']= ejercicio3
#POSICION DE PIES
if tipo == (b'4'):
    lblsp ['text'] = "SENTADILLA CON PUNTA DE PIES RECTOS, CONTINUE"
if tipo == (b'5'):
    lblsp ['text'] = "CORRIJA, LAS PUNTAS DE LOS PIES ESTAN HACIA DENTRO"
if tipo == (b'6'):
    lblsp ['text'] = "SENTADILLA CON PUNTA DE PIES HACIA AFUERA,
CONTINUE"
rr = r1

```

```

    rb = r2
    rm = r3
    rr1.set(rr)
    rb1.set(rb)
    rm1.set(rm)
    windows.update()
    sleep(0.3)
#Método animación de repetición buena
def ejercicio1():
    animation = pyglet.image.load_animation('bienfin.gif')
    animSprite = pyglet.sprite.Sprite(animation)
    w = animSprite.width
    h = animSprite.height
    window = pyglet.window.Window(width=w, height=h, caption='Repeticion')
    r,g,b,alpha = 0.0,0.5,0.8,0.5
    pyglet.gl.glClearColor(r,g,b,alpha)
    @window.event
    def on_draw():
        window.clear()
        animSprite.draw()
    pyglet.app.run()
#Método animación de repetición mala
def ejercicio2():
    animation = pyglet.image.load_animation('malfin.gif')
    animSprite = pyglet.sprite.Sprite(animation)
    w = animSprite.width
    h = animSprite.height
    window = pyglet.window.Window(width=w, height=h, caption='Repeticion')
    r,g,b,alpha = 0.0,0.5,0.8,0.5
    pyglet.gl.glClearColor(r,g,b,alpha)
    @window.event
    def on_draw():
        window.clear()
        animSprite.draw()

```

```

    pygame.app.run()
#Método animación de repetición mala talón
def ejercicio3():
    animation = pygame.image.load_animation('talfin.gif')
    animSprite = pygame.sprite.Sprite(animation)
    w = animSprite.width
    h = animSprite.height
    window = pygame.window.Window(width=w, height=h, caption='Repeticion')
    r,g,b,alpha = 0.0,0.5,0.8,0.5
    pygame.gl.glClearColor(r,g,b,alpha)
    @window.event
    def on_draw():
        window.clear()
        animSprite.draw()
    pygame.app.run()
def ejercicio():
    global ventana
    ventana = Toplevel(windows)
    ventana.title("Repeticiones")
    ventana.geometry("200x100")
    Label(ventana, text="Aun no a Realizado").pack()
    Label(ventana, text="Ninguna Repetición").pack()
    Button(ventana, text="Cerrar", command=borrar).pack()
#Método iniciar comunicación serial
def conectar():
    windows.after(300, DatosSerie)
#Método cerrar aplicación
def desconectar():
    #arduino.stop()
    windows.destroy()
    #arduino.restart()
#Método crear usuario
def usuario():
    nameu = list(user['values'])

```

```

    user['values'] = nameu + [user.get()]
#Método guardar datos de entrenamiento
def datos():
    data = {'Fecha': [tiempo], 'Repeticiones': [rr1.get()],
           'Buenas': [rb1.get()], 'Malas': [rm1.get()]}
    df = pd.DataFrame(data, columns = ['Fecha', 'Repeticiones', 'Buenas', 'Malas'])
    df.to_csv('Reportes.csv', sep=',')
#Método visualizar datos de entrenamiento
def vercsv():
    global df
    df = pd.read_csv('Reportes.csv',
                    skiprows=1,
                    names=['Fecha', 'Repeticiones', 'Buenas', 'Malas'],
                    index_col='Fecha')

    print(df)
    dat.set(df)
#Creación de ventana
windows = Tk()
windows.title("DAnkle v1.0")
windows.geometry('1240x650')
#Creacion de pestañas
tab_control = ttk.Notebook(windows)
tab1 = ttk.Frame(tab_control)
tab2 = ttk.Frame(tab_control)
tab3 = ttk.Frame(tab_control)
tab_control.add(tab1, text='Entrenamiento')
tab_control.add(tab2, text='Registros')
tab_control.add(tab3, text='Ayuda')
#Etiqueta inicial
lbl1 = Label(tab1, text= 'Entrenamiento "DAnkle"', font=("Arial Bold", 35))
lbl1.place(x=660, y=10, anchor="n")
#Muestra de reloj
tiempo=""
reloj = Label(tab1, font=('Consolas', 15))

```

```

reloj.pack()
reloj.place(x=10, y=40, anchor="w")
#Guardar Datos
btnG = Button(tab1, text="Guardar Datos Entrenamiento", command = datos)
btnG.place(x=130, y=100, anchor="center")
#Nombre de Usuario
lblu = Label(tab1, text= 'Ingresar o Elegir Usuario', font=("Arial Bold", 10))
lblu.place(x=10, y=150, anchor="w")
user = Combobox(tab1)
user['values'] = ("", "Anderson Carrera", "Marcos Loza", "Pablo Hurtado")
user.current(0) #set the selected item
user.place(x=10, y=180, anchor="w")
user.get()
#Declaración botones
btnU = Button(tab1, text="Ingresar", command = usuario)
btnU.place(x=170, y=180, anchor="w")
#Boton de conectar, desconectar, ver ejercicio
btnC = Button(tab1, text="Iniciar",command = conectar)
btnC.place(x=700, y=600, anchor="w")
btnD = Button(tab1, text="Desconectar", command = desconectar)
btnD.place(x=830, y=600, anchor="center")
btnE = Button(tab1, text="Ver Repeticion", command = ejercicio)
btnE.place(x=785, y=570, anchor="center")
#Número de Repeticiones
rr1 = StringVar()
rb1 = StringVar()
rm1 = StringVar()
lblr = Label(tab1, text= 'Repeticiones Realizadas', font=("Arial Bold", 15))
lblr.place(x=10, y=230, anchor="w")
lblr1 = Label(tab1, textvariable = rr1 ,font=("Arial Bold", 15))
lblr1.place(x=100, y=270, anchor="w")
#Etiquetas de Repeticiones, buenas y malas
lbl3 = Label(tab1, text= 'Repeticiones Buenas', font=("Arial Bold", 15))
lbl3.place(x=10, y=310, anchor="w")

```

```

lbl4 = Label(tab1, textvariable = rb1, font=("Arial Bold", 15))
lbl4.place(x=80, y=350, anchor="w")
#Repeticiones Malas
lbl5 = Label(tab1, text= 'Repeticiones Malas', font=("Arial Bold", 15))
lbl5.place(x=10, y=390, anchor="w")
lbl6 = Label(tab1, textvariable = rm1, font=("Arial Bold", 15))
lbl6.place(x=80, y=430, anchor="w")
#Lectura y visualización de datos
readingf = StringVar()
readingt = StringVar()
readingg = StringVar()
#Dorsiflexion
lblflex = Label(tab1, text= 'Dorsiflexion', font=("Arial Bold", 10))
lblflex.place(x=10, y=480, anchor="w")
lblflex1 = Label(tab1, textvariable = readingf, font=("Time New Roman", 10))
lblflex1.place(x=10, y=505, anchor="w")
#Talon
lblt = Label(tab1, text= 'Levantameinto de Talon', font=("Arial Bold", 10))
lblt.place(x=10, y=530, anchor="w")
lblt1 = Label(tab1, textvariable = readingt, font=("Time New Roman", 10))
lblt1.place(x=10, y=555, anchor="w")
#Giro
lblg = Label(tab1, text= 'Giro de Punta ', font=("Arial Bold", 10))
lblg.place(x=10, y=580, anchor="w")
lblg1 = Label(tab1, textvariable = readingg, font=("Time New Roman", 10))
lblg1.place(x=10, y=605, anchor="w")
#Imagen Inicial de programa
img1 = PhotoImage(file="inicial.gif")
widget1 = Label(tab1, image=img1).place(x=780,y=270,anchor="center")
#Imagen GIF
#Lbl puntas
lblsp = Label(tab1, text= ", font=("Arial Bold",14))
lblsp.place(x=800, y=440, anchor="n")

```

```

lblsm1 = Label(tab1, text= 'PREPARECE PARA COMENZAR EL EJERCIO DE
SENTADILLAS', font=("Arial Bold",15))
lblsm1.place(x=800, y=480, anchor="n")
lblsm2 = Label(tab1, text= 'LUEGO PRECIONE INICIAR', font=("Arial Bold",15))
lblsm2.place(x=800, y=520, anchor="n")
##### Etiquetas en 2 pesta;a
lbl20 = Label(tab2, text= 'Registro de Entrenamiento', font=("Arial Bold",18))
lbl20.place(x=660, y=30, anchor="center")
btnv = Button(tab2, text="Ver Registro de Entrenamiento", command = vercsv)
btnv.place(x=660, y=70, anchor="center")
dat = StringVar()
entry = Label(tab2, textvariable=dat, font=("Arial Bold",18))
entry.place(x=360, y=250, anchor="w")
#Ejecucion de pesta;as
tab_control.pack(expand=1, fill='both')
#Ejecucion de funcion reloj
hora()
#animacion gif
>window.after(300, DatosSerie)
windows.mainloop()

```

- **Código de algoritmo KNN en R**

```

library(caret)
library(pROC)
library(mlbench)
#Carga y Clasificacion
data <- read.csv(file.choose(), header= T)
str(data)
data$Tipo[data$Tipo == 1] <- 'Si'
data$Tipo[data$Tipo == 2] <- 'No1'
data$Tipo[data$Tipo == 3] <- 'No2'
data$Tipo[data$Tipo == 4] <- 'No3'
data$Tipo <- factor(data$Tipo)
# Divicion de Datos

```




