

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL APOYO DEL
PROCESO DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LAS PRUEBAS
SEMIOLÓGICAS DE CAJÓN (RODILLA).

JOHAN SEBASTIAN MONCADA TREJOS
ROOSEVELT MAURICIO RAYO GARCÍA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PEREIRA
2017

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL APOYO DEL
PROCESO DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LAS PRUEBAS
SEMIOLÓGICAS DE CAJÓN EN LA RODILLA.

JOHAN SEBASTIAN MONCADA TREJOS
ROOSEVELT MAURICIO RAYO GARCÍA

INFORME DE PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

ASESOR
GUILLERMO CÉSPEDES
INGENIERO ELECTRÓNICO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PEREIRA
2017

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Pereira, 2017

Dedicamos este proyecto a nuestras familias y amigos más cercanos que nos motivaron día a día para alcanzar nuestras metas

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por habernos dado la sabiduría, inteligencia y habernos guiado por el mejor camino para lograr nuestras metas.

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

A nuestros padres, hermanos y familiares que estuvieron a nuestro lado brindándonos su apoyo para continuar adelante con este sueño y así alcanzar esta tan anhelada meta de ser profesionales.

A nuestros amigos y compañeros que de una u otra forma hicieron parte de este proceso.

A nuestro tutor Guillermo Céspedes, quien siempre estuvo dispuesto a colaborarnos y a compartir sus conocimientos.

A los profesores que nos brindaron sus conocimientos y nos dieron las herramientas necesarias para adquirir mejores bases académicas y profesionales y así forjar este nuevo triunfo en nuestras vidas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. ENFOQUE METODOLÓGICO.....	14
2.1 METODOLOGÍA	14
2.2 CRONOGRAMA.....	16
3. MARCO TEÓRICO	17
3.1 MARCO CONTEXTUAL.....	17
3.1.1 RODILLA.....	17
3.1.2 LIGAMENTOS CRUZADOS	18
3.1.3 RUPTURA DE LIGAMENTO CRUZADO	18
3.1.4 PRUEBA DE CAJÓN.....	18
3.2 MARCO CONCEPTUAL	20
3.2.1 PLATAFORMAS.....	20
3.2.1.1 ARDUINO	20
3.2.2 SENSORES	20
3.2.3 SENSORES DE PROXIMIDAD	20
3.2.4 MYSQL (<i>My Structured Query Language</i>)	21
3.2.5 ARTRÓMETRO	21
3.2.6 FISIOTERAPIA.....	21
3.2.7 SEMIOLOGÍA.....	21
4. DESARROLLO DEL PROYECTO	22
4.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	22
4.2 JUSTIFICACIÓN	22
4.3 ANTECEDENTES	23
4.3.1 ESTADO DEL ARTE INTERNACIONAL.....	23
4.3.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	25

4.3.3	ANTECEDENTES NACIONALES.....	28
4.4	DETERMINACIÓN DE NECESIDADES.....	29
4.4.1	DETERMINACIÓN DE ESPECIFICACIONES.....	29
4.4.2	ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE.....	29
4.4.3	CONCLUSIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	40
5.	DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	41
5.1	DISEÑO DEL HARDWARE.....	41
5.2	DISEÑO DEL SOFTWARE.....	49
6.	IMPLEMENTACIÓN.....	65
6.2	IMPLEMENTACIÓN DEL ARTRÓMETRO.....	70
7.	PRUEBAS.....	73
7.1	PRUEBAS DEL SISTEMA.....	73
7.2	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	74
7.3	PRUEBAS DEL PROTOTIPO.....	79
8.	CONCLUSIONES.....	84

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Estructura de la rodilla	17
Ilustración 2: Artrómetro KNEELAX 3	23
Ilustración 3: Artrómetro KT-1000	23
Ilustración 4: Artrómetro GNRB	24
Ilustración 5: Simulador entrenado de cirugía de rodilla -KNT-1	25
Ilustración 6: Conexión pruebas de funcionamiento sensor Ultrasonido	32
Ilustración 7: Código de pruebas sensor Ultrasónico	33
Ilustración 8: Monitor de serie	34
Ilustración 9: Resultados sensor Ultrasónico HC-SR04	35
Ilustración 10: Conexión pruebas de funcionamiento sensor SHARP	37
Ilustración 11: Código de pruebas sensor SHARP	38
Ilustración 12: Resultados sensor SHARP	39
Ilustración 13: ARDUINO UNO	42
Ilustración 14: Sharp GP2Y0A41SK0F	43
Ilustración 15: IMU MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio.....	44
Ilustración 16: Buzzer (Zumbador)	45
Ilustración 17: Estructura de aluminio	45
Ilustración 18: Material de neopreno	46
Ilustración 19: Prototipo y sus componentes.....	46
Ilustración 20: Prototipo acoplado	47
Ilustración 21: Diseño esquemático	48
Ilustración 22: Diagrama de actividad general	54
Ilustración 23: Diagrama de actividad Profesional.....	55
Ilustración 24: Diagrama de actividad Administrador	55
Ilustración 25: Diagrama de componentes.....	58
Ilustración 26: Modelo relacional base de datos	59
Ilustración 27: Vista Control de acceso	65
Ilustración 28: Vista Gestión de usuarios	66
Ilustración 29: Vista Gestión de pacientes	67
Ilustración 30: Vista Gestión técnica. Configuración	68
Ilustración 31: Vista Gestión técnica. Toma de datos.....	68
Ilustración 32: Vista Gestión técnica. Consulta de resultados	69
Ilustración 33: Vista Gestión técnica. Consulta de históricos	69
Ilustración 34: Esquema de programación	70
Ilustración 35: Distribución del prototipo	71
Ilustración 36: Montaje del circuito	72
Ilustración 37: Ensamble del prototipo	72
Ilustración 38: Funcionamiento del prototipo + aplicación	73
Ilustración 39: Resultados Distancia inicial	80

Ilustración 40: Resultados Desplazamientos..... 81
Ilustración 41: Prueba envió de desplazamientos 82

TABLAS

Tabla 1: Cronograma.....	16
Tabla 2: Análisis de plataformas.....	30
Tabla 3: Análisis de sensores.....	30
Tabla 4: Estimación de costos.....	48
Tabla 5: Diccionario de datos "paciente".....	60
Tabla 6: Diccionario de datos "configuracion".....	61
Tabla 7: Diccionario de datos "perfil".....	62
Tabla 8: Diccionario de datos "usuario".....	63
Tabla 9: Diccionario de datos "toma_datos".....	63
Tabla 10: Diccionario de datos "toma_datos".....	64
Tabla 11: Pruebas de verificación de requerimientos.....	74
Tabla 12: Prueba Crear usuario.....	74
Tabla 13: Prueba Modificar usuario.....	75
Tabla 14: Prueba Eliminar usuario.....	75
Tabla 15: Prueba Visualizar usuarios.....	75
Tabla 16: Prueba Crear paciente.....	76
Tabla 17: Prueba Modificar paciente.....	76
Tabla 18: Prueba Eliminar paciente.....	76
Tabla 19: Prueba Visualizar paciente.....	77
Tabla 20: Prueba Registrar paciente.....	77
Tabla 21: Prueba Configuración.....	78
Tabla 22: Prueba Toma de datos.....	78
Tabla 23: Prueba Consulta de resultado.....	78
Tabla 24: Prueba Consulta de históricos.....	79
Tabla 25: Prueba sensor de proximidad pierna izquierda.....	80
Tabla 26: Prueba de inclinación y tono.....	81

RESUMEN

Durante la fase académica de la fisioterapia, los profesionales en proceso de formación deben identificar y discriminar las patologías dependiendo de varios contextos que su paciente pueda describir, al igual que dictar un diagnóstico adecuado teniendo en cuenta la integridad del mismo. Por lo cual se realiza un prototipo hardware y software, que tiene como finalidad el acompañamiento y apoyo del proceso de formación en las pruebas semiológicas de rodilla (signo de cajón anterior y posterior).

El prototipo está conformado por una rodillera, la cual tiene implantado sensores por medio de los cuales se toma información de desplazamiento y posicionamiento. Luego de obtener la información se procesa en una plataforma hardware como lo es el ARDUINO y a través del software se muestran los resultados obtenidos en la realización de la prueba semiológica de rodilla.

Palabras claves: Hardware, Fisioterapia, Software, Terapia física, Pruebas semiológicas, Pruebas de cajón, Semiología, Sensores, Plataformas, Signos de cajón.

ABSTRACT

During the academic phase of the physiotherapy, the professionals-to-be must identify and discriminate the pathologies depending on the diverse context that their patients can describe as well as issue a diagnose considering the integrity thereof. That is why a hardware and software prototype is created in order to accompany and support the semiological test process (sign of the anterior and posterior drawer).

This prototype consists of a knee pad with some sensors implanted. In the first place, information about the pressure and movement are obtained through these sensors. After obtaining the information, it is processed in a hardware platform such as Raspberry or ARDUINO whereby the results obtained in the semiological test of the knee are displayed.

Key words: Hardware, Software, Physiotherapy, physical therapy, Semiological test, Drawer test, Semiology, Sensors, Platforms, Drawer Signs.

INTRODUCCIÓN

La fisioterapia es una carrera profesional, derivada de las ciencias de la salud, la cual se ha encargado de estudiar el movimiento corporal humano de una manera no invasiva, lo cual hace que la interacción entre el paciente y el profesional sea más cercana. Durante la fase académica de la fisioterapia, los profesionales en proceso de formación deberán identificar y discriminar las patologías dependiendo de varios contextos que su paciente pueda describir, al igual que dictar un diagnóstico adecuado teniendo en cuenta la integridad del mismo.

Uno de los ayudantes para corroborar y determinar un diagnóstico fisioterapéutico son las pruebas semiológicas, en este caso las pruebas de cajón siendo esta una prueba objetiva “movilización de la tibia”, obteniendo resultados subjetivos “dolor o molestia por parte del paciente”. Las pruebas de cajón son test específicos para identificar una posible lesión, desgarro o daño en especial las que componen el sistema musculoesquelético, y así disponer un plan de tratamiento para el paciente.

Este proyecto tiene como objetivo apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las pruebas semiológicas de cajón realizadas por los profesionales de fisioterapia, mediante un prototipo de hardware y software, en la que la estructura que integra diferentes sensores y lecturas obtenidas de ellos ofrece el resultado de posible ruptura o no en el momento de aplicar la prueba semiológica de cajón (rodilla).

De este modo se le facilita al estudiante de fisioterapia su proceso de enseñanza-aprendizaje ya que brinda una facilidad para lograr el entrenamiento en la elaboración de un adecuado diagnóstico y responde las preguntas ¿qué?, ¿porqué? y ¿para qué? de dicha prueba. Y al docente se le brinda una herramienta útil a la hora de orientar su contenido.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Crear un prototipo de hardware y software para el apoyo del proceso de enseñanza-aprendizaje de las pruebas semiológicas de cajón (rodilla).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar la información necesaria para el diseño y construcción del prototipo.
- Diseñar e implementar hardware del prototipo.
- Diseñar e implementar software del prototipo.
- Acoplar hardware y software del prototipo.
- Realizar pruebas de funcionamiento del Prototipo acoplado.

2. ENFOQUE METODOLÓGICO

El presente proyecto enmarcado en un enfoque cualitativo busca desarrollar una herramienta que permita facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los profesionales en fisioterapia en el momento de realizar la prueba semiológica de cajón.

Con este enfoque se busca identificar a través del análisis de la información recolectada en el estado del arte y observaciones de profesionales en el campo de la fisioterapia, una idea clara y adecuada del paciente en un tiempo determinado.

A continuación, se describe las fases que conforman la metodología para desarrollar el proceso.

2.1 METODOLOGÍA

- FASE DE RECOLECCIÓN DEL ESTADO DEL ARTE:

En esta fase se recolecta y analiza el estado de arte de los diferentes prototipos, dispositivos, aplicaciones, investigaciones y bibliografías que se refieren a dispositivos que traten lesiones de ligamento cruzado o ayuden a su diagnóstico. Las actividades que se contemplan en esta fase son:

- ❖ Buscar información de proyectos, artículos, investigaciones, prototipos y dispositivos en el mercado.
- ❖ Determinar los datos técnicos encontrados en los proyectos encontrados para definir las características básicas del prototipo.

- FASE DE DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS:

En la fase de determinación de requerimientos se busca establecer las especificaciones funcionales y no funcionales que serán cubiertas por el prototipo. Las actividades contempladas en esta fase son:

- ❖ Determinar las especificaciones que tendrá el prototipo.

- FASE DE DISEÑO:

En la fase se define el dispositivo con suficiente detalle para permitir su realización física, se realiza el diseño hardware y software. Donde se establecen la tecnología y elementos necesarios para la construcción del dispositivo.

Las actividades necesarias son:

- ❖ Establecer requerimientos funcionales del software y hardware con los recursos necesarios para el desarrollo del prototipo.
- ❖ Diseñar la base de datos con su respectiva parametrización.
- ❖ Implementar la base de datos para la aplicación.
- ❖ Documentar los procesos de diseño.

- FASE DE IMPLEMENTACIÓN Y ACOPLAMIENTO:

En esta fase se desarrolla y se acopla el prototipo, donde se programa tanto el hardware como el software necesario para finalizar con el acoplamiento. Las actividades de esta fase son:

- ❖ Programar del hardware.
- ❖ Ensamblar las piezas del dispositivo.

- FASE DE PRUEBAS:

En esta etapa se ejecutan y se documentan las pruebas funcionales del dispositivo, estas pruebas se evidenciarán con resultados de la aplicación del dispositivo. Las actividades que corresponden a esta fase son:

- ❖ Evaluar funcionalidad del prototipo a través de aplicación de pruebas funcionales.
- ❖ Documentación de la fase de pruebas.

En la realización del proyecto se empleará bajo un ciclo de vida de desarrollo de software como lo es la metodología ágil, bajo un marco de trabajo SCRUM, ya que este permite “abordar problemas complejos, adaptativos, a la vez que entregar productos del máximo valor posible de una forma productiva y creativa”, trabajándose en iteraciones de periodos de tiempo cortos.

2.2 CRONOGRAMA

Tabla 1: Cronograma
Fuente: Elaboración propia

ACTIVIDAD	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
1. OBJETIVO 1	■	■	■	■			
1.1. Búsqueda de dispositivos similares en el mercado	■	■	■				
1.2. Búsqueda del estado del arte		■	■	■			
1.3. Análisis del estado del arte			■				
2. OBJETIVO 2		■	■	■	■	■	
2.1 Establecer requerimientos y determinar el hardware		■	■	■			
2.2 Realizar el diseño del hardware			■	■	■		
2.3 Implementación del diseño				■	■	■	
2.4 Documentar el proceso					■	■	
3. OBJETIVO 3			■	■	■	■	
3.1 Establecer requerimientos y determinar el software			■	■	■		
3.2 Diseñar la base de datos				■			
3.3 Implementación del diseño					■	■	
3.4 Documentar el proceso						■	■
4. OBJETIVO 4				■	■	■	
4.1 Acoplamiento del prototipo				■	■	■	
4.4 Documentar el proceso					■	■	
5. OBJETIVO 5					■	■	■
5.1 Pruebas de sistema					■	■	■
5.2 Pruebas de funcionamiento						■	■
5.4 Documentar el proceso							■
6. OBJETIVO 6	■	■	■	■	■	■	■
6.1 Documento final de informe	■	■	■	■	■	■	■

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONTEXTUAL

3.1.1 RODILLA

Es una de las articulaciones más complejas e importantes del cuerpo humano y cuyas estructuras brindan la estabilidad mecánica necesaria tanto durante la realización de los movimientos disociados como la marcha, al igual que impactos directos como saltos. En esta articulación también se distribuyen las cargas de peso corporal, ya que cuenta con un sistema trabecular específico para realizar esta función [1], en la ilustración 1 se puede observar cómo está conformada la estructura de la rodilla.

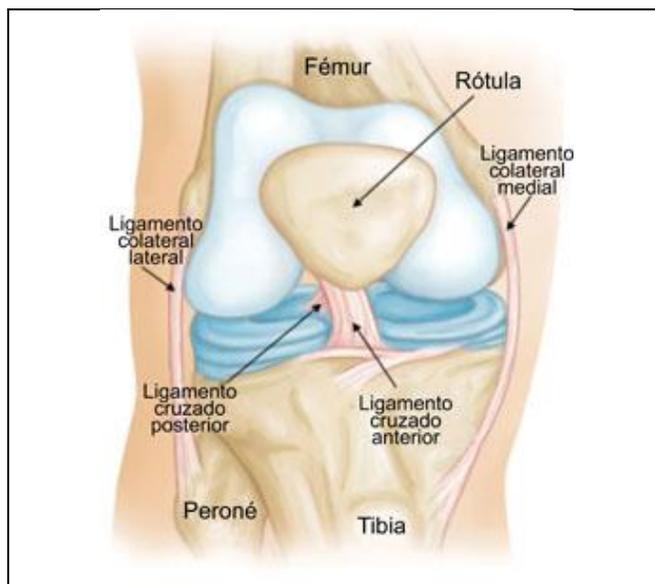


Ilustración 1: Estructura de la rodilla

Fuente [2]

Anatomía de la rodilla normal, vista anterior Tres huesos se unen para formar la articulación de su rodilla: el hueso del muslo (fémur) la meseta (tibia) y la rótula. La rótula está ubicada en la cara anterior de la articulación para proveer cierta protección.