```

set.seed(1234)
ind <- sample(2, nrow(data), replace = T, prob = c(0.75, 0.25))
training <- data[ind == 1,]
test <- data[ind == 2,]
#KNN Model
trControl <- trainControl(method = "repeatedcv",
                           number = 20,
                           repeats = 3)
set.seed(222)
fit <- train(Tipo ~ .,
             data = training,
             method = 'knn',
             tuneLength = 14,
             trControl = trControl,
             preProc =c("center", "scale"))
#actuacion del modelo
fit
plot(fit)
varImp(fit)
pred <- predict(fit, newdata = test)
confusionMatrix(pred, test$Tipo)

```

## Anexo 2. Hoja de Especificaciones de MPU6050

	<b>MPU-6000/MPU-6050 Product Specification</b>	Document Number: PS-MPU-6000A-00 Revision: 3.4 Release Date: 08/19/2013
---	--	---

### 5 Features

#### 5.1 Gyroscope Features

The triple-axis MEMS gyroscope in the MPU-60X0 includes a wide range of features:

- Digital-output X-, Y-, and Z-Axis angular rate sensors (gyroscopes) with a user-programmable full-scale range of  $\pm 250$ ,  $\pm 500$ ,  $\pm 1000$ , and  $\pm 2000^\circ/\text{sec}$
- External sync signal connected to the FSYNC pin supports image, video and GPS synchronization
- Integrated 16-bit ADCs enable simultaneous sampling of gyros
- Enhanced bias and sensitivity temperature stability reduces the need for user calibration
- Improved low-frequency noise performance
- Digitally-programmable low-pass filter
- Gyroscope operating current: 3.6mA
- Standby current: 5 $\mu$ A
- Factory calibrated sensitivity scale factor
- User self-test

#### 5.2 Accelerometer Features

The triple-axis MEMS accelerometer in MPU-60X0 includes a wide range of features:

- Digital-output triple-axis accelerometer with a programmable full scale range of  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$  and  $\pm 16g$
- Integrated 16-bit ADCs enable simultaneous sampling of accelerometers while requiring no external multiplexer
- Accelerometer normal operating current: 500 $\mu$ A
- Low power accelerometer mode current: 10 $\mu$ A at 1.25Hz, 20 $\mu$ A at 5Hz, 60 $\mu$ A at 20Hz, 110 $\mu$ A at 40Hz
- Orientation detection and signaling
- Tap detection
- User-programmable interrupts
- High-G interrupt
- User self-test

#### 5.3 Additional Features

The MPU-60X0 includes the following additional features:

- 9-Axis MotionFusion by the on-chip Digital Motion Processor (DMP)
- Auxiliary master I<sup>2</sup>C bus for reading data from external sensors (e.g., magnetometer)
- 3.9mA operating current when all 6 motion sensing axes and the DMP are enabled
- VDD supply voltage range of 2.375V-3.46V
- Flexible VLOGIC reference voltage supports multiple I<sup>2</sup>C interface voltages (MPU-6050 only)
- Smallest and thinnest QFN package for portable devices: 4x4x0.9mm
- Minimal cross-axis sensitivity between the accelerometer and gyroscope axes
- 1024 byte FIFO buffer reduces power consumption by allowing host processor to read the data in bursts and then go into a low-power mode as the MPU collects more data
- Digital-output temperature sensor
- User-programmable digital filters for gyroscope, accelerometer, and temp sensor
- 10,000 g shock tolerant
- 400kHz Fast Mode I<sup>2</sup>C for communicating with all registers
- 1MHz SPI serial interface for communicating with all registers (MPU-6000 only)
- 20MHz SPI serial interface for reading sensor and interrupt registers (MPU-6000 only)

# nRF24L01+

## Single Chip 2.4GHz Transceiver

### Product Specification v1.0

#### Key Features

- Worldwide 2.4GHz ISM band operation
- 250kbps, 1Mbps and 2Mbps on air data rates
- Ultra low power operation
- 11.3mA TX at 0dBm output power
- 13.5mA RX at 2Mbps air data rate
- 900nA in power down
- 26µA in standby-1
- On chip voltage regulator
- 1.9 to 3.6V supply range
- Enhanced ShockBurst™
- Automatic packet handling
- Auto packet transaction handling
- 6 data pipe MultiCeiver™
- Drop-in compatibility with nRF24L01
- On-air compatible in 250kbps and 1Mbps with nRF2401A, nRF2402, nRF24E1 and nRF24E2
- Low cost BOM
- ±60ppm 16MHz crystal
- 5V tolerant inputs
- Compact 20-pin 4x4mm QFN package

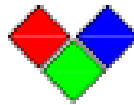
#### Applications

- Wireless PC Peripherals
- Mouse, keyboards and remotes
- 3-in-1 desktop bundles
- Advanced Media center remote controls
- VoIP headsets
- Game controllers
- Sports watches and sensors
- RF remote controls for consumer electronics
- Home and commercial automation
- Ultra low power sensor networks
- Active RFID
- Asset tracking systems
- Toys

All rights reserved.

Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written permission of the copyright holder.  
September 2008

## Anexo 4. Hoja de Especificaciones de LED RGB



深圳市昱申科技有限公司  
CHINA YOUNG SUN LED TECHNOLOGY CO., LTD.

TEL: (86) 755-28079401 28079402 28079403 28079404 28079405

FAX: (86) 755-28079407 E-mail: info@100LED.com Web: www.100LED.com

Model No.: YSL-R596CR3G4B5C-C10  
RED/GREEN/BLUE Triple Color LED

### Applications:

- Moving Message Display
- Full Color Display
- Banking Board
- Score Boards
- Digital Display

LED Chip Absolute Maximum Ratings: (Ta=25 °C)

Parameter	Symbol	Red	Green	Blue	Unit
Forward current	$I_f$	20	20	20	mA
Peak forward current (Duty Cycle=0.1, 100Hz)	$I_{fm}$	30	30	30	mA
Reverse current (V <sub>R</sub> =5V)	$I_r$	10	10	10	μA
Operating temp	T <sub>op</sub>	-25~85	-25~85	-25~85	°C
Storage temp	T <sub>stg</sub>	-30~85	-30~85	-30~85	°C
Peak Emission Wavelength	$\lambda_{PH}$	625	520	467.5	nm

\* Soldering Bath: not more than 5 seconds @260 °C. The bottom ends of the plastic reflector should be at least 2mm above the solder surface

Soldering Iron: not more than 3 seconds @300 °C under 30W

LED Chip Typical Electrical & Optical Characteristics: (Ta=25 °C)

ITEMS	Color	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Forward Voltage	Red	$V_f$	$I_f=20mA$	1.8	2.0	2.2	V
	Green			3.0	3.2	3.4	
	Blue			3.0	3.2	3.4	
Luminous Intensity	Red	$I_v$	$I_f=20mA$	---	---	800	mcd
	Green			---	---	4000	
	Blue			---	---	900	
Wavelength	Red	$\Delta \lambda$	$I_f=20mA$	620	623	625	nm
	Green			515	517.5	520	
	Blue			465	466	467.5	
Light Degradation after 1000 hours	Red				-4.68% ~ -8.27%		
	Green				-11.37% ~ -15.30%		
	Blue				-8.23% ~ -16.81%		

## Anexo 5. Hoja de Especificaciones Modulo de Carga Tp4056

### TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8

#### DESCRIPTION

The TP4056 is a complete constant-current/constant-voltage linear charger for single cell lithium-ion batteries. Its SOP package and low external component count make the TP4056 ideally suited for portable applications. Furthermore, the TP4056 can work within USB and wall adapter.

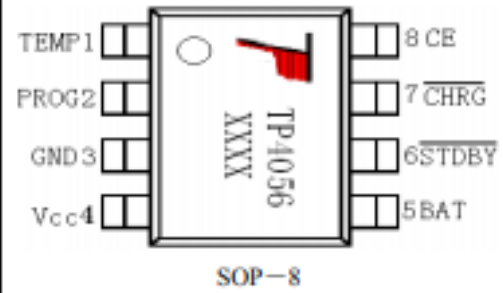

No blocking diode is required due to the internal PMOSFET architecture and have prevent to negative Charge Current Circuit. Thermal feedback regulates the charge current to limit the die temperature during high power operation or high ambient temperature. The charge voltage is fixed at 4.2V, and the charge current can be programmed externally with a single resistor. The TP4056 automatically terminates the charge cycle when the charge current drops to 1/10th the programmed value after the final float voltage is reached.

TP4056 Other features include current monitor, under voltage lockout, automatic recharge and two status pin to indicate charge termination and the presence of an input voltage.

#### FEATURES

- Programmable Charge Current Up to 1000mA
- No MOSFET, Sense Resistor or Blocking Diode Required
- Complete Linear Charger in SOP-8 Package for Single Cell Lithium-Ion Batteries
- Constant-Current/Constant-Voltage
- Charges Single Cell Li-Ion Batteries Directly from USB Port
- Preset 4.2V Charge Voltage with 1.5% Accuracy
- Automatic Recharge
- two Charge Status Output Pins
- C/10 Charge Termination
- 2.9V Trickle Charge Threshold (TP4056)
- Soft-Start Limits Inrush Current
- Available Radiator in 8-Lead SOP Package, the Radiator need connect GND or impending

#### PACKAGE/ORDER INFORMATION

 <p>TEMP1 PROG2 GND3 V<sub>CC</sub>4</p> <p>8 CE 7 CHRG 6 STDBY 5 BAT</p> <p>SOP-8</p>	<p><b>ORDER PART NUMBER</b> TP4056-42-SOP8-PP</p> <p><b>PART MARKING</b> TP4056</p>
<p>photo</p> 	

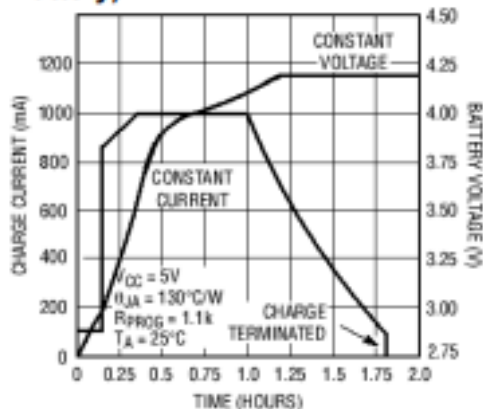
#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

- Input Supply Voltage(V<sub>CC</sub>): -0.3V~8V
- TEMP: -0.3V~10V
- CE: -0.3V~10V
- BAT Short-Circuit Duration: Continuous
- BAT Pin Current: 1200mA
- PROG Pin Current: 1200uA
- Maximum Junction Temperature: 145°C
- Operating Ambient Temperature Range: -40°C~85°C
- Lead Temp.(Soldering, 10sec): 260°C

#### APPLICATIONS

- Cellular Telephones, PDAs, GPS
- Charging Docks and Cradles
- Digital Still Cameras, Portable Devices
- USB Bus-Powered Chargers, Chargers

#### Complete Charge Cycle (1000mAh Battery)



**TEMP(Pin 1): Temperature Sense Input** Connecting TEMP pin to NTC thermistor's output in Lithium ion battery pack. If TEMP pin's voltage is below 45% or above 80% of supply voltage  $V_{IN}$  for more than 0.15S, this means that battery's temperature is too high or too low, charging is suspended. The temperature sense function can be disabled by grounding the TEMP pin.

**PROG(Pin 2): Constant Charge Current Setting and Charge Current Monitor Pin** charge current is set by connecting a resistor  $R_{ISET}$  from this pin to GND. When in precharge mode, the ISET pin's voltage is regulated to 0.2V. When in constant charge current mode, the ISET pin's voltage is regulated to 2V. In all modes during charging, the voltage on ISET pin can be used to measure the charge current as follows:

$$I_{BAT} = \frac{V_{PROG}}{R_{PROG}} \times 1200 \quad (V_{PROG}=1V)$$