3.1.2 LIGAMENTOS CRUZADOS

Los ligamentos cruzados de la rodilla son dos estructuras ligamentosas localizadas dentro de la articulación, uniendo fémur y tibia, para dar estabilidad sobre todo en la dirección anteroposterior de un hueso sobre el otro, cuya función es evitar el desplazamiento anterior y posterior de la epífisis tibial. El ligamento cruzado anterior (LCA) transcurre desde la parte posterior y externa de la escotadura intercondílea del fémur hasta su inserción anteromedial en la tibia. Cruza por delante del ligamento cruzado posterior (LCP) que discurre de forma contraria, desde la parte anterior y medial de la escotadura femoral hacia la región posterior de la tibia.

3.1.3 RUPTURA DE LIGAMENTO CRUZADO

Principales causas de rupturas de ligamentos cruzados

Ligamento cruzado anterior (LCA)

El LCA se lesiona con mucha frecuencia debido a torceduras, muchas veces por desplazar el cuerpo respecto a la pierna fija en el suelo, habitualmente estas lesiones se presentan en los pacientes que practican deportes como lo son el fútbol, baloncesto, balonmano, esquí, entre otros. También se lesionan en deportes de lucha como el judo, y el motocross o trial cuando se realiza un apoyo brusco del pie en el suelo.

Ligamento cruzado posterior (LCP)

El LCP se lesiona en caídas sobre la rodilla con golpe directo en su parte anterior, o en accidentes de tránsito, en los que la parte delantera del hueso tibial se golpea. La tibia se desplaza hacia atrás y rompe el cruzado que intenta frenar este movimiento en este caso el LCP.

3.1.4 PRUEBA DE CAJÓN

Es una prueba semiológica cuyo objetivo es realizar un desplazamiento anterior o posterior de la epífisis tibial obteniendo con esto un estrés del ligamento cruzado, la prueba se define como positiva para lesión o desgarro de este ligamento cuando el paciente refiere dolor intenso durante la realización de la prueba. La prueba se realiza con el paciente tumbado en cubito supino, cadera flexionada y la rodilla en un ángulo de 90°, el profesional se apoya ligeramente sobre el pie del

paciente para estabilizar la pierna y luego realizar el empuje o tracción de la tibia [2]

Caracterización de la prueba del cajón anterior

Objetivo: Valorar la integridad del Ligamento Cruzado Anterior (LCA).

Posición del paciente: Decúbito supino, con la rodilla flexionada a 90° y las caderas a 45°, pies apoyados sobre la mesa.

Posición del examinador: Semi-sentado sobre el pie del sujeto, bloqueándolo.

Ejecución: El examinador abraza con ambas manos la epífisis proximal tibial, sitúa los pulgares sobre la cara anterior de la interlinea para sentir el grado de desplazamiento anterior o aumento del escalón femorotibial, e induce una traslación anterior de la tibia en posición neutra de la rodilla.

Hallazgo positivo: Se aprecia un deslizamiento anterior excesivo del extremo proximal de la tibia respecto a los cóndilos femorales.

Caracterización de la prueba del cajón posterior

Objetivo: Valorar la integridad del Ligamento Cruzado Anterior (LCP) y del complejo posterolateral.

Posición del paciente: Decúbito supino, con rodillas y cadera flexionadas 90° y 45°, pies apoyados sobre la mesa.

Posición del examinador: Semi-sentado sobre el pie del sujeto, inmovilizándolo.

Ejecución: El examinador aplica la primera comisura de cada mano sobre la cara anterior de la epífisis proximal de la tibia, pulgares sobre la interlinea y con el resto de los dedos termina de abrazarla. En esta posición se imprime un empuje en sentido posterior intentando producir un cajón posterior. Este gesto debe repetirse con la tibia en rotación externa e interna.

Hallazgo positivo: Excesiva traslación posterior del extremo proximal de la tibia respecto al fémur.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

3.2.1 PLATAFORMAS

El Raspberry Pi y ARDUINO son plataformas de desarrollo de múltiples aplicaciones, utilizadas para propósitos generales, que surgen como propulsores de la iniciativa de inventar, crear e innovar desde gadgets prácticos de uso cotidiano hasta aplicaciones más complejas. Son vistos como opción debido a su relativo bajo costo teniendo en cuenta todas las oportunidades que ofrecen.

3.2.1.1 ARDUINO

ARDUINO es una plataforma electrónica open source, compuesta de hardware y software para diseñar, desarrollar y realizar pruebas de productos, y, sobre todo, prototipos electrónicos. El hardware consiste en un microcontrolador con otros componentes electrónicos que pueden ser programados usando el software para una amplia variedad de aplicaciones.

ARDUINO facilita el tener un dispositivo de tamaño reducido, móvil, flexible, con la capacidad de sentir y afectar el entorno por medio de periféricos. Esta plataforma electrónica de código abierto cuenta con grandes ventajas de ellas resalta la siguiente que es el contar con una amplia red de colaboradores a nivel mundial quienes comparten librerías y código implementado para que el resto de la comunidad interesada lo implementen [3].

3.2.2 SENSORES

Los sensores son dispositivos que se adaptan a la placa ARDUINO por medio de los cuales “obtienen información del mundo físico externo y la transforman en una señal eléctrica” en [4], podemos encontrar sensores de diferentes tipos que ayudan a facilitar la obtención de información como lo son: de temperatura, de presión, de fuerza, de humedad, de movimiento, de sonido, etc.

Los actuadores son dispositivos que se adaptan a la placa ARDUINO los cuales tiene como objetivo el “es llevar la información al microcontrolador por medio de señales eléctricas acabadas de procesar en energía que actúa directamente sobre el mundo físico” en [4], el cual se percibe como una salida, luego de procesar la información obtenida por el sensor u orden programada desde la placa ARDUINO, podemos encontrar diferentes actuadores que permiten afectar el entorno como lo son: un motor, una bombilla, un altavoz, etc.

3.2.3 SENSORES DE PROXIMIDAD

Los sensores de proximidad se utilizan para la detección de la presencia de objetos (u obstáculos) sin la necesidad de contacto y por lo tanto se utilizan para

medir distancias a los mismos. Existen gran variedad de sensores, las distancias de detección dependen básicamente de la tecnología del sensor y del medio de transmisión, y llegan desde pocos milímetros hasta varios metros. [5]

3.2.4 MYSQL (*My Structured Query Language*)

MySQL es un sistema de administración de bases de datos relacional (RDBMS). Se trata de un programa capaz de almacenar una enorme cantidad de datos de gran variedad y de distribuirlos para cubrir la necesidad de cualquier tipo de organización.

MySQL utiliza el lenguaje de consulta estructurado (SQL). Se trata del lenguaje utilizado por todas las bases de datos relacionales. Este lenguaje permite crear bases de datos, así como agregar, manipular y recuperar datos en función de criterios específicos. [6]

3.2.5 ARTRÓMETRO

Un artrómetro, también referido como un goniómetro, como una herramienta de diagnóstico ortopédico para la medición de la amplitud de movimiento en las articulaciones. Los fabricantes crean cada dispositivo para medir la flexibilidad y la rigidez de los ligamentos de una articulación en particular.

Los artrómetros se pueden fabricar para las articulaciones del hombro, vertebrales o tobillo, pero la mayoría se utiliza para evaluar problemas en los ligamentos de la rodilla. Sensores en el registro de dispositivo de movimiento articular y por lo general transmiten la información a un grafo conexo, proporcionando una pantalla copia visual y con problemas de articulación conjunta durante la evaluación [7].

3.2.6 FISIOTERAPIA

Es la rama de la salud encargada de evaluar, analizar, habilitar y rehabilitar el movimiento corporal humano; cualquier movimiento corporal incluye desde los huesos, músculos, cerebro, circulación del sistema linfático hasta el peristaltismo, como tal trata toda la dimensión del cuerpo humano.

Es una de las ciencias de la salud que acompaña todo el ciclo de la vida del ser humano desde antes de la concepción hasta el fallecimiento, teniendo como enfoque principal la integridad del paciente sin importar si la persona se encuentra sana o con alguna alteración haciendo promoción, prevención, habilitación, rehabilitación y evaluación [8].

3.2.7 SEMIOLOGÍA

Ciencia encargada de estudiar los signos y sistemas de una patología en específico, es la herramienta fundamental para determinar un diagnóstico médico y fisioterapéutico; La semiología ayuda a llegar a un diagnóstico mas no lo determina. [1]

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es una de las causas de las fallas en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las pruebas semiológicas de cajo (rodilla) en los estudiantes de fisioterapia?

A lo largo de muchos años se ha observado que los profesionales de fisioterapia en proceso de formación asimilan algunos conocimientos de manera deficiente por su nivel de complejidad, carencia de recursos y pocas herramientas tecnológicas, haciendo más difícil el proceso de enseñanza-aprendizaje, para aquellos que no son kinestésicos y requieren otros métodos para asimilar, captar e integrar sus conocimientos teórico-prácticos.

4.2 JUSTIFICACIÓN

La fisioterapia como cualquier rama de la salud pretende salvaguardar la integridad y bienestar del paciente. Por lo tanto, se busca generar un adecuado aprendizaje de la prueba semiológica de cajón y facilitar la identificación del diagnóstico por medio de este prototipo de hardware y software como un ayudante y así construir un apropiado plan de intervención para el paciente.

Por medio del prototipo se disminuye el nivel de complejidad del aprendizaje de los conocimientos teórico-prácticos de las pruebas semiológicas de cajón; fortaleciendo a los estudiantes no kinestésicos de una forma dinámica en el manejo de conceptos y aplicación de la prueba semiológica. El prototipo emplea una interacción directa con la estructura de la articulación y la técnica semiológica aplicada, dictando al finalizar la prueba un posible diagnóstico ya que toma en cuenta el desplazamiento normal que realiza la tibia hacia anterior con referencia al fémur y analiza el desplazamiento que se está teniendo a la persona en el momento determinado si presenta o no desplazamiento anormal.

El prototipo no es una herramienta que da un diagnóstico de lesión, ruptura o desgarramiento de ligamentos, sino un apoyo para el estudiante al momento de realizar dicha técnica. Contemplando como función del prototipo la indicación de la posición e inclinación en la cual se debe aplicar la técnica.

4.3 ANTECEDENTES

4.3.1 ESTADO DEL ARTE INTERNACIONAL

Como primera instancia, se describirán las tecnologías existentes a nivel internacional las cuales son:

- KNEELAX 3



Ilustración 2: Artrómetro KNEELAX 3

Como se puede observar en la ilustración 2, el KNEELAX3 es un artrómetro que se utiliza para Evaluar la traslación tibial anterior tras la lesión anterior del ligamento cruzado posterior, durante el proceso de rehabilitación para evaluar los cambios en la laxitud de la rodilla después de la lesión del ligamento cruzado anterior o posterior.

- KT-1000



*Ilustración 3: Artrómetro KT-1000
Fuente [9]*

Se trata de un instrumento que se ha desarrollado para una medición objetiva de la laxitud anterior-posterior de la rodilla en el plano sagital. Como se observa en la ilustración 3, el paciente se encuentra en posición supina con flexión de rodilla de unos 20° a 30°, apoyándose con una plataforma firme colocada proximal al espacio poplíteo.

El artrómetro KT-1000 fue desarrollada por Dale Daniel, MD, en San Diego, en la década de 1980 para proporcionar una mejor evaluación objetiva tanto del diagnóstico de un desgarró de LCA y también lo bien que el injerto de reconstrucción de LCA se cura después de la cirugía.

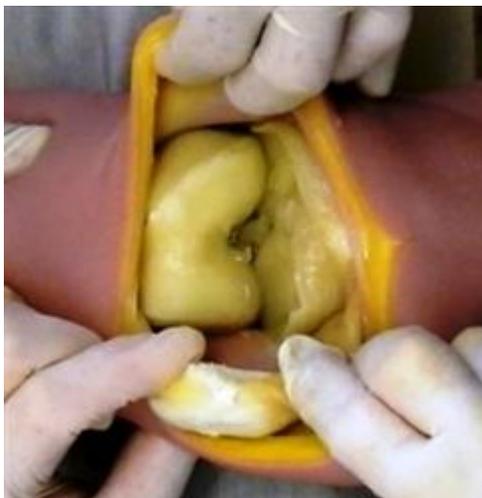
- GNRB



*Ilustración 4: Artrómetro GNRB
Fuente [10]*

Este dispositivo observado en la ilustración 4, está diseñado para evaluar eficazmente el estado de las estructuras ligamentosas de la rodilla. Para ello, La corporación Genourob utiliza su método automatizado de laximetría dinámica. El GNRB aplica este método haciendo la traducción tibial automatizada en la pierna del paciente. Otra versión de este método también se puede encontrar en el ROTAM, que es el primer artrómetro motorizado de rotación tibial. La utilidad de estos dispositivos se extiende desde la fase preoperatoria hasta la fase postoperatoria de la gestión médica del paciente. Realizar pruebas con las dos una tras otra permite a los médicos realizar un examen completo y general de la laxitud de la rodilla [12].

- Simulador Entrenador Cirugía de Rodilla - KNT-1.



*Ilustración 5: Simulador entrenado de cirugía de rodilla -KNT-1
Fuente [11]*

Como se puede observar en la ilustración 5, es simulador comercial permite al usuario ejercer diferentes “procedimientos de formación, como el ligamento cruzado, la inserción de la prótesis, cirugía de menisco, triangulación endoscópica y mucho más. ES posible diagnosticar lesiones, elegir la mejor opción y manejar las complicaciones. Entrenador de rodilla es perfecto porque proporciona textura, profundidad y realismo, cualidades fundamentales para la mejor formación” en [9].

4.3.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Al realizar una revisión bibliográfica internacional sobre herramientas y técnicas para evaluación de lesiones y rupturas de ligamentos, se encuentra el artículo realizado por Arango García, Prado García OE, Méndez Fornaris A. publicada en la Revista cubana de ortopedia y traumatología de Cuba en el año 1998, nombrado “*Artrómetro de rodilla para lesiones de ligamentos cruzados (constrúyalo usted)*”, que muestra el método para construir un artrómetro que se emplea en la medición de las inestabilidades anteroposteriores de la rodilla en Servicios de Ortopedia con poco poder adquisitivo. El material utilizado es muy económico pues está compuesto por tiras de aluminio de ancho, espesor y longitud diferentes según los componentes, así como remaches y tiras de tela con hebillas para asir el dispositivo a la extremidad inferior. Planteando que con esta

construcción se puede obtener un buen resultado con este artrómetro, pues la magnitud del desplazamiento anterior de la tibia sobre el fémur es fácilmente medible antes y después de la reconstrucción ligamentosa y muy económica frente a otros artrómetros como lo son el KT-1000 o 2000, que son muy costosos [10].

También otro artículo que muestra la validación de un artrómetro llamado GNRB comparado con otro instrumento de nombre TELOS. Este es titulado “*Validity of GNRB® arthrometer compared to Telos™ in the assessment of partial anterior cruciate ligament tears*”, realizado por Lefevre, N., Bohu, Y., Naouri, J.F publicado en la revista: “*Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*” en el año 2014 [11].

Por otro lado en la revista Artroscopia en el año 1998, se publicó el artículo nombrado “*Evaluación artrométrica de rodilla con KT 1000 en pacientes con ruptura del L.C.A sin y con anestesia*”, realizada por los doctores Arturo Makino, Esteban Garces, Matías Costa Páz, Luis A. Ponte, Dr. Musco, en la cual evaluaron prospectivamente 21 pacientes con diagnóstico clínico de lesión de ligamento cruzado anterior con el artrómetro KT-1000 antes y durante los efectos de la anestesia [12].

La Universidad Pública de Navarra (UPNA) junto con otros dos centros de educación europeos, desarrollan un videojuego en tres dimensiones el cual tiene como objetivo “mejorar el proceso de aprendizaje del llamado razonamiento clínico en fisioterapia y permitirá un entrenamiento más intenso y con muchos más casos clínicos que el uso de la simulación con pacientes ficticios” este proyecto toma como nombre PETRHA (Physiotherapy E-Training Re-Habilitation) [10].

También se encuentran diferentes proyectos de grado como el siguiente que hace referencia a “*Lesión de ligamento cruzado anterior en el futbol femenino*”, realizado por Parra Cruz, Cristina en la Universidad Politécnica de Madrid en el 2014, dicho trabajo tiene como tema central de estudio y análisis, la lesión del Ligamento Cruzado Anterior (LCA) en el fútbol femenino. Estudiando el índice de lesión del ligamento cruzado anterior de las mujeres que se dedican al deporte como lo es el futbol y cuáles son las causas que provocan la lesión [14].

Se encuentra en la búsqueda un artículo de nombre “*Interpretación de la maniobra de pivote mediante el uso de acelerómetros en pacientes que acuden a consulta ortopédica*”, de los siguientes autores Berumen-Nafarrate E, Tonche-Ramos J,

Carmona-González J, Leal-Berumen I, Vega-Nájera CA, Díaz-Arriaga JM, Espinoza-Sánchez MA, Aguirre-Madrid A, realizado en el Hospital Christus Murguerza del Parque, Chihuahua, Chih. Donde se puede observar que los ligamentos cruzados (LC) de la rodilla, anterior (A) y posterior (P), localizados dentro de la articulación, unen fémur y tibia, dando estabilidad sobre la dirección anteroposterior de un hueso sobre otro. El LCA puede lesionarse mediante rotaciones provocadas en algún deporte que implique giro con el pie apoyado sobre el suelo. Las lesiones del LCA se determinan con maniobras como la de Lachman, cajón y pivote. Se utilizan acelerómetros que permiten graficar la maniobra de pivote en pacientes que acuden a consulta ortopédica, utilizando la prueba de KT1000 como estándar de oro. El trabajo ha sido aprobado por el Comité de Ética del Hospital. Estudio descriptivo entre casos y controles. **Resultados:** 92 pacientes aceptaron participar mediante consentimiento informado, nueve casos resultaron con KT1000 positivo, de los negativos, seleccionamos nueve controles afines a edad y género. Alteraciones de KT1000 fueron mayores en mujeres (78%) y en 67% de los casos la pierna alterada fue la derecha. Los resultados promedio de KT1000 en casos fue de 5.44 mm, en controles de 0.66mm. Los acelerómetros permitieron graficar la maniobra de pivote y observamos gráficas similares tanto en casos y controles, solamente se muestran diferencias notables en un paciente masculino con KT1000 de 15 mm que fue sometido a reparación de LCA izquierdo, la maniobra se realizó al estar sedado. Concluimos que el paciente, en estado consciente, pone resistencia en la maniobra, a diferencia de la obtenida con anestesia, y que el uso de acelerómetros permite documentar la maniobra de pivote observando diferencias entre un LCA normal y uno lesionado [15].