**GND(Pin3): Ground Terminal**

**Vcc(Pin 4): Positive Input Supply Voltage**  $V_{IN}$  is the power supply to the internal circuit. When  $V_{IN}$  drops to within 30mv of the BAT pin voltage, TP4056 enters low power sleep mode, dropping BAT pin's current to less than 2uA.

**BAT(Pin5): Battery Connection Pin.** Connect the positive terminal of the battery to BAT pin. BAT pin draws less than 2uA current in chip disable mode or in sleep mode. BAT pin provides charge current to the battery and provides regulation voltage of 4.2V.

**STDBY(Pin6): Open Drain Charge Status Output** When the battery Charge Termination, the  $\overline{STDBY}$  pin is pulled low by an internal switch, otherwise  $\overline{STDBY}$  pin is in high impedance state.

**CHRG(Pin7): Open Drain Charge Status Output** When the battery is being charged, the  $\overline{CHRG}$  pin is pulled low by an internal switch, otherwise  $\overline{CHRG}$  pin is in high impedance state.

**CE(Pin8): Chip Enable Input.** A high input will put the device in the normal operating mode. Pulling the CE pin to low level will put the YP4056 into disable mode. The CE pin can be driven by TTL or CMOS logic level.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at  $T_A=25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC}=5V$ , unless otherwise noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
$V_{CC}$	Input Supply Voltage		● 4.0	5	8.0	V	
$I_{CC}$	Input Supply Current	Charge Mode, $R_{PROG} = 1.2k$	●	150	500	$\mu\text{A}$	
		StandbyMode(Charge Terminated)	●	55	100	$\mu\text{A}$	
		Shutdown Mode ( $R_{PROG}$ Not Connected, $V_{CC} < V_{BAT}$ , or $V_{CC} < V_{UV}$ )	●	55	100	$\mu\text{A}$	
$V_{FLOAD}$	Regulated Output (Float) Voltage	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$ , $I_{BAT}=40\text{mA}$	4.137	4.2	4.263	V	
$I_{BAT}$	BAT Pin Current Text condition: $V_{BAT}=4.0V$	$R_{PROG} = 2.4k$ , Current Mode	●	450	500	550	mA
		$R_{PROG} = 1.2k$ , Current Mode	●	950	1000	1050	mA
		Standby Mode, $V_{BAT} = 4.2V$	●	0	-2.5	-6	$\mu\text{A}$
$I_{TRK1}$	Trickle Charge Current	$V_{BAT} < V_{TRK1}$ , $R_{PROG}=1.2K$	●	120	130	140	mA
$V_{TRK1}$	Trickle Charge Threshold Voltage	$R_{PROG}=1.2K$ , $V_{BAT}$ Rising		2.8	2.9	3.0	V
$V_{TRK1S}$	Trickle Charge Hysteresis Voltage	$R_{PROG}=1.2K$		60	80	100	mV
$T_{LM}$	Junction Temperature in Constant Temperature Mode			145		$^\circ\text{C}$	

## Anexo 6. Encuesta de Requerimientos y Tabulación



Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación

Encuesta Gimnasio LITN

Dirigido a: Integrantes del Club de Físico Culturismo

La presente encuesta tiene como objetivo conocer la forma en la que se realiza el entrenamiento de sentadilla, y de esta manera plantear ayudas al proceso de mejora de la técnica en dicho ejercicio.

Indicaciones: Seleccione la respuesta con la que usted este de acuerdo en la línea que se encuentra junto a las opciones "SI" y "NO".

1. ¿En su rutina de ejercicios, al realizar sentadillas profundas utiliza algún tipo de apoyo en sus talones?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

2. ¿Conoce si una baja flexibilidad de sus tobillos afecta a su entrenamiento de sentadilla profunda o causarle lesiones?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

3. Se permitiría colocar una tobillera que le ayude a mejorar su técnica de sentadillas informándole de posiciones incorrectas de sus pies y sus tobillos.

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

4. ¿Le gustaría ser informado de posibles errores en sus sentadillas mediante una alarma sonora?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

5. ¿Piensa usted que una luz verde es un indicativo para iniciar una actividad?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

De ser la respuesta "No" que color le parecería mejor: \_\_\_\_\_









Universidad Técnica del Norte  
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación  
Encuesta Gimnasio UTN

Dirigido a: Integrantes del Club de Físico Culturismo

La presente encuesta tiene como objetivo conocer la forma en la que se realiza el entrenamiento de sentadilla, y de esta manera plantear ayudas al proceso de mejora de la técnica en dicho ejercicio.

Indicaciones: Seleccione la respuesta con la que usted este de acuerdo en la línea que se encuentra junto a las opciones "SI" y "NO"

1. ¿En su rutina de ejercicios, al realizar sentadillas profundas utiliza algún tipo de apoyo en sus talones?

Sí \_\_\_\_\_ No /

2. ¿Conoce si una baja flexibilidad de sus tobillos afecta a su entrenamiento de sentadilla profunda o causarle lesiones?

Sí / No \_\_\_\_\_

3. Se permitiría colocarse una tobillera que le ayude a mejorar su técnica de sentadillas informándole de posiciones incorrectas de sus pies y sus tobillos.

Sí / No \_\_\_\_\_

4. ¿Le gustaría ser informado de posibles errores en sus sentadillas mediante una alarma sonora?

Sí / No \_\_\_\_\_

5. ¿Piensa usted que una luz verde es un indicativo para iniciar una actividad?

Sí / No \_\_\_\_\_

De ser la respuesta "No" que color le parecería mejor: \_\_\_\_\_

Pregunta 1:

¿En su rutina de ejercicios, al realizar sentadillas profundas utiliza algún tipo de apoyo en sus talones?

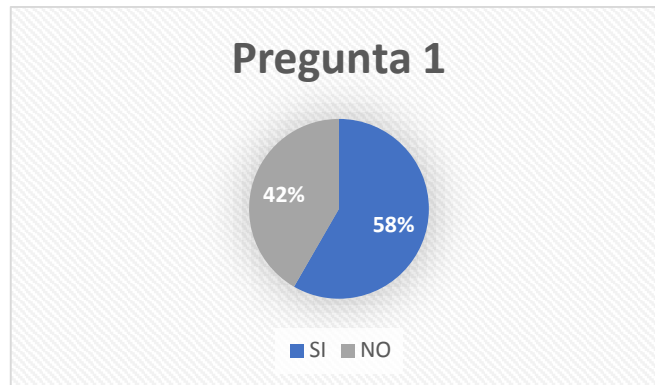


Figura 76. Tabulación Pregunta 1  
Fuente: Autoría

En la pregunta número uno se establece que el 58% de los integrantes del club utilizan un apoyo en sus tobillos al realizar una sentadilla profunda. Esto da un indicativo de los problemas en la dorsiflexión del tobillo que tienen.

Pregunta 2:

¿Conoce si una baja flexibilidad de sus tobillos afecta a su entrenamiento de sentadilla profunda o causarle lesiones?

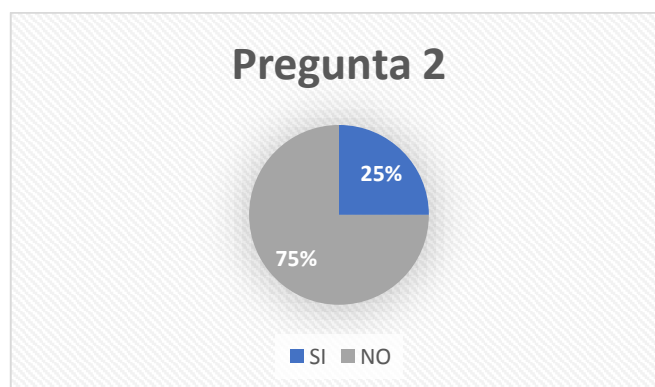


Figura 77. Tabulación Pregunta 2  
Fuente: Autoría

Las respuestas obtenidas en la pregunta número dos indican que solo 12 de los encuestados conocían de las posibles lesiones que puede causar una baja flexibilidad en los tobillos y una mala posición de los pies.

Pregunta 3:

Se permitiría colocar una tobillera que le ayude a mejorar su técnica de sentadillas informándole de posiciones incorrectas de sus pies y sus tobillos.

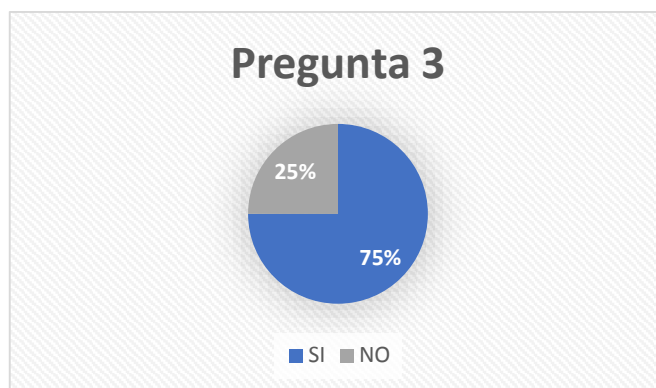


Figura 78. Tabulación Pregunta 3  
Fuente: Autoría

La pregunta número tres hace referencia a la utilización del sistema en una tobillera, el cual informa de errores cometidos y avisa de una adecuada posición de pies al iniciar el ejercicio en donde a un 75% de los integrantes del club no le molestaría utilizar dicha tobillera y se la pondrían pero a un 25% si le molestaría su uso, a pesar de los beneficios que esta ofrece.

Pregunta 4:

¿Le gustaría ser informado de posibles errores en sus sentadillas mediante una alarma sonora?

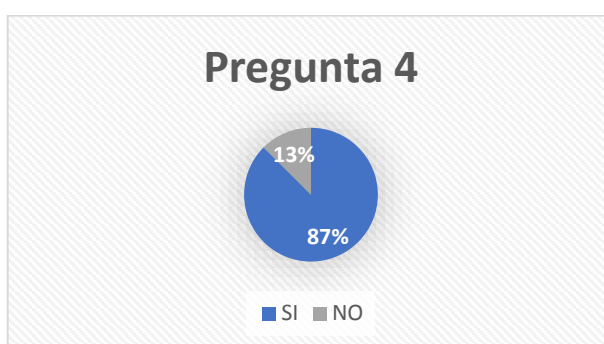


Figura 79. Tabulación Pregunta 4  
Fuente: Autoría

En la pregunta número 4 las personas encuestadas prefieren ser informadas de los errores cometidos mediante una alarma sonora distinguible al oído. Aunque un 13% de los encuestados piensan que este interrumpiría en su entrenamiento.

Pregunta 5:

¿Piensa usted que una luz verde es un indicativo para iniciar una actividad?

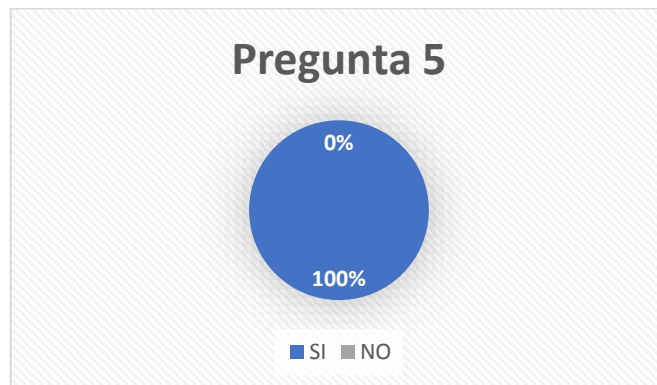


Figura 80. Tabulación Pregunta 5  
Fuente: Autoría

La pregunta número 5 hace referencia al funcionamiento del sistema, dando así la pauta de que el 100% de los integrantes del club relacionan una luz verde al inicio de una medición del sistema y a la indicación de que pueden seguir realizando su rutina de sentadillas.

## Anexo 6. Hoja de Especificaciones Técnicas de Placas Arduino

- Arduino Nano

### MB0016: OEM ARDUINO NANO V3.0



#### Descripción:

Arduino Nano es una pequeña y completa placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) que se usa conectándola a una Protoboard. Tiene funcionalidad similar al Arduino UNO, pero con una presentación diferente. No posee conector para alimentación externa, y funciona con un cable USB Mini-B en vez del cable estándar.

#### Especificaciones

Microcontrolador: ATmega328.

Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V.

Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V.

Tensión de Entrada (límites): 6-20 V.

Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM).



**Entradas Analógicas:** 8.  
**Corriente máx por cada PIN de E/S:** 40 mA.  
**Memoria Flash:** 32 KB (ATmega328) de los cuales 2KB son usados por el bootloader.  
**SRAM:** 2 KB (ATmega328).  
**EEPROM:** 1 KB (ATmega328).  
**Frecuencia de reloj:** 16 MHz.  
**Dimensiones:** 18.5mm x 43.2mm

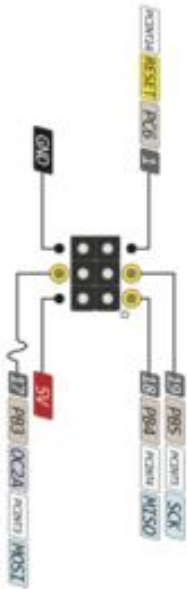
### **Alimentación**

El Arduino Nano puede ser alimentado usando el cable USB Mini-B, con una fuente externa no regulada de 6-20V (pin 30), o con una fuente externa regulada de 5V (pin 27). La fuente de alimentación es seleccionada automáticamente a aquella con mayor tensión.

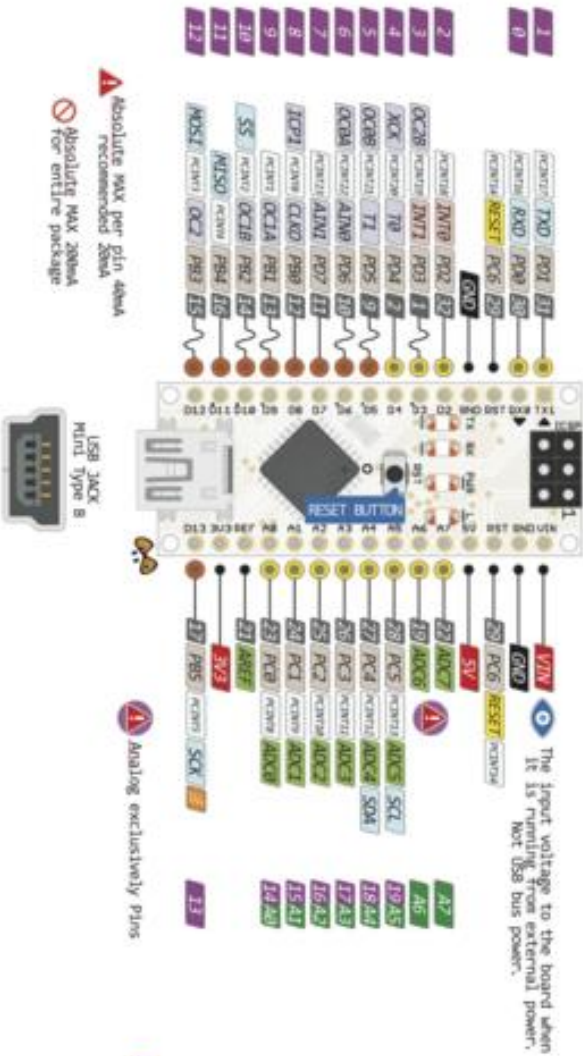
El chip FTDI FT232RL que posee el Nano solo es alimentado si la placa está siendo alimentada usando el cable USB.

Cuando se utiliza una fuente externa (no USB), la salida de 3.3V (la cual es proporcionada por el chip FTDI) no está disponible y los pines 1 y 0 parpadearán si los pines digitales 0 o 1 están a nivel alto.

# NANO PINOUT



## Distribución de Pines



⚠ Absolute MAX per pin 40mA recommended 20mA  
 ⚠ Absolute MAX 200mA for entire package



⚠ Analog exclusively Pins  
 ⚠ The input voltage to the board when it is running from external power. Not USB bus power.

⚠ The power sum for each pin's group should not exceed 100mA

- Power
- GND
- Serial Pin
- Analog Pin
- Control
- INT
- Physical Pin
- Port Pin
- Pin function
- Interrupt Pin
- Power Pin
- Port Power



- **Arduino Uno**

### **ARDUINO UNO-R3 PHYSICAL COMPONENTS**

#### **ATMEGA328P-PU microcontroller**

The most important element in Arduino Uno R3 is ATMEGA328P-PU is an 8-bit Microcontroller with flash memory reach to 32k bytes. It's features as follow:

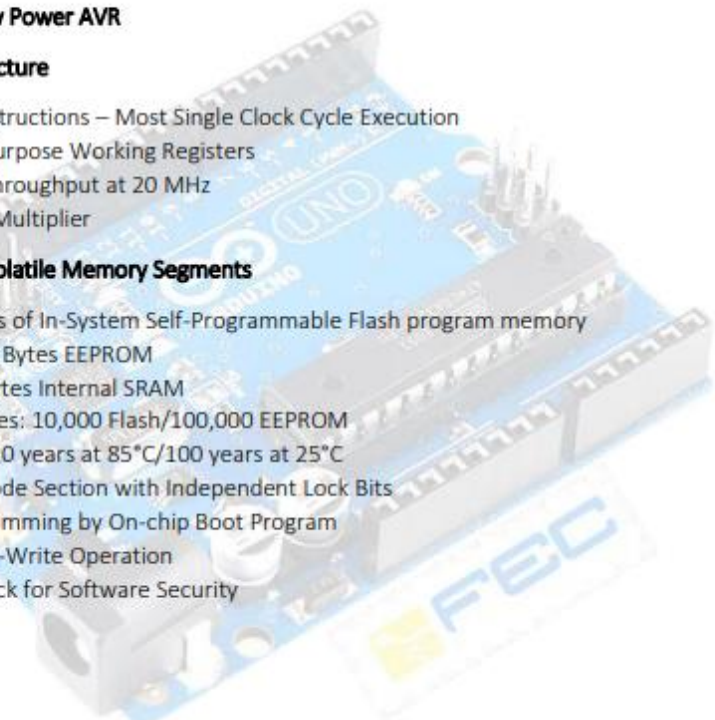
- **High Performance, Low Power AVR**

- **Advanced RISC Architecture**

- 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
- 32 x 8 General Purpose Working Registers
- Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
- On-chip 2-cycle Multiplier

- **High Endurance Non-volatile Memory Segments**

- 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
- 256/512/512/1K Bytes EEPROM
- 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
- Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
- Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C
- Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
- In-System Programming by On-chip Boot Program
- True Read-While-Write Operation
- Programming Lock for Software Security



- **Peripheral Features**

- Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