Al realizar una revisión bibliográfica regionales sobre herramientas y técnicas para evaluación de lesiones y rupturas de ligamentos, se encuentra la investigación denominada como “*Análisis de los ejercicios de fuerza ejecutados durante el entrenamiento de fútbol y su relación con las lesiones del tren inferior en la categoría sub 17 del club deportivo el nacional*” realizado por Zaldumbide Peralvo y Andrés Sebastián en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Ecuador en el año del 2013, en el cual por medio de esta investigación se busca desmitificar que el uso de máquinas de resistencia no funcional sea un trabajo idóneo para los ejercicios de fuerza en el entrenamiento de fútbol [15].

También se encontró el proyecto de grado de nombre “*Diseño e implementación de un sistema para el análisis de movimiento corporal humano*” realizado por G. J. Ortiz Villamarín, W. A. Mosquera Yépez en el 2015, en el cual por medio del sistema que se plantea, busca facilitar el análisis del ciclo de la marcha, brindando una solución eficaz a la complejidad e inconvenientes al momento de la toma de datos del paciente, ya que permite captar los movimientos de manera continua e

ininterrumpida, y sobre todo, en tiempo real; implementándose dentro de un entorno de pruebas, que consta de varias plataformas de peso, y un sensor Kinect, el cual permiten recolectar la información, procesarla y ordenarla para ser almacenada en una base de datos.

4.3.3 ANTECEDENTES NACIONALES

En la revisión bibliográfica a nivel nacional se destacó la siguiente publicación denominado “Desarrollo de un software de análisis biomecánico a través de datos de captura de movimiento usando el sensor KINECT para rehabilitación asistida con video juegos” publicada en la revista Entre Ciencia y Tecnología de la Universidad Católica de Pereira, teniendo como autores a J. F. Villada, J. E. Muñoz y J. D. Hoyos, en el cual se presenta el potencial del dispositivo Kinect de Microsoft como una herramienta para la rehabilitación de lesiones, enfermedades y traumatismos en el cuerpo humano la cual permite a los pacientes controlar e interactuar ambientes virtuales con diferentes tipos de aplicaciones sin necesidad de manipular ningún dispositivo de juego o alguna interfaz háptica, permitiendo una interacción inalámbrica a través de una interfaz de usuario natural usando gestos. Todo esto con el fin de capturar en tiempo real datos como posiciones y ángulos de Euler de las articulaciones en movimiento normal y realizar un análisis de la movilidad con base en el Software para análisis biomecánico del movimiento BIOCIRAC, un seguimiento continuo al proceso de rehabilitación y la cuantificación de los resultados de la terapia [16].

4.4 DETERMINACIÓN DE NECESIDADES

Identificar las necesidades de los profesionales de fisioterapia que es el proceso más relevante para generar un prototipo funcional y enfocar el proyecto en los requisitos que se detecten para la construcción del artrómetro¹ y los pacientes con lesiones de ligamentos cruzados.

El proceso de identificación de necesidades se describe en las siguientes etapas: determinación de especificaciones del prototipo y análisis del estado del arte.

4.4.1 DETERMINACIÓN DE ESPECIFICACIONES

Para determinar las especificaciones necesarias se deben tener en cuenta las características de los artrómetros existentes en el mercado, las necesidades de los profesionales de fisioterapia, para ello se tiene en cuenta las investigaciones, tesis y artículos científicos realizados en el campo de la fisioterapia y ramas afines.

La recopilación de la información se realiza por medio de revisión bibliográfica de investigaciones, tesis y artículos científicos, con el fin de recolectar la información necesaria para realización del prototipo.

4.4.2 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

Teniendo en cuenta los dispositivos existentes en el mercado, las características de la prueba semiológica de cajón y el artículo descrito en antecedentes internacionales nombrado como *“Artrómetro de rodilla para lesiones de ligamentos cruzados (constrúyalo usted)”*, se presenta inicialmente el análisis comparativo de algunas plataformas que podrán aportar a la creación del prototipo observándose en la Tabla 2, las plataformas que se describen son aquellas existentes en el mercado que facilitan el trabajo con el hardware y software, se muestra de manera sencilla las características de cada una de estas plataformas. Esto con el fin de identificar las características de valor que tienen estas que pueden dar bases para el prototipo. Seguido a estas plataformas observaremos el funcionamiento de sensores que apoyaran la construcción del prototipo.

¹ Artrómetro: m. Instrumento para medir el grado de extensión de los movimientos de una articulación. || Goniómetro.

Tabla 2: Análisis de plataformas
Fuente: Elaboración propia

Plataformas	Raspberry pi Modelo B	Arduino UNO	BeagleBone
Características			
Microcontrolador	N/A	ATmega328P	N/A
Voltaje de entrada	5 V	7-12 V	5V
Pines E / S Digitales	8	14 (6pwm)	65
Pines E / S Análogos	N/A	6	7
RAM	1 GB	2 KB	512MB
Memoria flash	SD Card	32 KB	Micro SD
Procesador	ARM 11	N/A	ARM CORTEX-A8
Puertos USB	2	N/A	2
Valor (\$)	\$120.000	30.000	\$160.000

Con lo descrito en la Tabla 2, se toma como principal plataforma para crear el prototipo el ARDUINO UNO, ya que es una plataforma asequible con características robustas y alineadas a las necesidades que tiene como objetivo el trabajo con sensores y un aplicativo software.

En la actualidad se encuentran una cantidad amplia de sensores en el mercado para mediciones de distancia compatibles con plataformas de desarrollo como ARDUINO y Raspberry pi entre otros, de los cuales se toma como referencia algunos descritos en la siguiente tabla comparativa:

Tabla 3: Análisis de sensores
Fuente: Elaboración propia

IMAGEN	REFERENCIA	TIPO DE SENSOR	RANGO	VALOR
	ILR 1030-8	Laser	20mm – 100mm	\$ 3.100.000 aprox.
	Opto NCDT1320	Laser	10mm – 100mm	\$ 2.500.000 Aprox.
	Opto NCDT1402	Laser	5mm – 600mm	\$3.500.000 aprox.
	Ultrasónico HC-SR04	Sonido	20mm – 400mm	\$9.500 aprox.

	GP2Y0A41SK0F	Infra rojo	40mm – 300mm	\$13.000 aprox.
---	--------------	------------	-----------------	-----------------

Con estas características, entre otras de los sensores que permiten medir distancias se compara y se decide seleccionar el sensor más adecuado para el proyecto teniendo en cuenta su precio y rango de medición entre 5cm – 15cm. Tomada una decisión parcial se elige realizar pruebas con los sensores ultrasónico HC-SR04 Y el GP2Y0A41SK0F y según los resultados que presenten se determina finalmente con cuál de los dos se finalizara el proyecto.

PRUEBAS CON SENSOR ULTRASÓNICO HC-SR04:

➤ MATERIALES

- ✓ Protoboard
- ✓ ARDUINO UNO
- ✓ Cable de colores
- ✓ Resistencia de 320 ohmios
- ✓ Computador
- ✓ Sensor Ultrasónico HC-SR04
- ✓ Cable serial de comunicación pc - ARDUINO

➤ CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR

- ✓ Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm
- ✓ Tensión de alimentación: 5 Vcc
- ✓ Frecuencia de trabajo: 40 KHz
- ✓ Rango máximo: 4 m
- ✓ Rango mínimo: 2 cm
- ✓ Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 μ S.
- ✓ Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 μ S.
- ✓ Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20mS.

➤ FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR

El sensor cuenta con dos dispositivos, emisor (TRIG) y receptor (ECHO), lo que hacen estos es que el TRIG envía un pulso y el ECHO lo recibe después de que el

pulso haya golpeado contra un obstáculo y regrese, con este pulso recogido se calcula el tiempo recorrido entre envío del pulso y su recepción por parte del trig. Se debe tener en cuenta que la velocidad del sonido es de 340 m/s en condiciones óptimas, es decir a 20°C de temperatura, 50% de humedad y a nivel del mar.

Teniendo en cuenta lo anterior se tendrá en cuenta las observaciones presentadas por el datasheet como lo es la precisión del sensor de 3mm y la fórmula que convierte las unidades para obtener la distancia en centímetros proporcionada por este datasheet que se presenta a continuación:

$$Distancia = \frac{(Tiempo\ entre\ Trig\ y\ el\ Echo) \times (V.Sonido\ 340\ m/s)}{2}$$

➤ ENSAMBLE, ACOPLAMIENTO Y CÓDIGO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR EN PRUEBAS.

En la ilustración 6, se puede observar el acoplamiento para realizar las pruebas de funcionamiento con el sensor de ultrasonido.



Ilustración 6: Conexión pruebas de funcionamiento sensor Ultrasonido
Fuente: Elaboración propia

➤ CONEXIÓN DEL SENSOR PARA PRUEBAS

- ✓ Se conecta el pin VCC del sensor al pin de 5V del ARDUINO
- ✓ Se conecta el pin GND del sensor al pin GND del ARDUINO
- ✓ Se conecta el pin TRIG del sensor al pin # 12 del ARDUINO
- ✓ Se conecta el pin ECHO del sensor al pin # 13 del ARDUINO
- ✓ Se conecta el ARDUINO UNO por medio del cable serial al puerto USB del pc.

➤ CARGA DEL CÓDIGO PARA PRUEBAS

En la ilustración 7, se puede observar el código implementado para la ejecución de las pruebas de funcionamiento del sensor de ultrasonido.

```
//#include <Ultrasonic.h>

#define PIN_TRIG 12
#define PIN_ECO 13

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin (9600);
  pinMode (PIN_TRIG, OUTPUT);
  pinMode (PIN_ECO, INPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  long uración;
  float distancia;

  digitalWrite (PIN_TRIG, LOW);
  delayMicroseconds (2);
  digitalWrite (PIN_TRIG, HIGH);
  delayMicroseconds (10);
  digitalWrite (PIN_TRIG, LOW);

  uración = pulseIn (PIN_ECO, HIGH);

  distancia = ( uración/2)/29;
  distancia = distancia/2;

  if(distancia >= 5 && distancia <= 10){
    Serial.println (distancia);
    Serial.println ("cm");
  } else{
    Serial.println ("no se encuentra dentro del rango");
  }

  delay(500);
}
```

*Ilustración 7: Código de pruebas sensor Ultrasónico
Fuente: Elaboración propia*

➤ INICIO DE PRUEBAS

Dando inicio a las pruebas del sensor de Ultrasonido, se lanza el programa ARDUINO y se procede a cargar el código a la plataforma ARDUINO UNO, verificamos la ejecución del código por medio del Monitor serie del programa como se puede observar en la ilustración 8, donde se puede visualizar el resultado de los datos capturados por el sensor de Ultrasonido y su correcto funcionamiento.

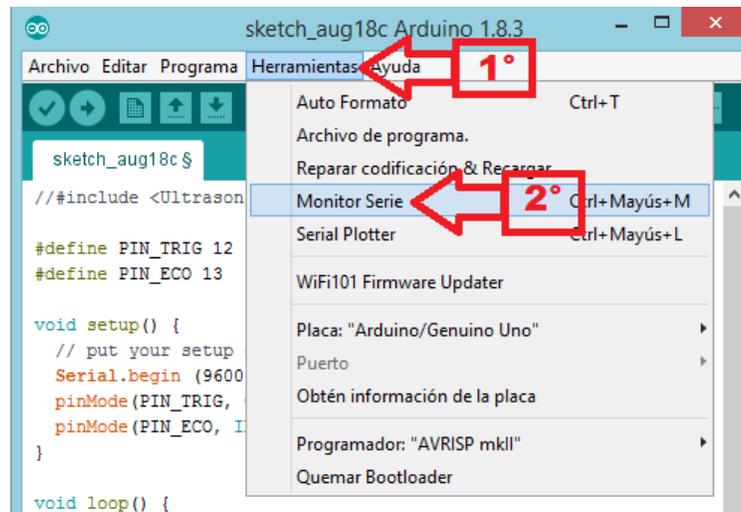


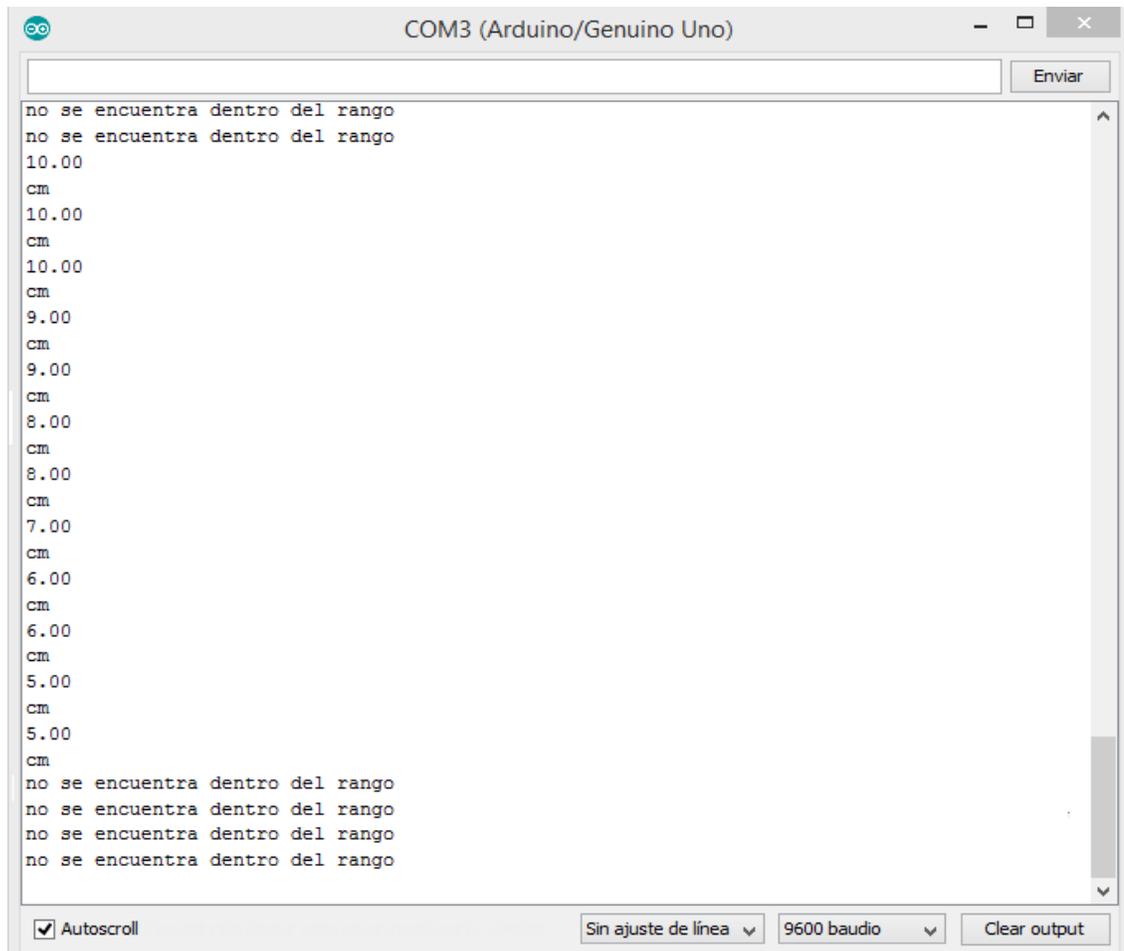
Ilustración 8: Monitor de serie
Fuente: Elaboración propia

➤ RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

En las pruebas realizadas del sensor de ultrasonido se observa en la ilustración 9, que el sensor proporciona las medidas desde una distancia inicial de 2 cm hasta una distancia final de 4,6 m, es decir entre el sensor y la barrera (placa) en la que rebota el pulso de sonido debe haber mínimo a 2 cm de distancia y un máximo de 4,6 m, teniendo este sensor un muy buen rango de distancia, ya que lo que se necesita tener en el proyecto es una distancia que abarca los datos de las medidas tomadas entre el sensor y la barrera a una distancia entre los 5 cm y 10 cm de desplazamiento.

Nota:

- ❖ Los datos de la medida son muy precisos si se le da una buena estabilidad al sensor.
- ❖ Solo toma datos de medidas enteras (ej.: 5, 6, 7, 8, etc.) es decir no toma valores intermedios de los centímetros (ej.: 5.3, 5.5, 6.8, 7.3, 9.7, etc.).