- One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
- Real Time Counter with Separate Oscillator
- Six PWM Channels
- 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
- Temperature Measurement
- 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
- Temperature Measurement
- Programmable Serial USART



- Master/Slave SPI Serial Interface
- Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I2 C compatible)
- Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
- On-chip Analog Comparator
- Interrupt and Wake-up on Pin Change

• **Special Microcontroller Features**

- Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
- Internal Calibrated Oscillator
- External and Internal Interrupt Sources
- Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby

• **I/O and Packages**

- 23 Programmable I/O Lines
- 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF

• **Operating Voltage:**

- 1.8 - 5.5V

• **Temperature Range:**

- -40°C to 85°C

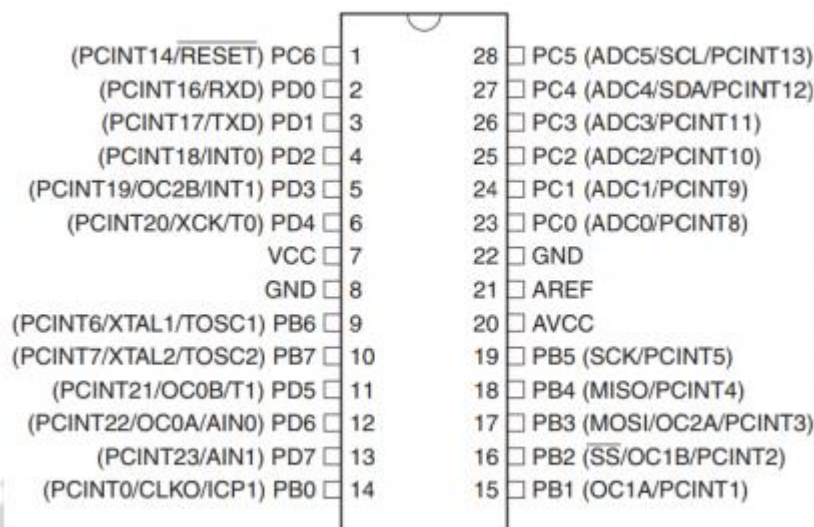
• **Speed Grade:**

- 0 - 4 MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz@2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V

• **Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C**

- Active Mode: 0.2 mA
- Power-down Mode: 0.1  $\mu$ A
- Power-save Mode: 0.75  $\mu$ A (Including 32 kHz RTC)

• **Pin configuration**



## Anexo 7. Evidencias del Proceso de Realización del Trabajo de Grado

En la figura 81 se puede observar el proceso de encuesta realizado en el gimnasio de la Universidad Técnica del Norte

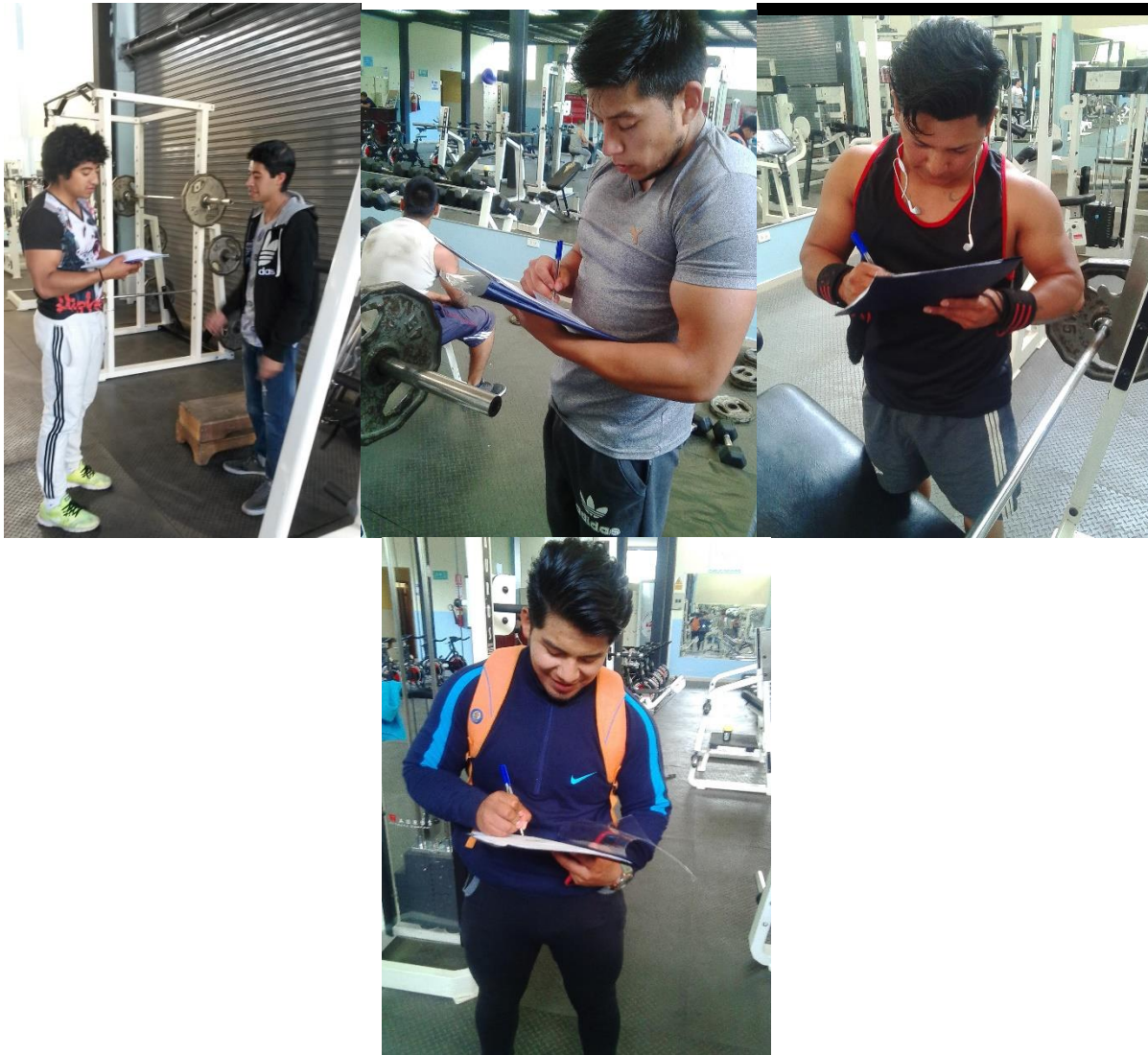


Figura 81. Realización de Encuestas en el Gimnasio UTN  
Fuente: Autoría



- **Pruebas de conexión y funcionamiento de placas embebidas y sensores**

En la Figura 82 se puede observar las pruebas de conexión, medición y Comunicación realizadas.



Figura 82. Pruebas de Conexión de Sensores  
Fuente: Autoría

- **Diseño de placa para toma de datos (Tobillera)**

Para optimizar el tamaño que tendría la tobillera y evitar fallos por conexión de cables se realizó una placa de conexión en baquelita, el proceso para construirle se muestra en las figura 83. Mientras que en la figura 84 se puede observar cómo se ensamblan todos los componentes y se realizan pruebas de funcionamiento.

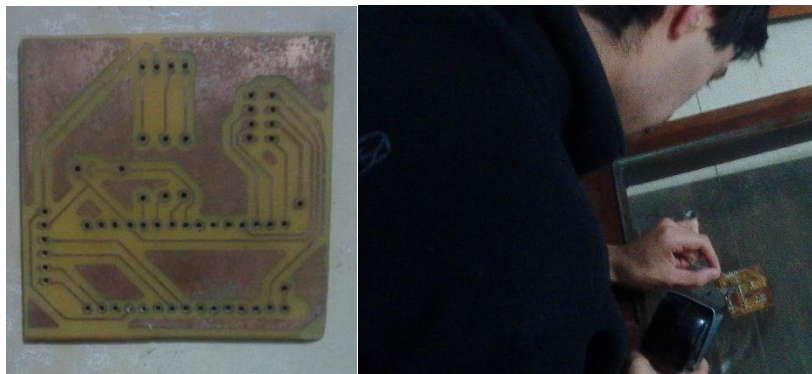


Figura 83. Elaboración y Soldadura de Placa en Baquelita  
Fuente: Autoría

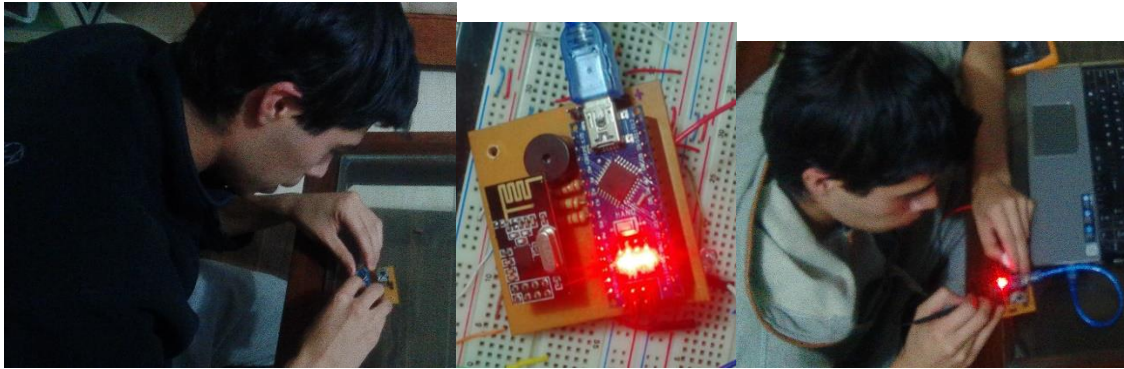


Figura 84. Pruebas de Funcionamiento de Placa de Baquelita  
Fuente: Autoría

## Anexo 8. Diseño 3D de Tobillera

Debido a la falta de disponibilidad de una protección en la tobillera que cubra y se adapte a la forma de un tobillo, se hizo necesario realizar el diseño de un modelo en 3D para, lo cual se lo realizo en el programa Tinkercad el cual se puede visualizar en la figura 85. Hasta obtener el resultado final que se muestra en la figura 86.

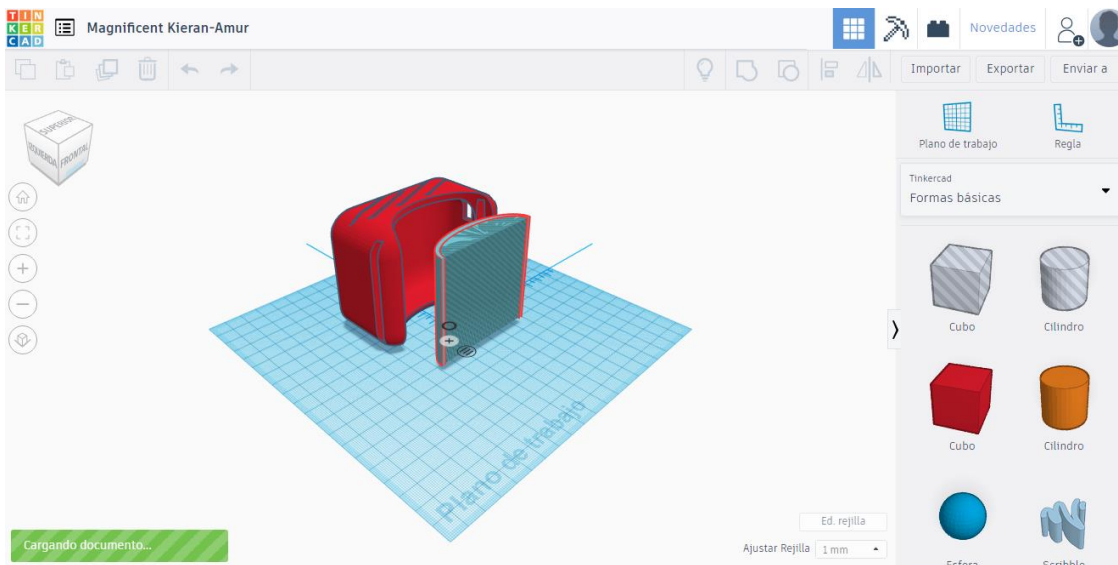


Figura 85. Diseño de Tobillera en Programa 3D  
Fuente: Autoría



Figura 86. Resultado de Impresión de Diseño 3D  
Fuente: Autoría

En la figura 87 se puede observar la finalización de la Integración de placas y sensores en la tobillera, a la cual se le añadió una banda elástica para poder ajustar al tobillo.



Figura 87. Finalización de Armado de Tobillera  
Fuente: Autoría



## Anexo 9. Pruebas de Funcionamiento

- **Pruebas en led RGB**

En la figura 88, 89, 90 se puede observar los diferentes colores que se ha habilitado en el led RGB para mostrar los diferentes tipos de repeticiones desde varias perspectivas teniendo: Azul, Verde, Rojo respectivamente.



Figura 88. Color Azul en Led RGB  
Fuente: Autoría

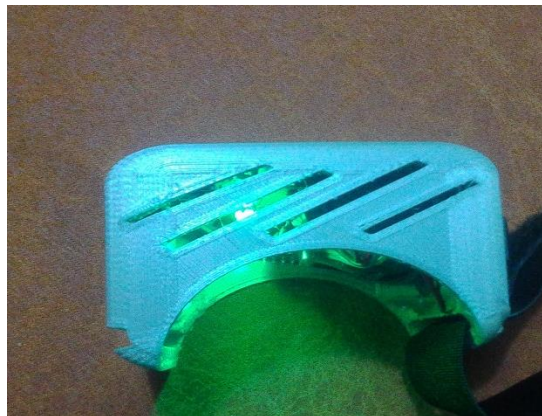


Figura 89. Color Verde en Led RGB  
Fuente: Autoría



Figura 90. Color Rojo en Led RGB  
Fuente: Autoría

- **Grafica de Exactitud de análisis K-NN en R**

Durante la realización del análisis K-NN se obtuvo una gráfica de la exactitud del análisis con respecto al número que se le asigne a K vecinos cercanos, teniendo como resultado la figura 91.

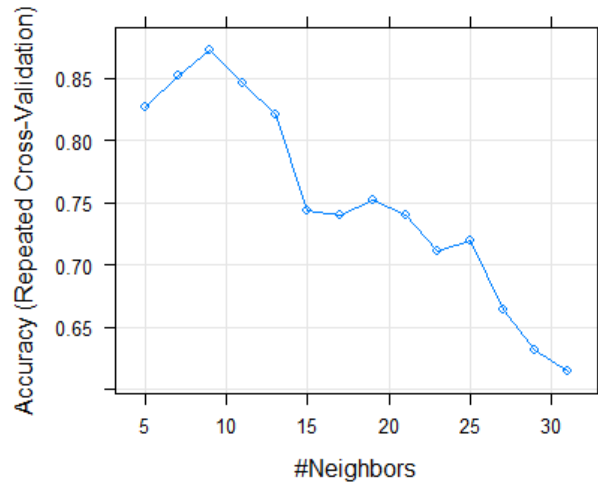


Figura 91. Grafica de Exactitud y Número de Vecinos  
Fuente: Autoría

- **Ubicación de tobillera y Recepción de Información**

En la figura 92 se puede observar la ubicación de la tobillera por parte de integrantes del club de físico culturismo de la Universidad Técnica del Norte el cual se encuentra realizando su rutina de ejercicio y en la figura 93 se puede ver como el sistema detecta el tipo de repeticiones que realiza.

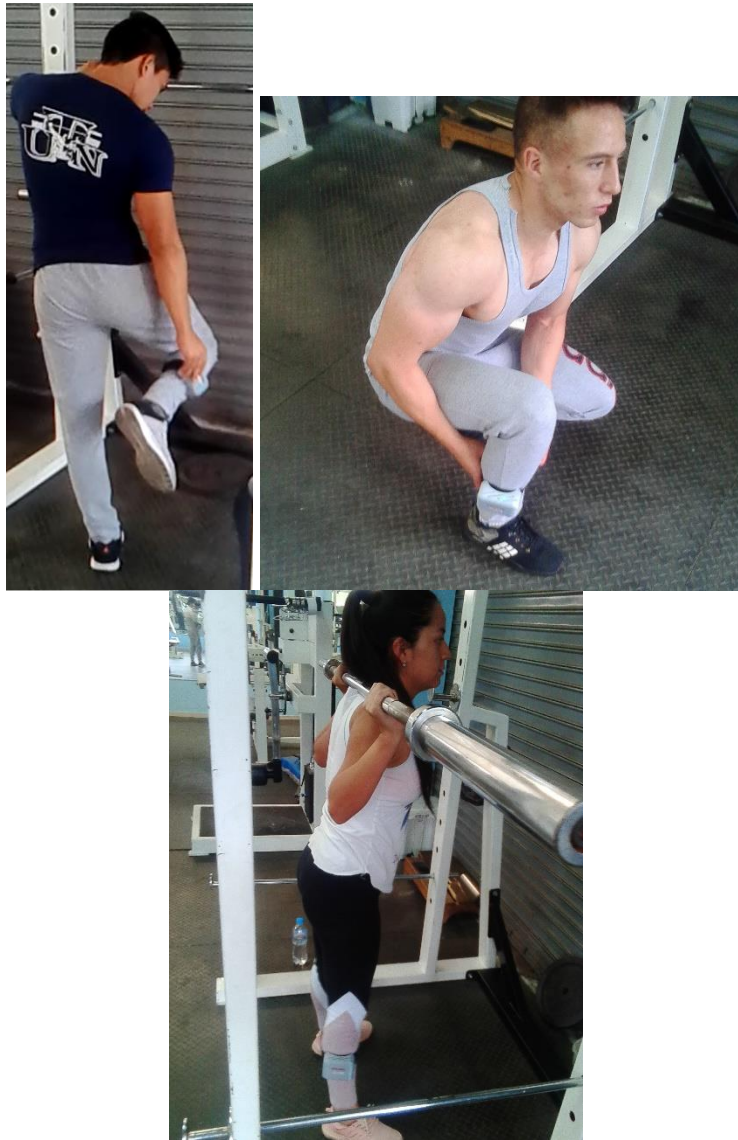


Figura 92. Uso del Sistema por Miembros del Club de Físico culturismo  
Fuente: Autoría

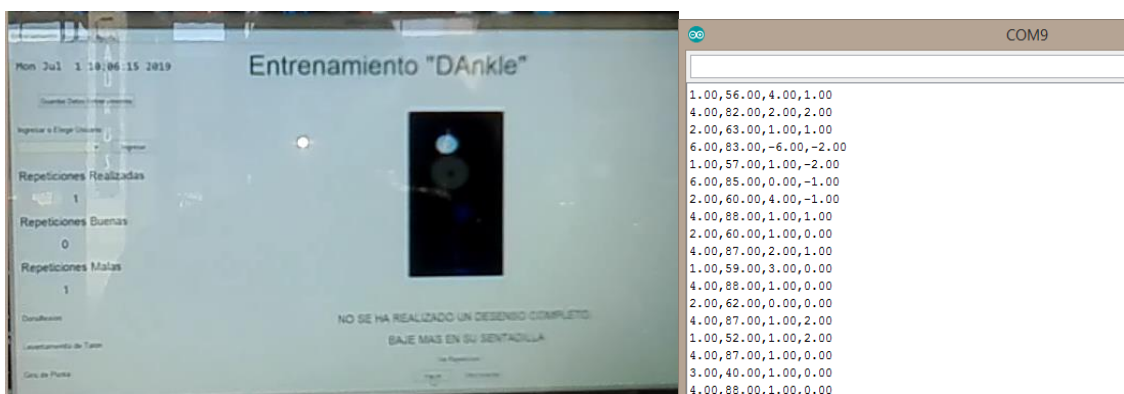


Figura 93. Recepción e Interpretación de Datos en Sistema de Visualización  
Fuente: Autoría



- **Pruebas de Módulo de Carga de Batería**

El módulo de carga del prototipo ayuda a identificar cuando la batería se ha cargado completamente y cuando está en proceso de carga esto se identifica en la figura 94 en donde el color es rojo indicando que aún no está cargada y en la figura 95 indicando que ya está cargada.