*Ilustración 9: Resultados sensor Ultrasónico HC-SR04
Fuente: Elaboración propia*

PRUEBAS CON SENSOR GP2Y0A41SK0F

➤ MATERIALES

- ✓ Protoboard
- ✓ ARDUINO UNO
- ✓ Cable de colores
- ✓ Computador
- ✓ Sensor Sharp GP2Y0A41SK0F
- ✓ Conector 3 way jst
- ✓ Cable serial de comunicación pc – ARDUINO

➤ CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR

- ✓ Tensión de funcionamiento: 4,5 V a 5,5 V
- ✓ Consumo de corriente medio: 12 mA
- ✓ Rango de medición Distancia: 4 cm a 30 cm (1,5 "a 12")
- ✓ Tipo de salida: voltaje analógico
- ✓ Diferencia de voltaje de salida sobre el rango de distancia: 2,3 V (típico)
- ✓ Período de actualización: 16.5 ± 4 ms
- ✓ Tamaño: 44,5 mm x 18,9 mm x 13,5 mm (1,75 "x 0,75" x 0,53 ")
- ✓ Peso: 3,5 g (0,12 oz)

➤ FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR

El sensor cuenta con tres pines los cuales se conectan al ARDUINO UNO por medio de un conector jst como se muestra a continuación en la ilustración 10, este conector jst cuenta con tres cables cada uno de diferente color, uno rojo, uno negro y uno amarillo, por medio de estos cables se alimenta de energía el sensor y se permite la transmisión de los datos que este registra hacia el ARDUINO; y para esta transmisión de datos se realiza la conexión del Sensor Sharp GP2Y0A41SK0F y el ARDUINO UNO de la siguiente forma:

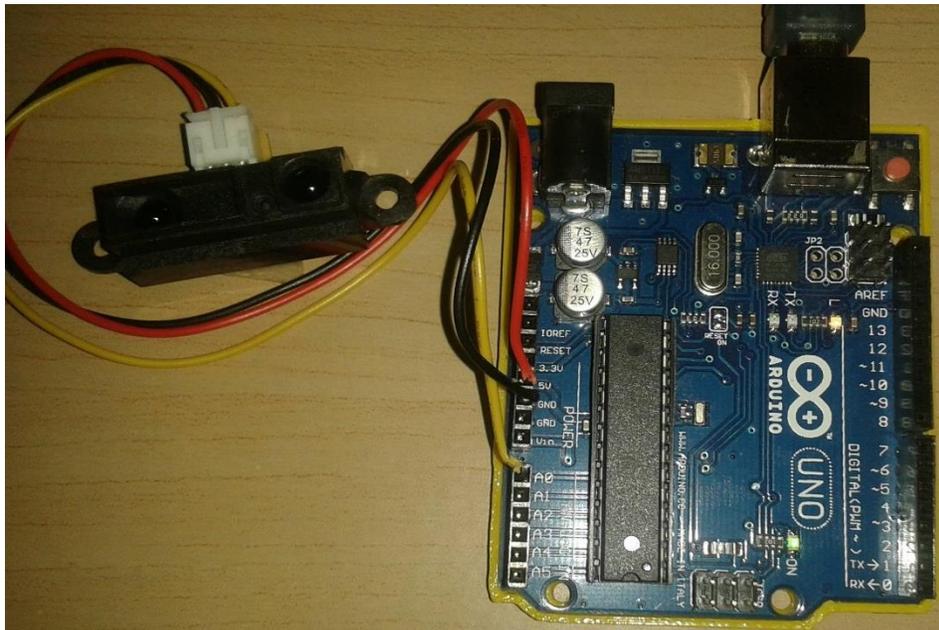
- ❖ El cable rojo se conecta al pin VCC del ARDUINO (alimentación de energía)
- ❖ El cable negro se conecta al pin GND del ARDUINO (conexión a tierra).
- ❖ El cable amarillo se conecta al pin A0 del ARDUINO (salida analógica).

Luego de realizar la conexión como es indicada y se procede a cargar el cargado el código de programación necesario en el ARDUINO UNO para su funcionamiento como se muestra en la ilustración 11, el sensor envía una señal infrarroja la cual al chocar contra un obstáculo permite que el sensor tome dicho dato y lo envíe al ARDUINO UNO por medio del cable amarillo que es el encargado de transmitir dicha información, esta información es tomada por el ARDUINO UNO y pasada a unidades de medida milimétrica por medio de la siguiente fórmula proporcionada por el datasheet:

$$Distancia = \frac{(2076)}{(volts - 11)}$$

➤ ENSAMBLE, ACOPLAMIENTO Y CÓDIGO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR

En la ilustración 10, se puede observar el acoplamiento para realizar las pruebas de funcionamiento con el sensor de SHARP.



*Ilustración 10: Conexión pruebas de funcionamiento sensor SHARP
Fuente: Elaboración propia*

➤ CONEXIÓN DEL SENSOR PARA PRUEBAS

- ✓ Se conecta el Conector 3 way JST al sensor SHARP
- ✓ Se conecta el cable (rojo) VCC del sensor al pin de 5V del ARDUINO
- ✓ Se conecta el cable (negro) GND del sensor al pin GND del ARDUINO
- ✓ Se conecta el cable (amarillo) de salida analógica del sensor al pin A0 del ARDUINO
- ✓ Se conecta el ARDUINO UNO por medio del cable serial al puerto USB del pc.

➤ CARGA DEL CÓDIGO PARA PRUEBAS

En la ilustración 11, se puede observar el código implementado para la ejecución de las pruebas de funcionamiento del sensor de SHARP.

```

sketch_jul28a
#define PINSHARP A0

float F_Sharp(int pin){
  float volts = analogRead(pin);

  if(volts >=80 && volts <=530){
    float distancia = (2076)/(volts-11);
    return distancia;
  }else{
    return 0;
  }
}

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PINSHARP, INPUT);
}

void loop(){
  float DisSharp = F_Sharp(PINSHARP);

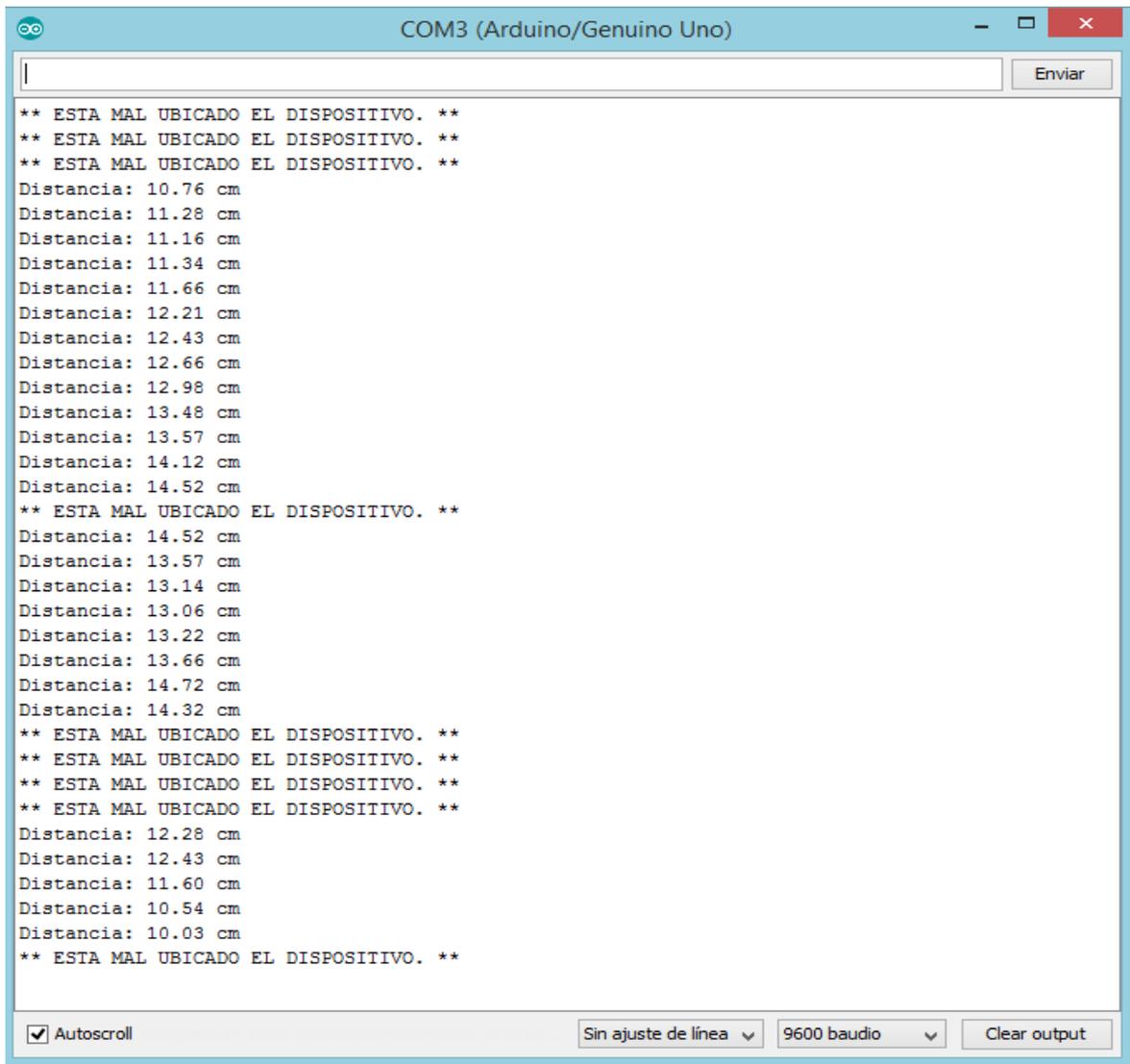
  if(DisSharp <10 || DisSharp >15){
    Serial.println("*** ESTA MAL UBICADO EL DISPOSITIVO. ***");
  }
  else{
    Serial.print("Distancia: ");
    Serial.print(DisSharp);
    Serial.println(" cm");
  }
  delay(500);
}

```

*Ilustración 11: Código de pruebas sensor SHARP
Fuente: Elaboración propia*

➤ RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

En las pruebas realizadas se observadas en la ilustración 12, que el sensor da medidas a partir de los 4 cm de acercamiento en adelante y hasta los 30 cm , es decir entre el sensor y la barrera (placa) que sirve de barrera para tomar las medidas, donde debe existir mínimo 4 cm de distancia y un máximo de 30 cm, teniendo este sensor un muy buen rango de distancia, ya que lo que se necesita tener en el proyecto es una distancia que abarca los datos de las medidas tomadas entre el sensor y la barrera a una distancia entre los 10 cm y 15 cm de desplazamiento.



The screenshot shows the serial monitor window for COM3 (Arduino/Genuino Uno). The window contains the following text:

```
** ESTA MAL UBICADO EL DISPOSITIVO. **
** ESTA MAL UBICADO EL DISPOSITIVO. **
** ESTA MAL UBICADO EL DISPOSITIVO. **
Distancia: 10.76 cm
Distancia: 11.28 cm
Distancia: 11.16 cm
Distancia: 11.34 cm
Distancia: 11.66 cm
Distancia: 12.21 cm
Distancia: 12.43 cm
Distancia: 12.66 cm
Distancia: 12.98 cm
Distancia: 13.48 cm
Distancia: 13.57 cm
Distancia: 14.12 cm
Distancia: 14.52 cm
** ESTA MAL UBICADO EL DISPOSITIVO. **
Distancia: 14.52 cm
Distancia: 13.57 cm
Distancia: 13.14 cm
Distancia: 13.06 cm
Distancia: 13.22 cm
Distancia: 13.66 cm
Distancia: 14.72 cm
Distancia: 14.32 cm
** ESTA MAL UBICADO EL DISPOSITIVO. **
Distancia: 12.28 cm
Distancia: 12.43 cm
Distancia: 11.60 cm
Distancia: 10.54 cm
Distancia: 10.03 cm
** ESTA MAL UBICADO EL DISPOSITIVO. **
```

At the bottom of the window, there are controls: a checked "Autoscroll" checkbox, a "Sin ajuste de línea" dropdown menu, a "9600 baudio" dropdown menu, and a "Clear output" button.

*Ilustración 12: Resultados sensor SHARP
Fuente: Elaboración propia*

Nota:

- ❖ Los datos de la medida son muy precisos si se le da una buena estabilidad al sensor.
- ❖ Toma datos de medidas intermedias (ej.: 4.2, 5.3, 10.2, 10.5, 10.9, 11.3, etc.)

4.4.3 CONCLUSIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Debe existir una diferencia mayor a 3mm de desplazamiento anterior entre ambas rodillas para ser considerada como una posible lesión de ligamento. En el momento de determinar un diagnóstico el profesional debe evaluar otras variables como son las reacciones del paciente (dolor, molestia, chasquidos).

Al flexionar la rodilla a 45° aproximadamente se realizara un rodamiento y deslizamiento de los cóndilos femorales con relación a los meniscos ubicados en los platillos tibiales, provocando así una leve decoadaptación² fisiológica de este segmento, por lo tanto la congruencia articular se verá modificada teniendo como protagonista al ligamento cruzado anterior el cual cuenta con la función de evitar que la tibia se desplace hacia anterior³. Tanto durante el movimiento de flexión activo del paciente como en el momento de ejercer una fuerza externa para verificar el desplazamiento generando una alineación articular y así evitando posibles lesiones, cuando este importante ligamento está lesionado, esta actuación semiológica normal no se produce, por lo tanto en el momento de efectuar una fuerza externa se producirá un desplazamiento significativo anormal de la tibia y generara dolor al paciente. Una vez sobrepase la flexión del 43° - 48° aproximadamente empezaran a actuar diversos estabilizadores articulares como lo son ligamentos y músculos periarticulares, por esta razón esta prueba se lleva a cabo en este rango angular específicamente.

Las pruebas semiológicas se aplican con el fin de acercarse a un posible diagnóstico (si no se tiene uno) o comprobar (si ya se tiene). Al realizar la prueba específica de cajón anterior se busca determinar el estado del ligamento cruzado anterior exclusivamente cuando se aplica la prueba y el paciente refiere y evidencia dolor sumado a un desplazamiento considerable de la tibia hacia anterior con referencia al fémur, se define como positiva, lo cual me va aproximar a la posible lesión que la persona puede estar padeciendo.

Luego de realizar pruebas con los dos sensores de distancia finalmente se decide usar el sensor SHARP ya que sus características y resultados en las pruebas como rango, precisión, precio y disponibilidad en el mercado nos ofrecen unas

² Decoadaptación: Separación de dos superficies oseas las cuales conforman una articulación, como lo son la tibia y el fémur.

³ Desplazamiento anterior: Es el deslizamiento ventral que genera el tercio proximal de la tibia con respecto al fémur.

condiciones de trabajo adecuadas y se adaptan perfectamente a las condiciones requeridas por proyecto.

5. DISEÑO DEL PROTOTIPO

Teniendo en cuenta la información obtenida en el análisis del estado del arte y los prototipos existentes en el mercado, se realiza el proceso de selección de los requerimientos necesarios para la creación del prototipo.

Este prototipo es un dispositivo electrónico llamado artrómetro que cuenta con un sistema que integra mecanismos para detección de posiciones, desplazamientos, ángulos, comunicación de información, con la finalidad de apoyar la técnica de cajón realizada por los profesionales de fisioterapia.

Este proyecto está estructurado por un módulo de software y un módulo de hardware. Por lo cual incluye sensores por medio de los cuales se obtiene el desplazamiento de la estructura en el momento que se aplica la técnica de cajón y proyectarlo en una aplicación de escritorio.

El módulo de software está conformado por la aplicación de escritorio que muestra los desplazamientos realizados en el momento de la aplicación de la técnica de cajón, almacenando los datos del usuario y la técnica aplicada en la base de datos y dar un posible diagnóstico de ruptura de ligamentos.

5.1 DISEÑO DEL HARDWARE

En este apartado se muestra el ensamblaje de cada uno de los componentes del hardware relacionado al prototipo.

5.1.1 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

- El prototipo debe detectar el desplazamiento dentro de un rango de 2mm – 20mm, desde el punto inicial mínimo de 60mm del sensor que puede variar según el paciente.
- El prototipo debe detectar el ángulo de inclinación en el que se encuentra en miembro inferior del paciente, el rango de trabajo será de 43° - 48°.

5.1.2 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

- Microcontrolador

Para este prototipo se utiliza un microcontrolador ARDUINO UNO que se muestra en la ilustración 13, que permite la gestión de periféricos y datos de entrada y de salida.

Cuenta con las siguientes características:

- ❖ Microcontrolador ATmega328P
- ❖ Voltaje de funcionamiento 5V
- ❖ Voltaje de entrada (recomendado) 7-12V de entrada (límite) 6-20V
- ❖ Digital pines I / O 14 (de las cuales 6 proporcionan salida PWM)
- ❖ PWM digital pines I / O 6
- ❖ Pines de entrada analógica 6
- ❖ Corriente DC por E / S Pin 20 mA
- ❖ Corriente DC de 3.3V Pin 50 mA
- ❖ Memoria flash 32 KB (ATmega328P) de los cuales 0,5 KB utilizado por el gestor de arranque
- ❖ SRAM 2 KB (ATmega328P)
- ❖ EEPROM 1 KB (ATmega328P)
- ❖ Velocidad de reloj 16 MHz

Características tomadas de la página oficial del producto [18].



*Ilustración 13: ARDUINO UNO
Fuente [18]*

- Sensor de proximidad (distancia):

Es el componente observado en la ilustración 14, es fundamental en el prototipo siendo este el sensor de proximidad tiene como función el detectar desplazamiento realizado por el prototipo en el momento de la aplicación de la técnica de cajón. El sensor de proximidad cuenta con tres pines que son conectados por medio de un conector JST con tres colores que son cable rojo, negro y amarillo, los cuales se conectan así:

- ❖ El rojo para conexión al pin VCC del ARDUINO (alimentación de energía).
- ❖ El negro para conexión al pin GND del ARDUINO (conexión a tierra).
- ❖ El amarillo para conexión al pin A0 del ARDUINO (salida analógica).

Se utiliza un sensor SHARP GP2Y0A41SK0F con las características descritas anteriormente en los antecedentes en la sección análisis del estado del arte apartado pruebas con sensor GP2Y0A41SK0F.

Características consultadas del Datasheet [18].