Figura 94. Batería en Carga  
Fuente: Autoría

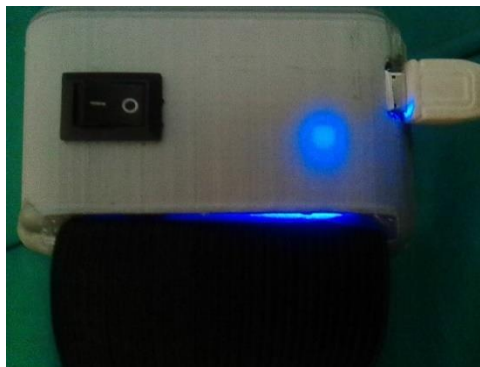


Figura 95. Batería con Carga Completa  
Fuente: Autoría

## Anexo 10. Base de Datos de Entrenamiento y Prueba

Tabla 43. Base de Datos de Entrenamiento y Prueba

Identificación de Repetición			
Tipo	Dorsiflexión	Talón	Giro
1	59.00	-5.00	6.00
1	59.00	-3.00	-2.00
1	58.00	-5.00	4.00
1	59.00	-9.00	0.00
1	57.00	-9.00	-5.00
1	57.00	-8.00	-4.00
1	52.00	-11.00	-8.00
1	59.00	-6.00	-3.00
1	58.00	-5.00	-7.00
1	59.00	-9.00	-2.00
1	57.00	-7.00	4.00
1	55.00	-8.00	4.00
1	57.00	-8.00	4.00
1	59.00	-10.00	21.00
1	59.00	-9.00	19.00
1	53.00	-11.00	2.00
1	52.00	-6.00	11.00
1	49.00	-4.00	9.00
1	51.00	-8.00	32.00
1	58.00	-4.00	63.00
Tipo	Dorsiflexión	Talón	Giro
2	62.00	-5.00	56.00
2	69.00	-10.00	-3.00
2	61.00	-5.00	-3.00
2	63.00	-7.00	3.00
2	62.00	-5.00	6.00
2	65.00	-6.00	6.00
2	71.00	-9.00	-4.00
2	69.00	-4.00	1.00
2	72.00	-8.00	-3.00
2	61.00	-6.00	1.00
2	62.00	-1.00	-2.00
2	63.00	-4.00	0.00
2	62.00	-6.00	2.00
2	65.00	-7.00	8.00
2	64.00	-8.00	6.00
2	62.00	-8.00	14.00
2	62.00	-5.00	6.00
2	69.00	-7.00	7.00
2	71.00	-6.00	7.00
2	69.00	-6.00	8.00

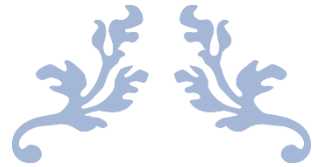
2	66.00	-7.00	20.00
2	67.00	-9.00	17.00
2	67.00	-5.00	21.00
2	63.00	-3.00	31.00
<b>Tipo</b>	<b>Dorsiflexión</b>	<b>Talón</b>	<b>Giro</b>
3	29.00	-19.00	38.00
3	48.00	-11.00	22.00
3	47.00	-4.00	34.00
3	39.00	-16.00	34.00
3	44.00	-8.00	77.00
3	46.00	-21.00	72.00
3	39.00	-21.00	65.00
3	46.00	-19.00	90.00
3	42.00	-22.00	92.00
3	47.00	-25.00	103.00
3	38.00	-20.00	119.00
3	44.00	-9.00	121.00
3	41.00	-21.00	122.00
3	48.00	-16.00	123.00
3	48.00	-15.00	120.00
3	47.00	-10.00	126.00
3	44.00	-17.00	122.00
3	29.00	-19.00	38.00
3	48.00	-11.00	22.00
3	47.00	-4.00	34.00
3	42.00	-22.00	92.00
3	47.00	-25.00	103.00

#### Identificación de Posición Inicial

<b>Tipo</b>	<b>Dorsiflexión</b>	<b>Talón</b>	<b>Giro</b>
4	82.00	-7.00	6.00
4	82.00	-7.00	0.00
4	85.00	-4.00	0.00
4	82.00	-6.00	3.00
4	83.00	-6.00	4.00
4	85.00	-3.00	0.00
4	87.00	-2.00	7.00
4	82.00	-6.00	0.00
4	83.00	-5.00	3.00
4	83.00	-5.00	6.00
4	82.00	-5.00	6.00
4	82.00	-7.00	2.00
4	82.00	-7.00	1.00
4	85.00	-3.00	0.00
4	82.00	-7.00	3.00
4	82.00	-4.00	4.00
4	82.00	-7.00	6.00

4	84.00	-5.00	6.00
4	82.00	-6.00	7.00
4	83.00	-7.00	7.00
4	84.00	-6.00	7.00
<b>Tipo</b>	<b>Dorsiflexión</b>	<b>Talón</b>	<b>Giro</b>
5	82.00	-7.00	20.00
5	82.00	-7.00	15.00
5	84.00	-4.00	16.00
5	83.00	-6.00	27.00
5	84.00	-4.00	32.00
5	83.00	-6.00	13.00
5	82.00	-6.00	33.00
5	82.00	-2.00	34.00
5	82.00	-7.00	72.00
5	84.00	-5.00	70.00
5	82.00	-6.00	64.00
5	84.00	-5.00	85.00
5	84.00	-4.00	91.00
5	82.00	-6.00	104.00
5	84.00	-5.00	114.00
5	83.00	-4.00	118.00
5	83.00	-6.00	121.00
5	87.00	-2.00	123.00
5	84.00	-4.00	116.00
5	82.00	-7.00	125.00
5	82.00	-5.00	117.00
5	84.00	-4.00	32.00
5	83.00	-6.00	13.00
5	82.00	-6.00	33.00
5	84.00	-4.00	91.00
5	82.00	-6.00	104.00
<b>Tipo</b>	<b>Dorsiflexión</b>	<b>Talón</b>	<b>Giro</b>
6	83.00	-6.00	-2.00
6	82.00	-7.00	-5.00
6	82.00	-7.00	-5.00
6	83.00	-4.00	-4.00
6	82.00	-7.00	-8.00
6	82.00	-7.00	-3.00
6	82.00	-7.00	-7.00
6	82.00	-7.00	-2.00
6	82.00	-7.00	-4.00
6	83.00	-4.00	-2.00
6	82.00	-7.00	-1.00
6	83.00	-4.00	-1.00

Fuente: Autoría



---

# MANUAL DE USUARIO SISTEMA DANKLE

---

Calderón Brayan



## **DAnkle**

### **Manual de Usuario**

DAnkle es un sistema creado para la monitorización de los movimientos de los tobillos (Dorsiflexión y Giro de punta) durante la realización del ejercicio de sentadillas. El cual le ayudara a conocer si la flexión en su parte inferior es adecuada para realizar dicho ejercicio y así evitar posibles lesiones o conocer cuáles son sus deficiencias y pulirlas.

Esto lo logra gracias al análisis inteligente que proporciona el ángulo de flexión menor que se ha tenido con respecto la tibia y parte superior del pie y el giro de la punta del pie.

- **Partes del Sistema**

El sistema cuenta con dos componentes principales una tobillera y un receptor de datos de entrenamiento, los cuales a continuación se mostraran en las figuras 1 y 2 respectivamente.

#### **Tobillera**



Figura 1. Tobillera del Sistema DAnkle

## Receptor de Datos



Figura 2. Receptor de Datos DAnkle

## Como Utilizar

1. Verifique las etiquetas que posee la tobillera para conocer como colocarse la tobillera en la pierna derecha.



Figura 3. Etiquetas en Sistema DAnkle

2. Tome la tobillera y colóquela en el tobillo derecho y active el botón de encendido como lo indica la figura 4, el sistema emitirá un sonido y una luz de color blanco, a partir de ese momento usted contara con 10 segundos para tomar la posición inicial



Figura 3. Colocación de Tobillera

3. En el sistema de visualización DAnkle seleccione o ingrese su nombre de usuario.



Figura 4. Ingreso o Elección de Usuarios

4. Diríjase al sistema de visualización DAnkle y presione el botón de iniciar señalado en la figura 5 con un recuadro azul.

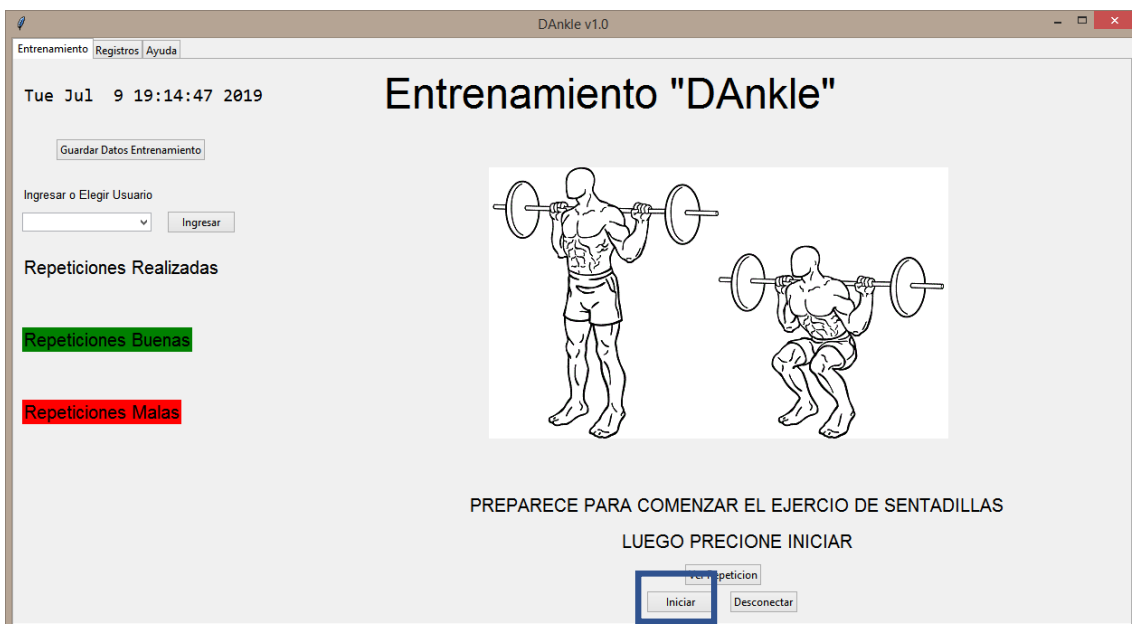


Figura 5. Sistema DAnkle



5. Colóquese en posición para iniciar el ejercicio de sentadilla como lo indica la figura 6.



Figura 6. Inicio de Ejercicio