*Ilustración 14: Sharp GP2Y0A41SK0F
Fuente [19]*

- IMU MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio:

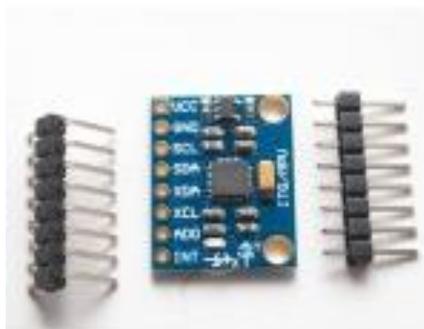
El componente mostrado en la ilustración 15, actuará con la función de calcular el ángulo de inclinación que tendrá el prototipo en el momento de aplicar la técnica de cajón, recordar que para aplicar la técnica de cajón el dispositivo debe estar inclinado en un rango de 43° - 48°.

Características del componente:

- ❖ I2C Digital-salida de datos MotionFusion 6 o 9 ejes en matriz de rotación, cuaternión, Euler ángulo, o formato de datos en bruto
- ❖ Voltaje de entrada: 2.3 - 3.4V

- ❖ Seleccionable Solder Jumpers en CLK, FSYNC y Ad0
- ❖ Tri-Axis sensor de velocidad angular (giroscopio), con una sensibilidad de hasta 131 LSB / dps y una serie a gran escala de ± 250 , ± 500 , ± 1.000 , y ± 2000 dps
- ❖ Acelerómetro con un rango de escala programable de $\pm 2g$ Tri-Axis, $\pm 4g$, $\pm 8g$ y $\pm 16g$
- ❖ ¿Movimiento Digital Processing? (DMP?) motor de descarga a MotionFusion complejo, sincronización de tiempo del sensor y la detección gesto
- ❖ Algoritmos integrados para el sesgo de tiempo de ejecución y calibración de la brújula. No se requiere la intervención del usuario

Datasheet del componente [20].



*Ilustración 15: IMU MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio
Fuente [21]*

- Buzzer (zumbador):

El componente mostrado a continuación en la ilustración 16, es utilizado para generar alertas en el momento de posicionar el prototipo en el rango indicado para aplicar la técnica. El componente es ubicado en la estructura metálica superior la cual por medio de la inclinación tomadas por el Acelerómetro y giroscopio observado en la ilustración 15 con relación a la estructura superior emite un tono por medio del Buzzer cuando esta inclinación se encuentra fuera del rango de 43° - 48° .

Su construcción consta de dos elementos, un electroimán y una lámina metálica de acero. Cumple la función de señalización o aviso por medio de tonos (pitidos).

Sus características son:

- ❖ Voltaje de alimentación :3.5-5 .5 V
- ❖ Corriente de operación: <25mA

❖ Frecuencia emitida: 2300 ± 500 Hz

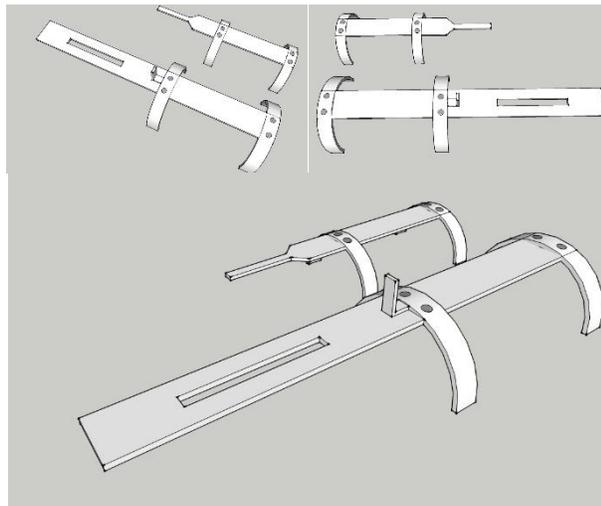


*Ilustración 16: Buzzer (Zumbador)
Fuente [20]*

- Estructura de aluminio

Para el acoplamiento del dispositivo es necesario una estructura de aluminio como es mostrada en la ilustración 17, en la cual se fijará el circuito y los componentes como lo son los sensores.

La estructura diseñada se representa en la siguiente ilustración, está dividida en dos partes el componente superior, de dimensiones (4x41) cm con una ranura de dimensiones (1x8) cm y el componente inferior, de dimensiones (4x30) cm. La estructura es removible para su fácil movilización.



*Ilustración 17: Estructura de aluminio
Fuente: Elaboración propia*

- Material de neopreno

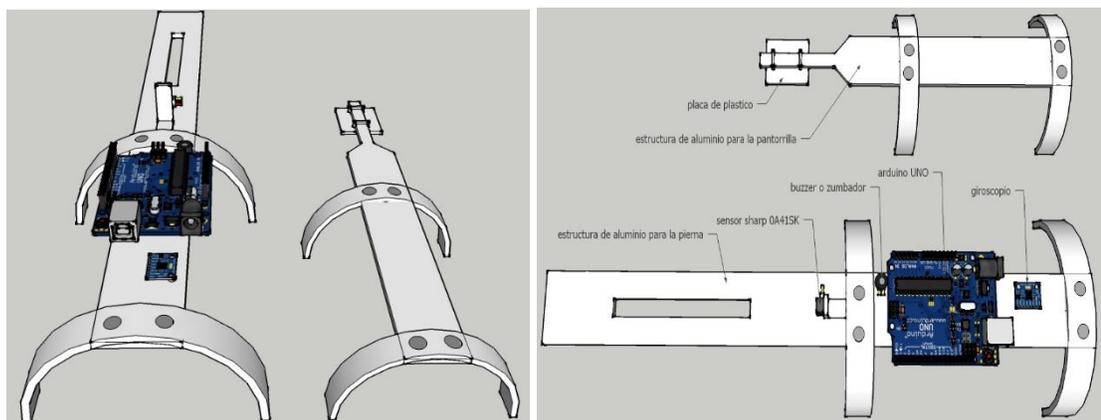
Para el aislamiento y forraje de la estructura es necesario utilizar un material resistente que permita aislar la estructura del contacto con el cuerpo del paciente. El material por utilizar es el neopreno como se observa en la ilustración 18, así brindar aislamiento y cubrir los circuitos.



*Ilustración 18: Material de neopreno
Fuente [25]*

5.1.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO

En este apartado se definen la distribución del prototipo, con el fin de tener una guía y diseño preliminar del aspecto del prototipo. La ilustración 19. Se muestra el prototipo con cada uno de los componentes electrónicos que lo conforman que cumplirán la función de detección de desplazamiento, inclinación de la estructura y aviso por medio de tonos.

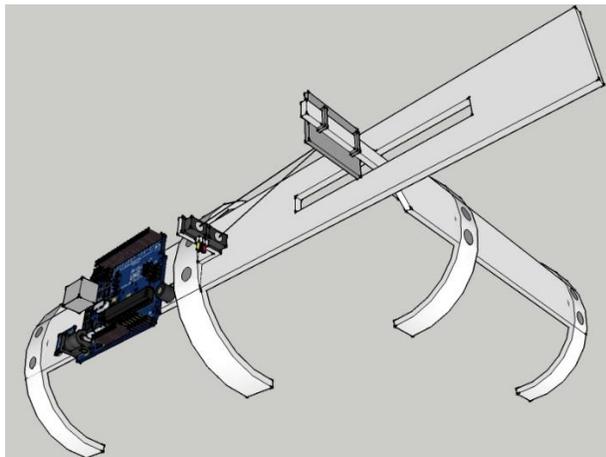


*Ilustración 19: Prototipo y sus componentes
Fuente: Elaboración propia*

5.1.4 ENSAMBLE DE PIEZAS

- Estructura de aluminio: Es el componente donde se soporta toda la carga de los componentes electrónicos.
 - ❖ Estructura superior: Componente ubicado sobre el fémur.
 - ❖ Estructura inferior: Componente ubicado sobre la tibia.
- Sensor de proximidad (distancia): El sensor se encuentra posicionado en la estructura de aluminio superior en dirección a la abertura donde se fija la estructura de aluminio inferior.
- Arruino Uno: Permite control del funcionamiento de todo el sistema. Se posiciona sobre la estructura de aluminio superior.
- Acelerómetro y giroscopio: Permite calcular el ángulo de inclinación en el que se encuentra la estructura de aluminio. Este componente se encuentra ubicado en la estructura superior.
- Buzzer (Zumbador): Permite avisar por medio de tonos si la estructura de aluminio se encuentra inclinada entre los 40-50°. Este componente se encuentra ubicado en la estructura superior.

En la ilustración 20, mostrada a continuación se representa a detalle los componentes que integran el prototipo.



*Ilustración 20: Prototipo acoplado
Fuente: Elaboración propia*

Como resultado de aplicar el ensamblado obtenemos la elaboración de un esquema del prototipo. En la siguiente ilustración 21. Se muestra el diagrama esquemático con los componentes que conforman el prototipo.

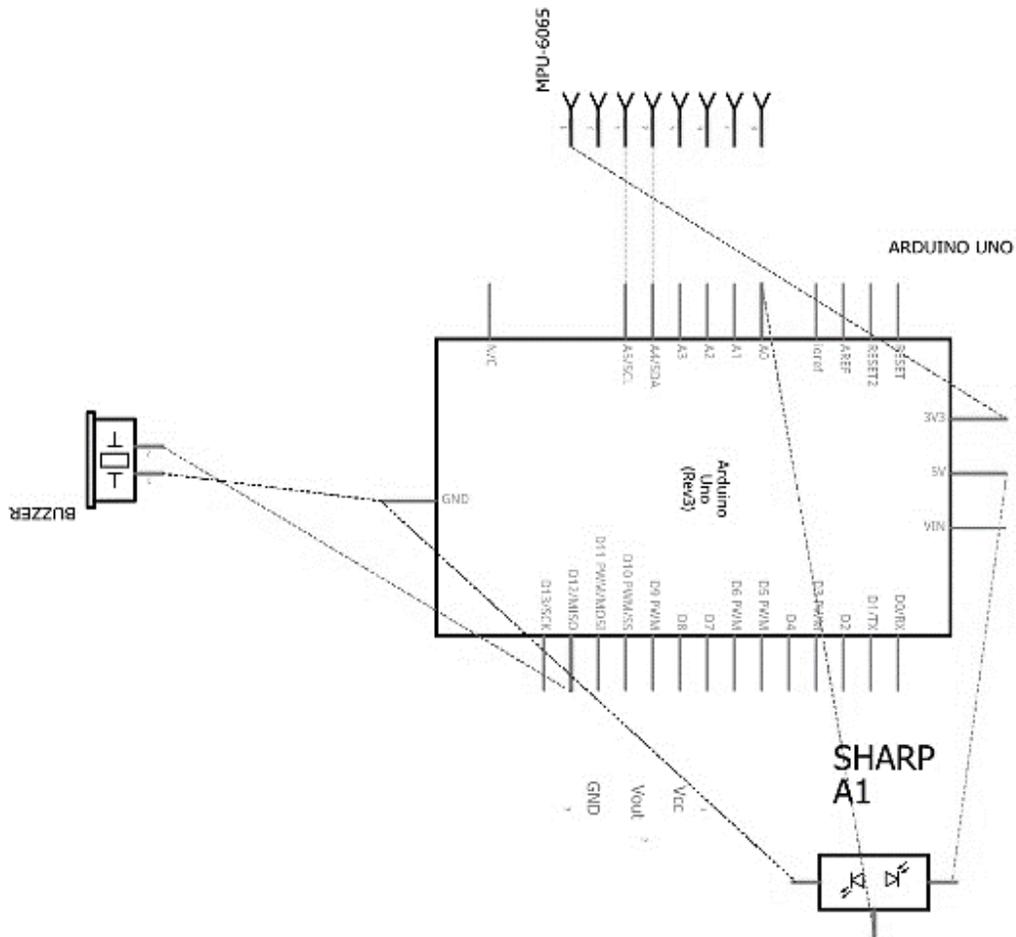


Ilustración 21: Diseño esquemático
Fuente: Elaboración propia

5.1.5 ESTIMACIÓN DE COSTOS

A continuación, se describe en la Tabla 4, la estimación de costos para el desarrollo del prototipo hardware.

Tabla 4: Estimación de costos
Fuente: Elaboración propia

COMPONENTE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Estructura de aluminio	1	70.000	70.000

ARDUINO UNO	1	40.000	40.000
Sensor de proximidad	1	20.000	20.000
Buzzer (Zumbador)	1	9.000	9.000
Acelerómetro y Giroscopio	1	14.000	14.000
		TOTAL	153.000

5.2 DISEÑO DEL SOFTWARE

El componente de software permite capturar los datos enviados por los sensores ubicados en el prototipo por medio de cadenas de datos, para analizarlos compararlos y dar un diagnostico ya sea de ruptura o no. Seguido los datos analizados serán graficados para ver los desplazamientos detectados en el momento de aplicar la técnica de cajón.

Con la finalidad de buscar un producto de calidad y cubrir con las expectativas el desarrollo del producto se enmarca mediante la metodología de SCRUM.

Esta metodología nos permite el desarrollo de un producto completamente funcional de manera incremental según lo planificado y con pronto resultados.

5.2.1 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Para tener una idea clara de las funcionalidades del componente software se debe tener en cuenta los siguientes requisitos.

- ❖ El componente software funciona en entornos de escritorio Windows.
 - ❖ El componente software funciona con perfiles de usuario (Profesional, Administrador) para autenticación.
 - ❖ El componente software provee una sección para visualización por medio de graficas de la información capturada en el momento del desplazamiento.
- Perfil de usuario (Profesional)

Es el usuario encargado de utilizar todas las funciones del software como crear los registros de pacientes, capturar los datos en el momento de aplicar la técnica de cajón, consultar los reportes gráficos de desplazamiento y observar el posible diagnóstico.

El profesional debe autenticarse para acceder a las funcionalidades de su perfil.

- Perfil de usuario (Administrador)

Es el usuario encargado de gestionar la información y configuración del software, tiene la función de gestionar usuarios, pacientes y observar los resultados obtenidos de cada paciente.

El administrador debe autenticarse para acceder a las funcionalidades de su perfil.

5.2.2 REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

Teniendo en cuenta las características de calidad necesarias al momento de diseñar e implementar software se describen a continuación las características no funciones del producto.

- Interfaz Gráfica
 - ❖ Menor número de pantallas posibles para ejecutar las funciones.
 - ❖ Debe permitir visualización permanente del menú.
- Seguridad
 - ❖ Debe tener la capacidad de verificar la identidad de los usuarios con los que tenga interacción.
- Usabilidad
 - ❖ Se debe ver el texto fácilmente a una distancia de 1 metro.
 - ❖ Debe permitir modificarse el tiempo de aplicación de la técnica.
- Facilidad de instalación
 - ❖ Debe ser de fácil instalación y configuración.
- Confiabilidad
 - ❖ Los errores que surjan deben ser controlados, registrados en un log para revisiones posteriores y dar solución a estos, y por medio de notificaciones se informe al usuario el error que se presenta de forma entendible. No debe permitir que el software muestre secciones de código o descripciones del error que puedan generar riesgos para la integridad del sistema.

5.2.3 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

Dentro de esta la sección de diseño tanto de la aplicación y del controlador se debe seleccionar las herramientas y entornos de trabajo necesarios para realizar un desarrollo adecuado, los cuales serán definidos a continuación:

- Software ARDUINO

Se realiza la programación del microcontrolador Atmega de la placa de ARDUINO UNO a través del software de ARDUINO disponible en la página del mismo.

El entorno de desarrollo integrado, o más conocido como el software ARDUINO (IDE), contiene un editor de texto para escribir código, un área de mensaje, una consola de texto y otras herramientas que facilitan el trabajo de programar la placa.

El software ARDUINO (IDE) está basado en el entorno de Processing y lenguaje de programación basado en Wiring (similar a otros lenguajes de programación como C++ y Java), así como en el cargador de arranque (bootloader) que es ejecutado en la placa. El entorno de desarrollo se conecta al hardware ARDUINO usando una comunicación serial mediante un convertidor de niveles RS-232 a TTL serial para cargar los programas [4].

- Gestor de bases de datos MySQL

Para manipulación de datos se utiliza MySQL, que es un sistema que permite la gestión de bases de datos relacionales (RDBMS) de código abierto, basado en un lenguaje de consulta estructurado (SQL). Se puede utilizar en una amplia variedad de aplicaciones, ya sea de escritorio o aplicaciones web.

- Entorno de desarrollo integrado IDE

En esta sección se indica el IDE para el desarrollo de la interfaz gráfica de la aplicación de cara al usuario, ya que esta se desarrollará como aplicación de escritorio.

Para el desarrollo de la aplicación se programará en NetBeans IDE y estará enmarcado bajo la biblioteca grafica Swing.

- ❖ NetBeans IDE: La plataforma NetBeans es un marco genérico para aplicaciones de escritorio Java. Proporciona la "plomería" que cada desarrollador normalmente necesita. Permite desarrollar de forma rápida y fácil Java aplicaciones móviles, de escritorio y web, así como aplicaciones HTML5 con HTML, JavaScript y CSS. El IDE también proporciona un gran conjunto de herramientas para desarrolladores de PHP y C / C ++. Es gratis y de código abierto y tiene una gran comunidad de usuarios y desarrolladores en todo el mundo [25].

- Patrón de diseño de software

Patrón de diseño MVC

MVC es una propuesta de diseño de software utilizada para implementar sistemas donde se requiere el uso de interfaces de usuario. Ayuda a desacoplar el acceso a los datos y la lógica del negocio de la forma en que se muestra al usuario. De manera más precisa, MVC tiene como fundamento la separación del código entres capas diferentes las cuales son:

- ❖ Modelo: Representa los datos y las reglas que rigen el acceso y las actualizaciones de estos datos.
- ❖ Vista: Muestra el contenido obtenido de un modelo. Es la forma en la que se especifica cómo se deben presentar los datos del modelo.
- ❖ Controlador: Es el traductor de interacciones del usuario que realiza por medio de la vista (traducción de acciones realizadas desde la vista traduciéndolas a peticiones del modelo).

Información tomada de Oracle Technology Network [27].

- Lenguaje de programación

El lenguaje de programación utilizado para desarrollar la aplicación de escritorio es JAVA, ya que proporciona un lenguaje de programación portátil, interpretada, de alto rendimiento, simple, orientado a objetos y entorno de tiempo de ejecución compatible [27].

5.2.4 DISEÑO DEL SISTEMA CON UML

UML (Unified Modeling Language), es un lenguaje de modelado visual que se usa para especificar, visualizar, construir y documentar artefactos de un sistema de software. El lenguaje de modelado pretende unificar la experiencia pasada sobre técnicas de modelado e incorporar las mejores prácticas actuales en un acercamiento estándar [28].

UML es un lenguaje visual de modelado, expresivo y sencillo en su uso. Por medio del lenguaje de modelado se expresan las ideas por medio de modelos.

La finalidad de los diagramas que se presentarán a continuación es la de mostrar y definir los diversos procesos de los actores que hacen uso de los diferentes módulos que componen el sistema.

- Diagramas de actividades

A continuación, se describe en las ilustraciones 22, 23 y 24 los diagramas de actividades que conforman el software del prototipo.

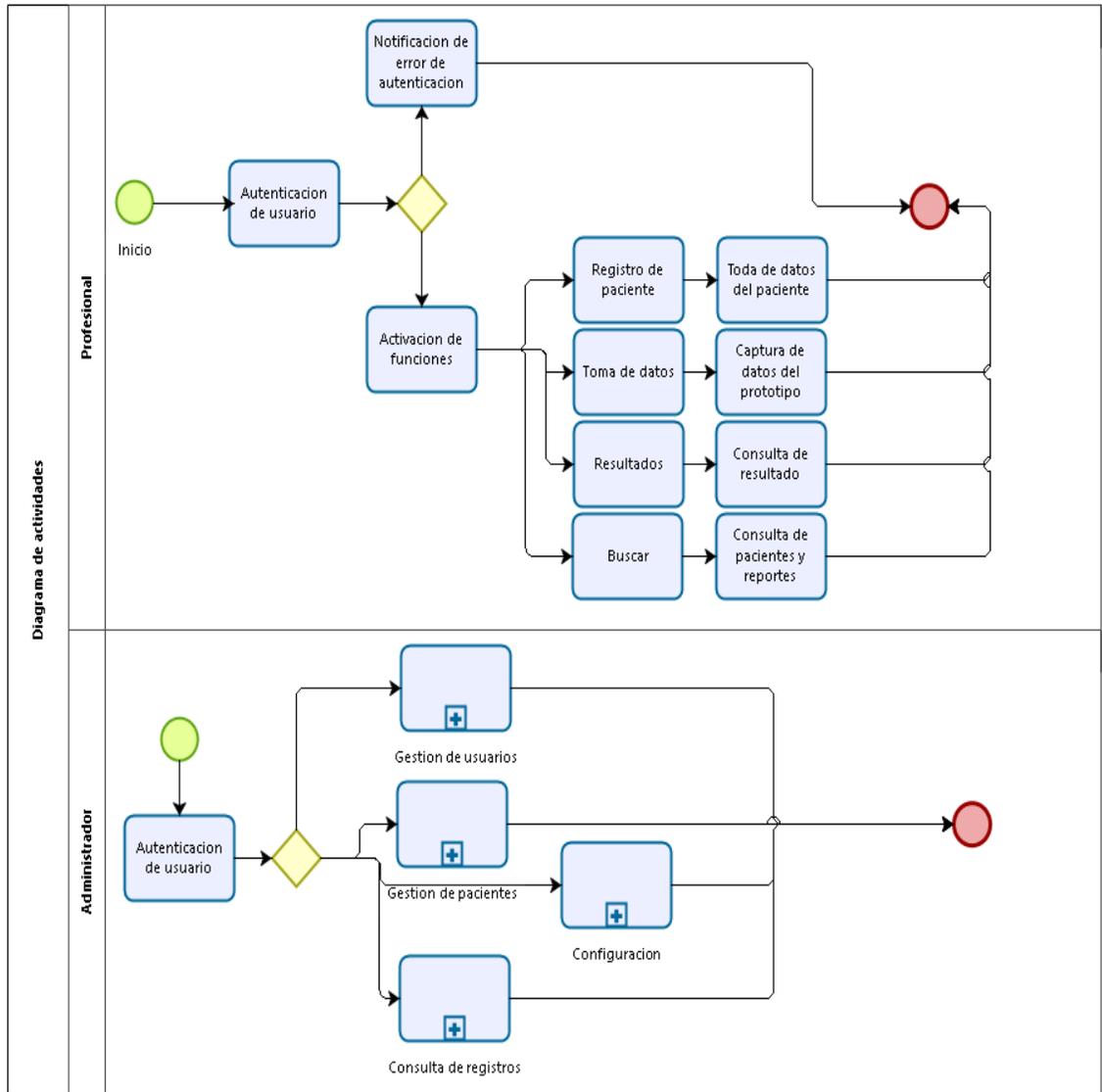


Ilustración 22: Diagrama de actividad general
Fuente: Elaboración propia

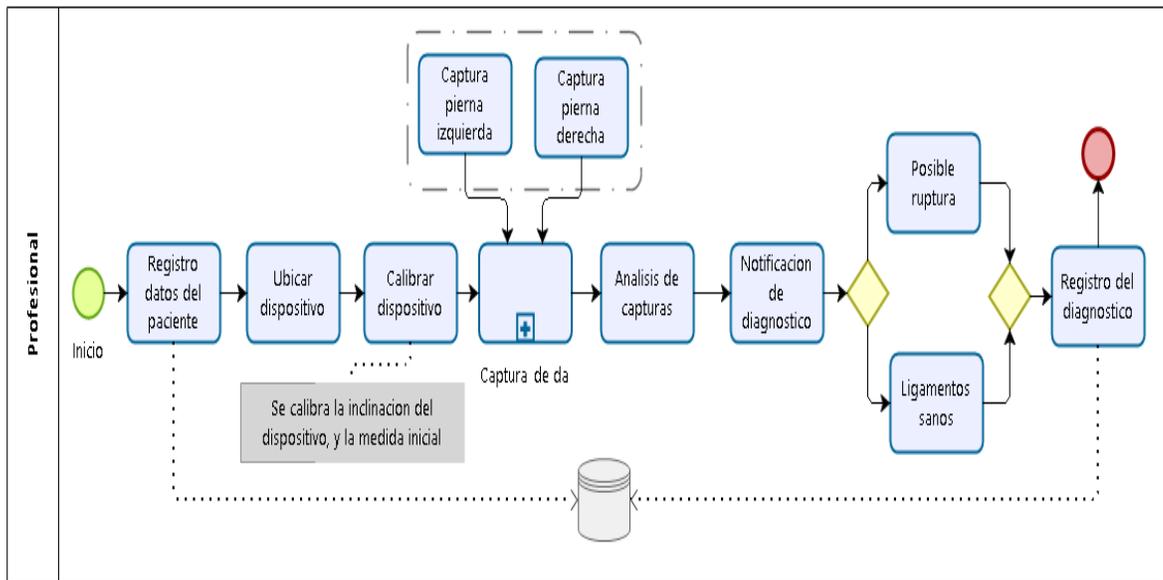


Ilustración 23: Diagrama de actividad Profesional
Fuente: Elaboración propia

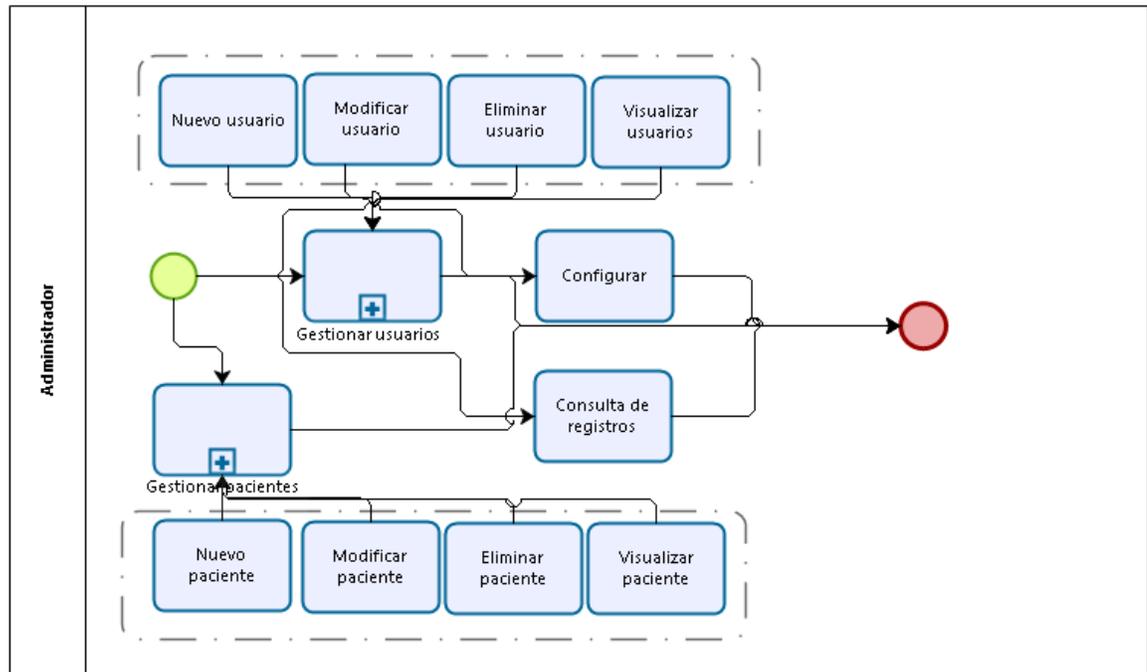


Ilustración 24: Diagrama de actividad Administrador
Fuente: Elaboración propia

- Diagrama de casos de uso

CASO DE USO - PROTOTIPO			
NOMBRE	<i>Autenticación de usuario (Administrador, Profesional)</i>		
DESCRIPCIÓN	<i>Formulario de solicitud de ingreso a la aplicación Se requiere un formulario para control de acceso donde los usuarios se autenticuen y tengan acceso a las funciones de la aplicación según su perfil.</i>		
ID CU	<i>CU-001</i>	Autor	<i>Mauricio Rayo – Johan Moncada</i>
N°	PASO	REFERENCIA	
1	<i>El usuario ingresa a la aplicación</i>		
2	<i>El sistema solicita:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Nombre de usuario • Contraseña 		
3	<i>El usuario ingresa los datos</i>		
4	<i>El sistema valida el tipo de usuario y da ingreso al sistema</i>		
5	<i>Fin caso de uso</i>		

CASO DE USO - PROTOTIPO			
NOMBRE	<i>Gestión técnica</i>		
DESCRIPCIÓN	<i>En gestión técnica se manejará las siguientes funcionalidades</i> <ul style="list-style-type: none"> • Registro de paciente • Configuración • Toma de datos (Ejecución de la prueba de cajón) • Consulta de resultados • Consulta de históricos <i>Con las siguientes características:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Formulario de registro de paciente <i>Se requiere un formulario para el registro de datos de los pacientes.</i> <ul style="list-style-type: none"> • Configuración de la aplicación, se calibra el prototipo para ejecución. • Presentación de los datos capturados por el prototipo <i>Se requiere un formulario para el registro de datos de los pacientes.</i> <ul style="list-style-type: none"> • Presentación en grafica del resultado del paciente • Presentación de resultados históricos del paciente. 		
ID CU	<i>CU-002</i>	Autor	<i>Mauricio Rayo – Johan Moncada</i>
N°	PASO	REFERENCIA	
1	<i>El usuario se autentica con perfil "Profesional"</i>		
2.a.1	<i>Si [El usuario ingresa a la sección de registro del paciente], El sistema presenta el formulario de registro de paciente solicitando la siguiente información:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Nombres • Apellidos • Fecha de nacimiento • Sexo • Edad (Calculada por el sistema con la Fecha de nacimiento) 		
2.a.2	<i>El usuario ingresa los datos</i>		
2.a.3	<i>El sistema registra el nuevo paciente con un código único</i>		
2.b.1	<i>Si[El usuario ingresa a la sección toma de datos]</i>		

2.b.2	El usuario solicita calibración del prototipo	
2.b.3	El sistema inicia a capturar la distancia para calibrar	
2.b.4	El sistema registra el dato generado en la calibración	
2.b.5	El sistema presenta como se capturará los datos del prototipo. <ul style="list-style-type: none"> • Captura de rodilla derecha • Captura de rodilla izquierda • Tiempo de captura • Posible diagnóstico 	
2.b.6	El usuario posiciona el prototipo en el paciente	
2.b.7	El sistema notifica por medio de un tono si se encuentra en posición incorrecta y el ángulo de inclinación en el que se encuentra el prototipo.	
2.b.8	El usuario modifica el tiempo de captura de datos	
2.b.9	El sistema valida que el tiempo se encuentre entre 3 segundos y 15 segundos.	
2.b.10	El usuario inicia la captura de los datos	
2.b.11	El sistema presenta los datos de desplazamiento obtenidos desde el dispositivo ya sea derecha o izquierda.	
2.b.12	El sistema al terminar la captura de ambas capturas (derecha, izquierda), presenta un posible diagnóstico.	
2.c.1	Si [El usuario ingresa a la sección Consulta de resultado]	
2.c.2	El sistema solicita: <ul style="list-style-type: none"> • Numero de documento • Código único de paciente <p>Nota: El sistema actuara con solo uno de los campos.</p>	
2.c.3	El usuario ingresa los datos	
2.c.4	El sistema presenta en una gráfica los últimos datos tomados por el prototipo.	
2.d.1	Si [El usuario ingresa a la sección Consulta de históricos]	
2.d.2	El usuario ingresa a la sección Consulta	
2.d.3	El sistema solicita: <ul style="list-style-type: none"> • Numero de documento • Código único de paciente <p>Nota: El sistema actuara con solo uno de los campos.</p>	
2.d.4	El usuario ingresa los datos	
2.d.5	El sistema presenta todas las capturas de datos y diagnósticos dados sobre un paciente en específico.	
3	Fin caso de uso	

CASO DE USO - PROTOTIPO			
NOMBRE	Gestión de usuarios (Administrador)		
DESCRIPCIÓN	Se presenta la gestión de usuarios donde se permite crear, modificar, eliminar y visualizar usuarios.		
ID CU	CU-003	Autor	Mauricio Rayo – Johan Moncada
N°	PASO	REFERENCIA	
1	El usuario ingresa a la sección Gestión de usuarios		
2	El sistema presenta la vista de la gestión.		
3	El usuario puede crear un nuevo usuario		
4	El usuario puede modificar un usuario existente		

5	El usuario puede eliminar un usuario existente	
6	El usuario puede visualizar los usuarios existentes	
7	El usuario puede asignar el perfil a cada usuario	
8	Fin caso de uso	

CASO DE USO - PROTOTIPO			
NOMBRE	Gestión de pacientes (Administrador)		
DESCRIPCIÓN	Se presenta la gestión de pacientes donde se permite crear, modificar, eliminar y visualizar usuarios.		
ID CU	CU-004	Autor	Mauricio Rayo – Johan Moncada
N°	PASO	REFERENCIA	
1	El usuario ingresa a la sección Gestión de pacientes		
2	El sistema presenta la vista de la gestión.		
3	El usuario puede crear un nuevo paciente		
4	El usuario puede modificar un paciente existente		
5	El usuario puede eliminar un paciente existente		
6	El usuario puede visualizar los pacientes existentes		
7	Fin caso de uso		

- Diagrama de componentes

A continuación, se muestran los componentes que interactúan con el prototipo en la ilustración 25.

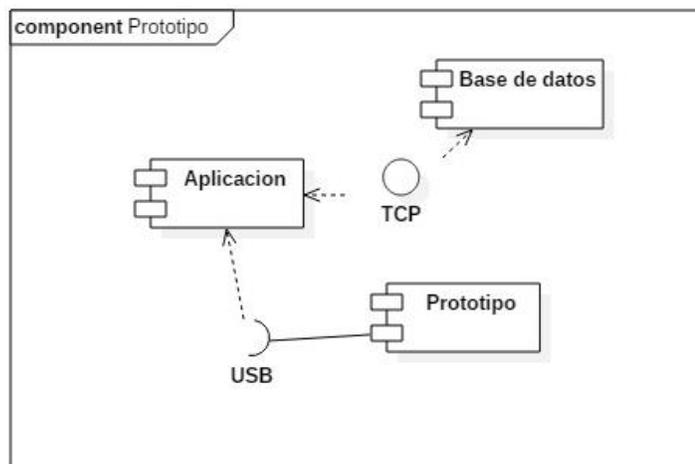


Ilustración 25: Diagrama de componentes
Fuente: Elaboración propia

5.2.5 BASES DE DATOS

El diagrama relacional y el código SQL se diseñó utilizando la herramienta MySQL Workbench. Para la ejecución el motor de base de datos MySQL, se realizó mediante la instalación de un servicio de MySQL. Esta cuenta con 6 tablas las cuales son: configuración, paciente, perfil, temporal_datos, toma_datos, usuario.

El modelo relacional de la base de datos se presenta a continuación en la ilustración 26.