6. Continúe con el entrenamiento normal de sentadilla, el sistema automáticamente le indicara las repeticiones malas que realice y se visualizara de igual manera en el sistema de visualización DAnkle como en la figura 7.



Figura 7. Sistema de Visualización Funcionando

## Requisitos para poder ejecutar aplicación de visualización

Conecte el transmisor al equipo en el que se ejecutara la aplicación DAnkle. Y busque que el sistema se encuentre conectado en puerto COM9.

- Diríjase a la barra de busque y escriba “Administrador de Dispositivos”

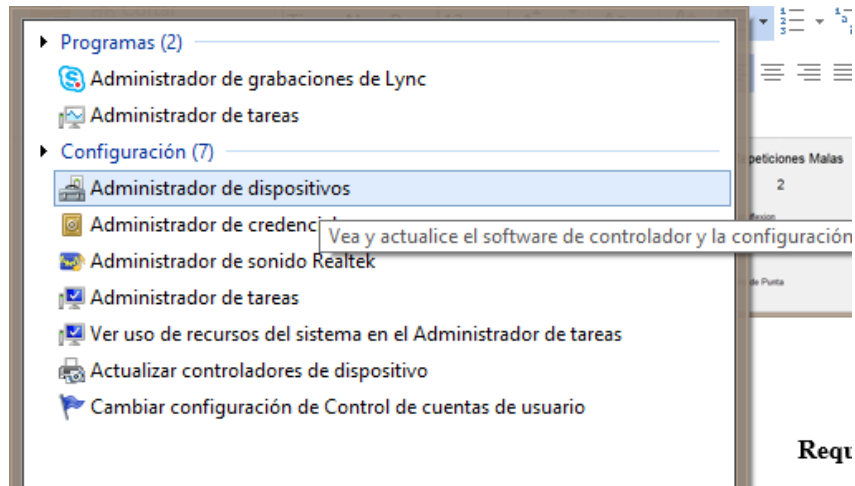


Figura 8. Búsqueda de Puerto Serial

- Seleccione los puertos COM y verifique el puerto

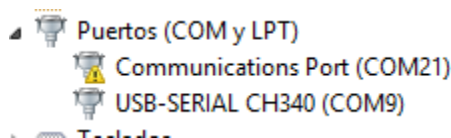


Figura 9. Identificación de Puerto COM

Terminado este ya está todo listo para ejecutar la aplicación.

La aplicación de visualización será un archivo con extensión .exe por lo que se podrá ejecutar en cualquier maquina con sistema operativo Windows como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Aplicación DAnkle

Dar doble clic sobre la aplicación y se desplegara inmediatamente.

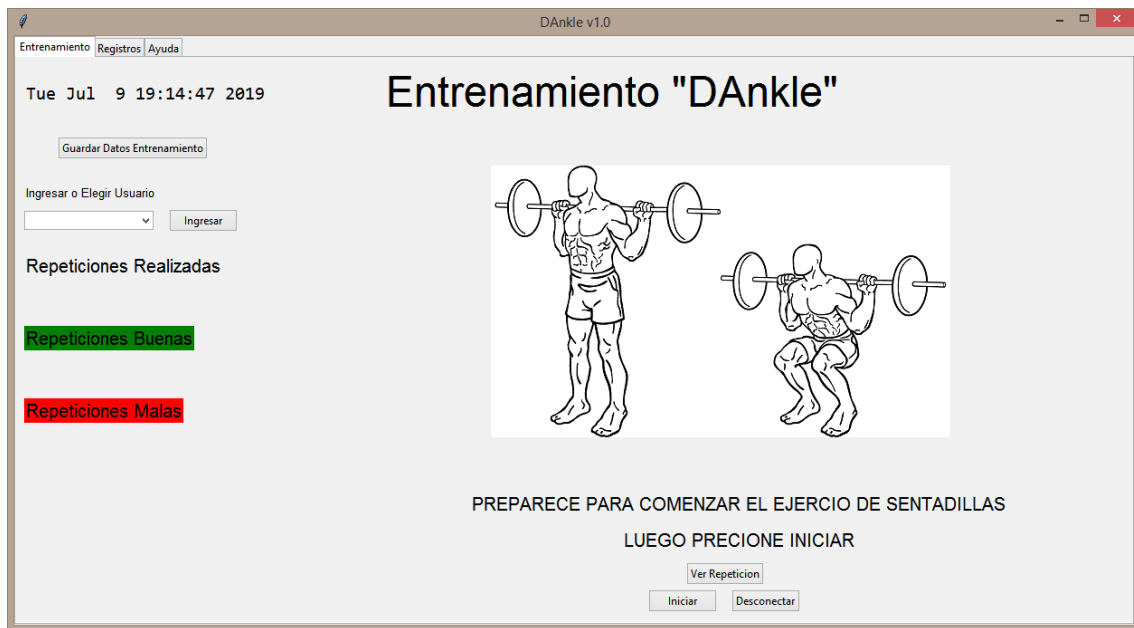


Figura 11. Aplicación DAnkle

Para iniciar el registro seleccione su usuario o ingréselo como se muestra en la figura 12.

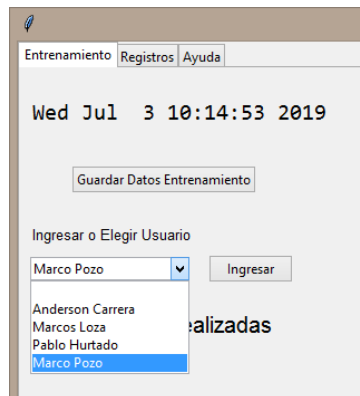


Figura 12. Ingreso de Usuario

A continuación puede iniciar la aplicación DAnkle como lo muestra la figura 5.

Presionando el botón “Ver Repetición” se podrá visualizar la animación de la repetición realizada como lo muestra la figura 13.



Figura 13. Animación en Sistema Dankle

Al terminar la ejecución del ejercicio usted puede guardar el registro de su entrenamiento dando clic en el botón guardar mostrado en la figura 14

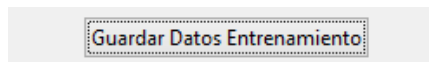


Figura 14. Botón de Guardado

De la misma forma lo puede visualizar en la pestaña Registro y presionando el botón “Ver Registro de Entrenamiento” como lo indica la figura 15



Figura 15. Registro de entrenamiento

En la pestaña Ayuda se encuentra disponible este Manual de Usuario y el Plan de Contingencia anti Fallos para que sepa que hacer en caso de fallos como lo muestra la figura 16.

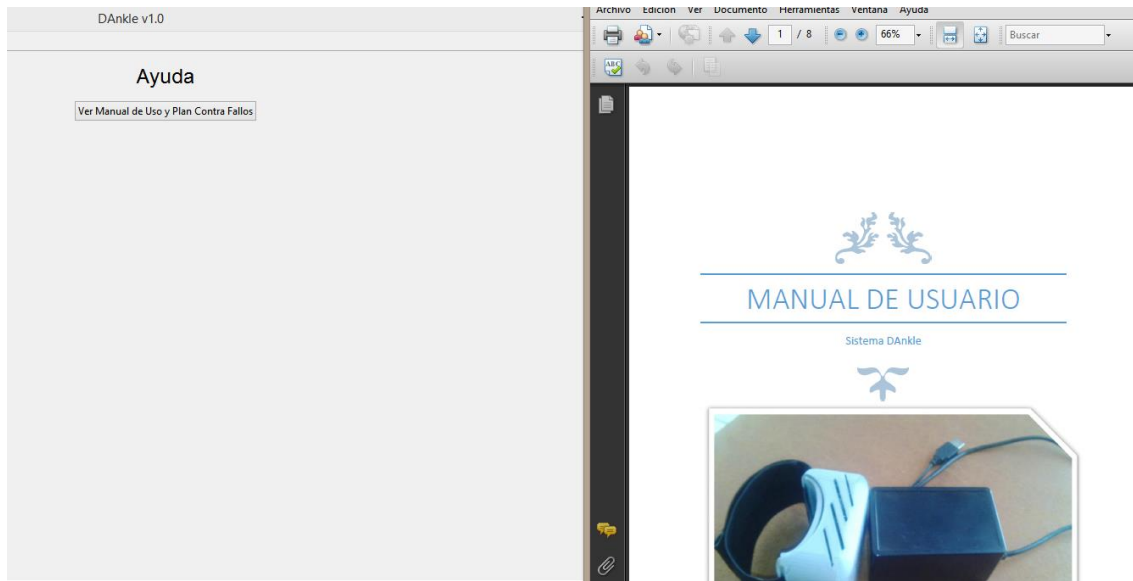


Figura 16. Visualización de Manual de Usuario y Plan de Contingencia

## **Anexo 12.**

### **Plan de Contingencia y Fallos de DAnkle**

El plan de contingencia y fallos de Dankle es indispensable para solventar fallos del sistema en caso de que ocurran. Con este plan el usuario podrá asegurarse que la tobillera o el receptor están en óptimas condiciones para poder utilizarse.

#### **Casos de Fallos**

##### **Tobillera (DAnkle)**

- Cuando no encienda ningún led ni sonido al inicio del ejercicio: Si se llega a dar este caso puede ser debido a que la batería del prototipo se acabó, por lo que podrá cargarla durante 30 minutos para poder volver a realizar el ejercicio.
- Alarma inactiva: Si a pesar de realizar una sentadilla de mala manera la alarma no se dispara, apague el sistema y vuelva a iniciarlo.
- Cuando la posición de las puntas de mis pies estén hacia afuera y el led sea de color rojo:

Para solucionar este inconveniente tiene dos maneras:

1. Reiniciar el sistema.
2. Poner las puntas de los pies rectos y volver a abrirlas.

- Cuando se moje el circuito o sufra un fuerte golpe y ya no funcione: Si se llega a dar dicho caso ya no lo manipule más y acérquelo a revisión por parte del diseñador del sistema Brayan Calderón.

##### **Visualización (DAnkle)**

- Falla al iniciar el sistema DAnkle: Si al iniciar la aplicación DAnkle no recibe ningún cambio, vuelva a presionar el botón de iniciar, si esto no resuelve el problema desconecte y conecte de nuevo el receptor del puerto y verifique el puerto COM al que está conectado.
- Si se presentara el caso en el que el sistema presenta demasiados errores suspenda el uso del sistema por precaución y acérquelo para que se realice una revisión donde la persona encargada.

**Anexo 13. Autorización de Trabajo dentro del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte.**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FICA-CIERCOM

Ibarra, 19 de Enero del 2018

**Asunto:** Autorización para desarrollar proyecto de titulación en el Gimnasio UTN

**Lic. Juan Vásquez**

**Coordinador del Gimnasio de la "Universidad Técnica del Norte"**

**PRESENTE**

Por medio del presente, le reiteramos un cordial saludo. Como estudiantes de la carrera de Electrónica y Redes de Comunicación (**Lizandro Maldonado, Brayan Calderón y Anderson Dibujes**). Estamos realizando el trabajo de titulación basado en un prototipo electrónico que mejore las condiciones de entrenamiento de los deportistas dentro del Gimnasio-UTN, por lo que necesitamos se nos otorgue los permisos correspondientes para realizar encuestas, entrevistas y pruebas de funcionamiento de prototipo dentro del gimnasio.

Razón por la cual se espera contar con su **autorización** para llevar a cabo las actividades mencionadas con anterioridad.

Éxitos en sus actividades cotidianas

**FIRMA**

Lic. Juan Vásquez

Coordinador del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte (UTN)