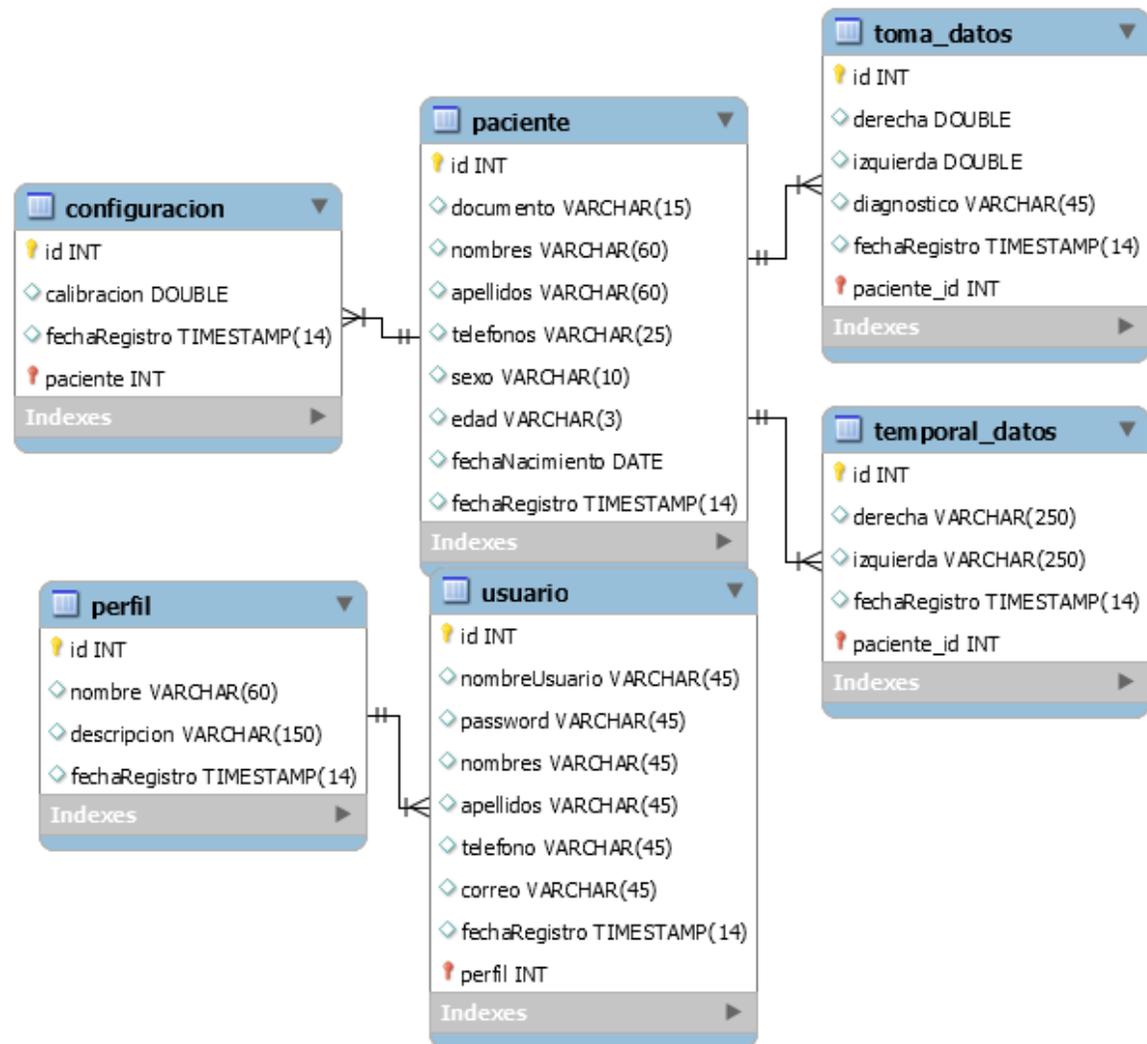


Ilustración 26: Modelo relacional base de datos
Fuente: Elaboración propia

Primero se creará la base de datos de nombre “artrómetro” con cotejamiento utf8_general_ci, como se muestra a continuación.

```
CREATE DATABASE artrometro
DEFAULT CHARACTER SET utf8
DEFAULT COLLATE utf8_general_ci;
```

Seguido a la creación de la base de datos, se crean las respectivas tablas con sus atributos, llaves primarias y foráneas.

- Tabla paciente

En esta tabla se almacena los datos básicos del paciente, ya que con estos se pueden tomar valores para realizar estadísticas.

```
DROP TABLE IF EXISTS `artrometro`.`paciente` ;
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `artrometro`.`paciente` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `documento` VARCHAR(15) NULL,
  `nombres` VARCHAR(60) NULL,
  `apellidos` VARCHAR(60) NULL,
  `telefonos` VARCHAR(25) NULL,
  `sexo` VARCHAR(10) NULL,
  `edad` VARCHAR(3) NULL,
  `fechaNacimiento` DATE NULL,
  `fechaRegistro` TIMESTAMP(14) NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  PRIMARY KEY (`id`))
ENGINE = InnoDB;
```

Tabla 5: Diccionario de datos "paciente"
Fuente: Elaboración propia

TABLA	paciente		
ATRIBUTO	CLAVE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Id	Primaria	INT	Identificación del paciente en la base de datos, de comportamiento incremental.
documento		VARCHAR(15)	Número de identificación (documento) del paciente.
nombres		VARCHAR(60)	Nombres completos del paciente
apellidos		VARCHAR(60)	Apellidos completos del paciente
teléfonos		VARCHAR(25)	Teléfonos de contacto con el paciente
sexo		VARCHAR(10)	Sexo del paciente
edad		VARCHAR(3)	Edad que posee el paciente en el momento del diagnostico
fechaNacimiento		DATE	Fecha de nacimiento del paciente
fechaRegistro		TIMESTAMP(14)	Fecha del momento que se registra el paciente, valor por defecto dado por el sistema

- Tabla configuración

En esta tabla se registran los valores de entorno cada que se vaya a tomar datos desde el prototipo.

```
DROP TABLE IF EXISTS `artrometro`.`configuracion` ;
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `artrometro`.`configuracion` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `calibracion` DOUBLE NULL,
  `fechaRegistro` TIMESTAMP(14) NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  `paciente` INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`, `paciente`),
  INDEX `fk_configuracion_paciente1_idx` (`paciente` ASC),
  CONSTRAINT `fk_configuracion_paciente1`
    FOREIGN KEY (`paciente`)
    REFERENCES `artrometro`.`paciente` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;
```

Tabla 6: Diccionario de datos "configuracion"
Fuente: Elaboración propia

TABLA	configuracion		
ATRIBUTO	CLAVE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Id	Primaria	INT	Identificación de la configuración en la base de datos, de comportamiento incremental.
calibracion		DOUBLE	Valor de distancia en la que se encuentra la placa que referencia el desplazamiento con respecto al sensor de distancia.
paciente	Foránea	INT	Identificador de la tabla paciente
fechaRegistro		TIMESTAMP(14)	Fecha del momento que se registra la configuración, valor por defecto dado por el sistema

- Tabla perfil

En esta tabla se almacena la identificación de los perfiles que podrán acceder a la aplicación

```
DROP TABLE IF EXISTS `artrometro`.`perfil` ;
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `artrometro`.`perfil` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
```

```

`nombre` VARCHAR(60) NULL,
`descripcion` VARCHAR(150) NULL,
`fechaRegistro` TIMESTAMP(14) NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
PRIMARY KEY (`id`))
ENGINE = InnoDB;

```

Tabla 7: Diccionario de datos "perfil"
Fuente: Elaboración propia

TABLA	perfil		
ATRIBUTO	CLAVE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Id	Primaria	INT	Identificación del perfil en la base de datos, de comportamiento incremental.
nombre		VARCHAR(60)	Nombre del perfil (Identificación de privilegios de usuario)
descripcion		VARCHAR(150)	Información detallada del perfil
fechaRegistro		TIMESTAMP(14)	Fecha del momento que se registra el perfil, valor por defecto dado por el sistema

- Tabla usuario

En esta tabla se almacenan los usuarios que tendrán acceso a la aplicación, y se relacionan los privilegios que tiene cada usuario

```

DROP TABLE IF EXISTS `artrometro`.`usuario` ;

```

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `artrometro`.`usuario` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `nombreUsuario` VARCHAR(45) NULL,
  `password` VARCHAR(45) NULL,
  `nombres` VARCHAR(45) NULL,
  `apellidos` VARCHAR(45) NULL,
  `telefono` VARCHAR(45) NULL,
  `correo` VARCHAR(45) NULL,
  `fechaRegistro` TIMESTAMP(14) NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  `perfil` INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`, `perfil`),
  INDEX `fk_usuario_perfil_idx` (`perfil` ASC),
  CONSTRAINT `fk_usuario_perfil`
    FOREIGN KEY (`perfil`)
    REFERENCES `artrometro`.`perfil` (`id`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

Tabla 8: Diccionario de datos "usuario"
Fuente: Elaboración propia

TABLA	usuario		
ATRIBUTO	CLAVE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Id	Primaria	INT	Identificación del usuario en la base de datos, de comportamiento incremental.
nombreUsuario		VARCHAR(45)	Nombre único de usuario para ingreso a la aplicación
password		VARCHAR(45)	Contraseña para ingresar al sistema
nombres		VARCHAR(45)	Nombre real y completo del usuario
apellidos		VARCHAR(45)	Apellido real y completo del usuario
telefono		VARCHAR(45)	Teléfono de contacto con el usuario
correo		VARCHAR(45)	Correo de contacto con el usuario
perfil	Foránea	INT	Identificador del perfil, se define el nivel de privilegios que tendrá el usuario
fechaRegistro		TIMESTAMP(14)	Fecha del momento que se registra el usuario, valor por defecto dado por el sistema

- Tabla toma_datos

En esta tabla se almacena los resultados de la captura desde el prototipo de cada paciente después de una interpretación y diagnóstico.

```
DROP TABLE IF EXISTS `artrometro`.`toma_datos` ;
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `artrometro`.`toma_datos` (  
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,  
  `derecha` DOUBLE NULL,  
  `izquierda` DOUBLE NULL,  
  `diagnostico` VARCHAR(45) NULL,  
  `fechaRegistro` TIMESTAMP(14) NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,  
  `paciente_id` INT NOT NULL,  
  PRIMARY KEY (`id`, `paciente_id`),  
  INDEX `fk_toma_datos_paciente1_idx` (`paciente_id` ASC),  
  CONSTRAINT `fk_toma_datos_paciente1`  
    FOREIGN KEY (`paciente_id`)  
    REFERENCES `artrometro`.`paciente` (`id`)  
    ON DELETE NO ACTION  
    ON UPDATE NO ACTION)  
ENGINE = InnoDB;
```

Tabla 9: Diccionario de datos "toma_datos"
Fuente: Elaboración propia

TABLA	toma_datos		
ATRIBUTO	CLAVE	TIPO	DESCRIPCIÓN

Id	Primaria	INT	Identificación de la toma de datos en la base de datos, de comportamiento incremental.
derecha		DOUBLE	Es el desplazamiento máximo que se obtuvo en una captura de datos de la pierna derecha
izquierda		DOUBLE	Es el desplazamiento máximo que se obtuvo en una captura de datos de la pierna izquierda
diagnostico		VARCHAR(45)	Diagnostico dado luego de analizar los desplazamientos de la rodilla derecha e izquierda
paciente	Foránea	INT	Identificador del paciente
fechaRegistro		TIMESTAMP(14)	Fecha del momento que se registra el toma_datos, valor por defecto dado por el sistema

- Tabla temporal_datos

En esta tabla se almacenan temporalmente los datos que se capturan por el prototipo para su debido análisis y luego almacenarse en toma_datos.

DROP TABLE IF EXISTS `artrometro`.`temporal_datos` ;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `artrometro`.`temporal_datos` (
`id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
`derecha` VARCHAR(250) NULL,
`izquierda` VARCHAR(250) NULL,
`fechaRegistro` TIMESTAMP(14) NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
`paciente_id` INT NOT NULL,
PRIMARY KEY (`id`, `paciente_id`),
INDEX `fk_temporal_datos_paciente1_idx` (`paciente_id` ASC),
CONSTRAINT `fk_temporal_datos_paciente1`
FOREIGN KEY (`paciente_id`)
REFERENCES `artrometro`.`paciente` (`id`)
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

Tabla 10: Diccionario de datos "toma_datos"
Fuente: Elaboración propia

TABLA	toma_datos		
ATRIBUTO	CLAVE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Id	Primaria	INT	Identificación de la toma temporal de datos en la base de datos, de comportamiento incremental.
derecha		VARCHAR(250)	Es una cadena de texto que contiene todos los datos capturados de la pierna derecha por el prototipo para luego ser analizados

izquierda		VARCHAR(250)	Es una cadena de texto que contiene todos los datos capturados de la pierna izquierda por el prototipo para luego ser analizados
paciente	Foránea	INT	Identificador del paciente
fechaRegistro		TIMESTAMP(14)	Fecha del momento que se registra el temporal_datos, valor por defecto dado por el sistema

6. IMPLEMENTACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DEL APLICATIVO

Para poder ejecutar, visualizar y gestionar los datos de los pacientes y el posible diagnóstico de ruptura de ligamento, se desarrolla una aplicación software con el que interactuar el prototipo. Para tal desarrollo se realiza montaje de una base de datos, el cual se aloja localmente en el equipo que ejecutara la aplicación.

El desarrollo se realiza por componentes que se describen a continuación.

6.1.1 GESTIÓN DE USUARIOS

El componente de gestión de usuarios permite la gestión de los datos concernientes a los usuarios, en el perfil de administrador opera los datos, tanto de creación de nuevos registros, modificación, eliminación y visualización. A este componente también lo conforma el control de acceso de la aplicación.

*Ilustración 27: Vista Control de acceso
Fuente: Elaboración propia*

Buscar

ID	USUARIO	PASSWO...	NOMBRES	APELLID...	TELEFO...	CORREO	PERFIL	CREACI...
1	JREINA	1234	JESSICA	REINA	31044...	JREINA...	2	2017-...
2	JMONC...	1234	JOHAN	MONC...	31378...	JOHAN...	1	2017-...
3	MRAYO	1234	MAURI...	RAYO	31099...	mauric...	1	2017-...
4	MARIA	1123	AXU	AUX	31378...	aux@u...	1	2017-...

Usuario

Contraseña

Nombres

Apellidos

Telefono

Correo

Perfil

*Ilustración 28: Vista Gestión de usuarios
Fuente: Elaboración propia*

6.1.2 GESTIÓN DE PACIENTES

Este componente permite la gestión de los datos de los pacientes que se les aplicara la técnica, este componente está bajo el perfil de Administrador ya en este permite la manipulación de los datos de los pacientes tanto de crear nuevos pacientes como de modificar, eliminar y visualizar existentes.

Buscar

ID	IDENTIFI...	NOMBRES	GENERO	EDAD	FECHA Y ...	TELEFO...	EPS	CREACI...
1	10882...	Sara b...	MASCU...	21	10/09/...	31289...	SOS	2017-...

Nombre del paciente

Identificacion

Fecha y lugar de nacimiento

Edad

Telefono

EPS

Genero

*Ilustración 29: Vista Gestión de pacientes
Fuente: Elaboración propia*

6.1.3 GESTIÓN TÉCNICA

El componente de gestión técnica permite la gestión de los datos que conciernen a la aplicación de la técnica de cajo con el prototipo, el perfil Profesional es el encargado de operar los datos de este componente, ya sea para el ingreso de nuevos pacientes, configuración previa a ejecución de la prueba, toma de datos y las dos formas de consulta.

Buscar

ID	IDENTIF...	NOMBR...	GENERO	EDAD	FECHA ...	TELEFO...	EPS	CREACI...
1	1088...	Sara b...	MASC...	21	10/09...	3128...	SOS	2017-...

Ilustración 30: Vista Gestión técnica. Configuración
Fuente: Elaboración propia

Nombre del paciente
 Identificación
 Edad
 Genero

GRAFICA

DESPLAZAMIENTO(cm)

TIEMPO(seg)

— Pierna izquierda

cm

Prototipo

COM6

Calcula distancia inicial

Iniciar prueba

00:00

Izquierda Derecha

GRAFICA

DESPLAZAMIENTO(cm)

TIEMPO(seg)

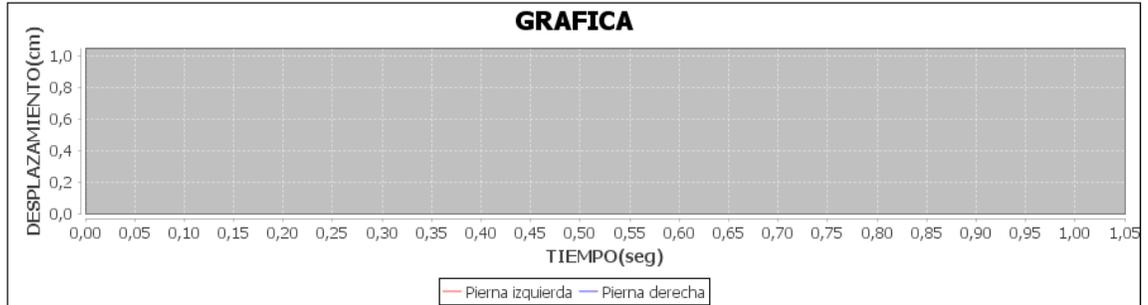
— Pierna derecha

cm

Ilustración 31: Vista Gestión técnica. Toma de datos
Fuente: Elaboración propia

Nombre del paciente
 Identificación
 Edad
 Genero

Grafica de resultados



Diagnostico

Ilustración 32: Vista Gestión técnica. Consulta de resultados
Fuente: Elaboración propia

Buscar paciente por identificación

ID	IDENTIFICACI...	NOMBRES	GENERO	EDAD	D. IZQUIERDO	D. DERECHO	DIAGNOSTICO	CREACION
1	10882937865	Sara beltras	MASCULINO	21	29.6	29.6	Ligamento sa...	2017-11-23 0...
2	10882937865	Sara beltras	MASCULINO	21	23.0	10.3	Posible ruptur...	2017-11-23 0...
3	10882937865	Sara beltras	MASCULINO	21	29.2	10.1	Posible ruptur...	2017-11-23 0...
4	10882937865	Sara beltras	MASCULINO	21	8.4	9.1	Posible ruptur...	2017-11-23 0...
5	10882937865	Sara beltras	MASCULINO	21	8.5	8.6	Ligamento sa...	2017-11-23 0...
6	10882937865	Sara beltras	MASCULINO	21	11.3	9.4	Posible ruptur...	2017-11-23 1...
7	10882937865	Sara beltras	MASCULINO	21	1.83	1.81	Ligamento sa...	2017-11-23 1...
8	10882937865	Sara beltras	MASCULINO	21	2.64	2.04	Posible ruptur...	2017-11-23 1...

Ilustración 33: Vista Gestión técnica. Consulta de históricos
Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 35, se puede observar las conexiones que se requirieron para el funcionamiento del prototipo, se realiza un boceto para ilustrar la conexión, el cual se muestra a continuación.

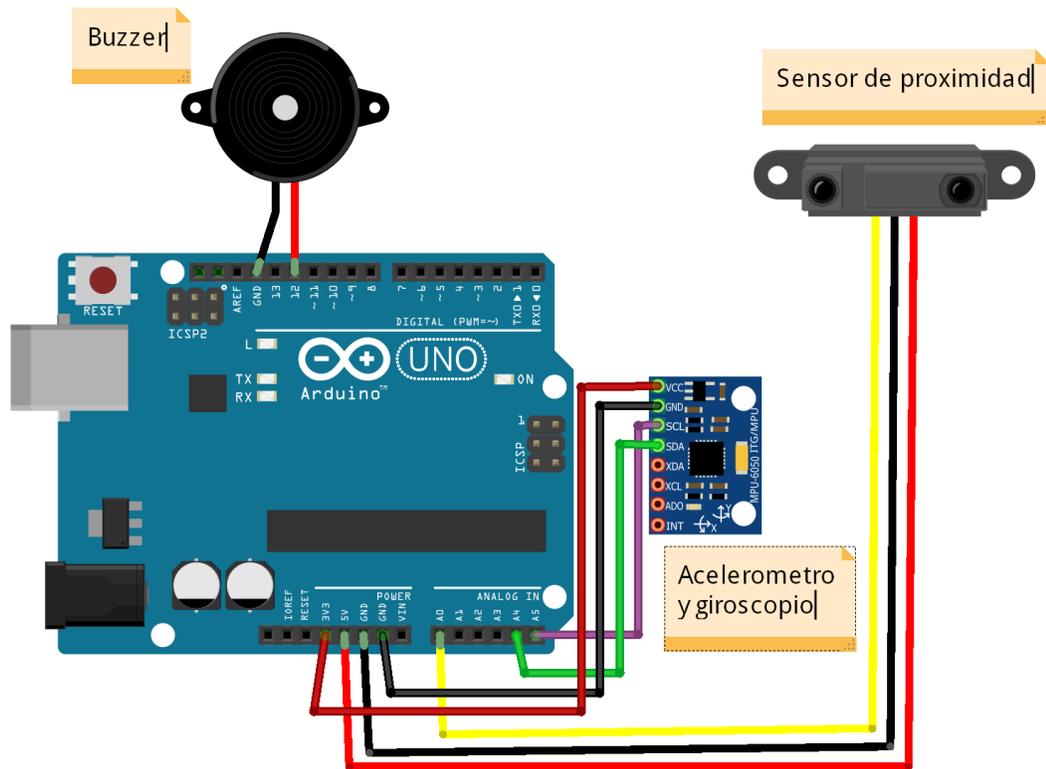
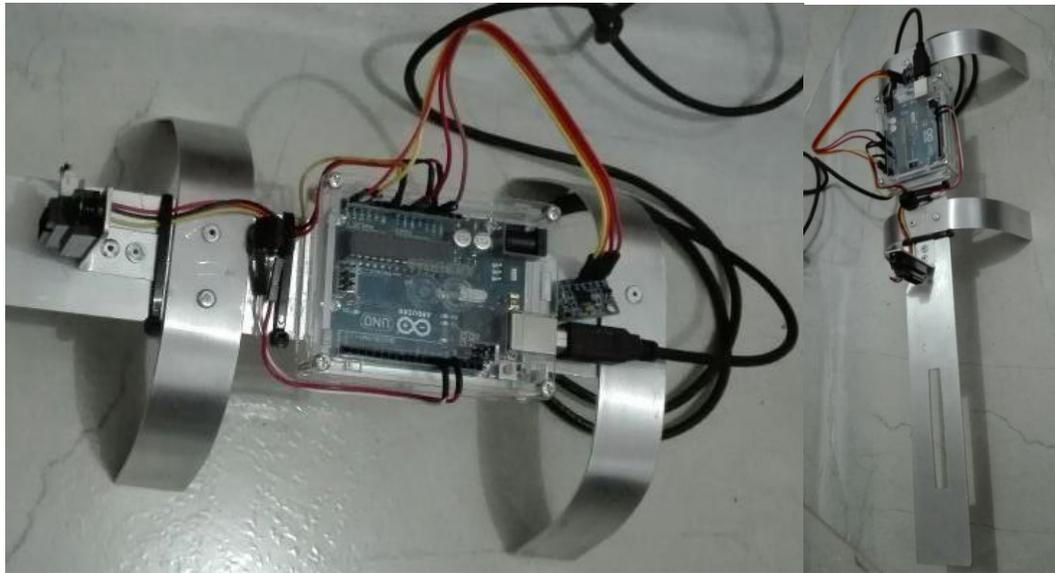


Ilustración 35: Distribución del prototipo
Fuente: Elaboración propia

- Montaje del circuito

El correspondiente montaje se realiza directamente en la placa Arduino UNO y esta se conecta directamente a la computadora. Se realiza un conjunto de pruebas de funcionamiento en las cuales el Buzzer notifica por medio de un tono cuando la inclinación del prototipo se encuentra fuera del rango establecido y el sensor de proximidad comunica los desplazamientos realizados.



*Ilustración 36: Montaje del circuito
Fuente: Elaboración propia*

- Ensamble

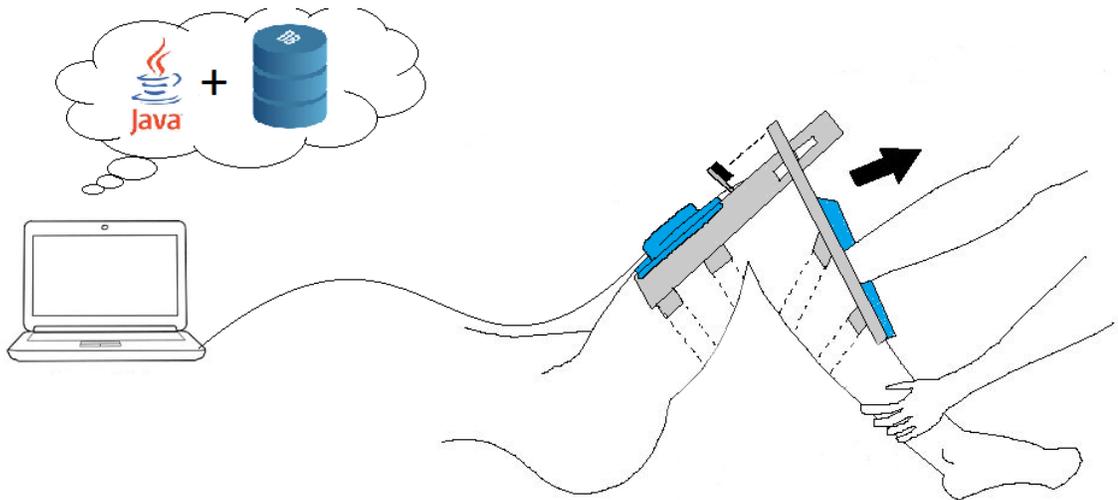
El ensamble se realiza con la placa Arduino UNO que se encuentra en una caja fija, el sensor de proximidad, Buzzer y el acelerómetro y giroscopio. En la estructura superior de aluminio se sitúan tanto los sensores como la placa Arduino UNO y el cableado.



*Ilustración 37: Ensamble del prototipo
Fuente: Elaboración propia*

- Funcionamiento

En esta sección se detalla el funcionamiento principal del prototipo que es la medición de desplazamiento y diagnóstico. Esta funcionalidad consiste en ubicar la estructura metálica paralelo al fémur del miembro inferior que se vaya a evaluar, la estructura metálica inferior se ubica paralelo a la tibia, este prototipo mide inicialmente que ambos segmentos corporales se encuentren inclinados en un rango de 43° – 48° , posterior a esto el fisioterapeuta ejercerá la maniobra semiológica en donde la estructura superior mide el desplazamiento con respecto a la estructura inferior, se realizará el mismo procedimiento en el otro miembro inferior, una vez terminado se comparan los resultados de ambas pruebas y se determina un posible diagnóstico.



*Ilustración 38: Funcionamiento del prototipo + aplicación
Fuente: Elaboración propia*

7. PRUEBAS

7.1 PRUEBAS DEL SISTEMA

Para asegurar que el software cumpla con las necesidades requeridas, funcionamiento correcto y buena calidad, es necesario realizar pruebas de software que garantice la integridad del sistema.

Para este caso en particular se realizan las siguientes pruebas:

- ❖ Pruebas de componentes de la aplicación: Estas pruebas permiten garantizar que las necesidades y requerimientos se están cumpliendo.
- ❖ Pruebas de funcionamiento: Estas pruebas permiten detectar los errores que se pueden presentar en cada uno de los componentes del sistema.

7.1.1 PRUEBAS DE COMPONENTES DE LA APLICACIÓN

Tabla 11: Pruebas de verificación de requerimientos
Fuente: Elaboración propia

REQUERIMIENTO	FUNCIONALIDAD	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Gestionar usuarios	Crear usuario	*	SI
	Modificar usuario	*	SI
	Eliminar usuario	*	SI
	Visualizar usuarios	*	SI
	Asignar perfil	*	SI
Gestionar de pacientes	Crear paciente		SI
	Modificar paciente	*	SI
	Eliminar paciente	*	SI
	Visualizar pacientes		SI
Gestión técnica	Registro paciente		SI
	Configuración		SI
	Toma datos		SI
	Consulta resultados		SI
	Consulta históricos		SI

(*) Requiere perfil administrador

7.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Tabla 12: Prueba Crear usuario
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Crear usuario			
RESPONSABLE	Johan Moncada			
OBJETIVO	Comprobar si el sistema crea correctamente los usuarios			
USUARIO REQUERIDO	Administrador			
DATOS DE PRUEBA	Datos del nuevo usuario			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de usuarios y se ingresan los datos requeridos			
RESULTADO ESPERADO	Notificación, Usuario creado exitosamente			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	Los datos ingresados se reflejan en la base de datos correctamente			

Tabla 13: Prueba Modificar usuario
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Modificar usuario			
RESPONSABLE	Johan Moncada			
OBJETIVO	Comprobar que la aplicación modifica correctamente los usuarios			
USUARIO REQUERIDO	Administrador			
DATOS DE PRUEBA	Datos de los campos a modificar			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de usuarios y se selecciona el registro de usuario a modificar			
RESULTADO ESPERADO	Notificación, Usuario modificado exitosamente			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	Inicialmente se presentaron errores para modificar el usuario ya que el SQL estaba mal planteado, seguido a la solución los cambios se reflejaron en la base de datos correctamente			

Tabla 14: Prueba Eliminar usuario
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Eliminar usuario			
RESPONSABLE	Johan Moncada			
OBJETIVO	Comprobar que la aplicación elimine correctamente los usuarios			
USUARIO REQUERIDO	Administrador			
DATOS DE PRUEBA	Selección de usuario a eliminar			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de usuarios y se selecciona el registro de usuario a eliminar			
RESULTADO ESPERADO	Notificación, usuario eliminado satisfactoriamente			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	La eliminación del usuario se ve reflejada en la base de datos			

Tabla 15: Prueba Visualizar usuarios
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Visualizar usuarios			
RESPONSABLE	Johan Moncada			
OBJETIVO	Comprobar que la aplicación muestre los usuarios existentes			
USUARIO REQUERIDO	Administrador			
DATOS DE PRUEBA	N/A			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de usuarios y solicita visualización de usuario			
RESULTADO ESPERADO	Registro de usuarios reflejados en la tabla de la			

	aplicación.			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	Los registros se visualizan correctamente			

*Tabla 16: Prueba Crear paciente
Fuente: Elaboración propia*

FUNCIONALIDAD	Crear paciente			
RESPONSABLE	Johan Moncada, Mauricio Rayo			
OBJETIVO	Comprobar si el sistema crea correctamente los pacientes			
USUARIO REQUERIDO	Administrador			
DATOS DE PRUEBA	Datos del nuevo paciente			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de pacientes y se ingresan los datos requeridos			
RESULTADO ESPERADO	Notificación, Paciente creado exitosamente			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	Los datos ingresados se reflejan en la base de datos correctamente			

*Tabla 17: Prueba Modificar paciente
Fuente: Elaboración propia*

FUNCIONALIDAD	Modificar paciente			
RESPONSABLE	Johan Moncada			
OBJETIVO	Comprobar que la aplicación modifica correctamente los pacientes			
USUARIO REQUERIDO	Administrador			
DATOS DE PRUEBA	Datos de los campos a modificar			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de pacientes y se selecciona el registro de paciente a modificar			
RESULTADO ESPERADO	Notificación, Paciente modificado exitosamente			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	Los datos modificados se reflejan exitosamente en la base de datos			

*Tabla 18: Prueba Eliminar paciente
Fuente: Elaboración propia*

FUNCIONALIDAD	Eliminar paciente			
RESPONSABLE	Johan Moncada			
OBJETIVO	Comprobar que la aplicación elimine correctamente los pacientes			
USUARIO REQUERIDO	Administrador			
DATOS DE PRUEBA	Selección de paciente a eliminar			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de			

	Gestión de pacientes y se selecciona el registro del paciente a eliminar			
RESULTADO ESPERADO	Notificación, Paciente eliminado satisfactoriamente			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	La eliminación del paciente se ve reflejada en la base de datos			

Tabla 19: Prueba Visualizar paciente
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Visualizar pacientes			
RESPONSABLE	Johan Moncada			
OBJETIVO	Comprobar que la aplicación muestre los pacientes existentes			
USUARIO REQUERIDO	Administrador			
DATOS DE PRUEBA	N/A			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de pacientes y solicita visualización de pacientes			
RESULTADO ESPERADO	Registro de pacientes reflejados en la tabla de la aplicación.			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	Los registros de los pacientes se visualizan correctamente			

Tabla 20: Prueba Registrar paciente
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Registrar paciente			
RESPONSABLE	Johan Moncada, Mauricio Rayo			
OBJETIVO	Comprobar si el sistema registra correctamente los pacientes			
USUARIO REQUERIDO	Profesional			
DATOS DE PRUEBA	Datos del nuevo paciente			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de técnica en la pestaña registro de pacientes y se ingresan los datos requeridos			
RESULTADO ESPERADO	Notificación, Paciente registrado exitosamente			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	Los datos ingresados se reflejan en la base de datos correctamente			

Tabla 21: Prueba Configuración
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Configuración			
RESPONSABLE	Johan Moncada, Mauricio Rayo			
OBJETIVO	Comprobar si registra la configuración del prototipo			
USUARIO REQUERIDO	Profesional			
DATOS DE PRUEBA	N/A (Valores tomados del prototipo)			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de técnica en la pestaña configuración y se ejecuta el proceso de calibración el cual contiene la inclinación de la estructura de aluminio y la distancia inicial.			
RESULTADO ESPERADO	Notificación, Configuración registrada correctamente			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	Los datos ingresados se reflejan en la base de datos correctamente			

Tabla 22: Prueba Toma de datos
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Toma de datos			
RESPONSABLE	Johan Moncada, Mauricio Rayo			
OBJETIVO	Comprobar si el sistema muestra los desplazamientos capturado por el prototipo			
USUARIO REQUERIDO	Profesional			
DATOS DE PRUEBA	N/A (Valores tomados del prototipo)			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de técnica en la pestaña toma de datos y se ejecuta la captura de datos de ambas piernas aplicándoles la técnica de cajón.			
RESULTADO ESPERADO	Valores de desplazamiento			
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO
COMENTARIOS	Los datos se visualizan correctamente			

Tabla 23: Prueba Consulta de resultado
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Consulta de resultados			
RESPONSABLE	Johan Moncada, Mauricio Rayo			
OBJETIVO	Comprobar si el sistema muestra los resultados de la toma de datos			
USUARIO REQUERIDO	Profesional			
DATOS DE PRUEBA	N/A (Datos existentes de Toma de datos)			
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de técnica en la pestaña consulta de resultados			
RESULTADO ESPERADO	Grafica comparativa de los desplazamientos obtenidos			

	en ambas piernas y visualización de un posible diagnóstico				
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO	
COMENTARIOS	Los datos se visualizan correctamente				

Tabla 24: Prueba Consulta de históricos
Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD	Consulta de históricos				
RESPONSABLE	Johan Moncada, Mauricio Rayo				
OBJETIVO	Comprobar si el sistema muestra los resultados históricos				
USUARIO REQUERIDO	Profesional				
DATOS DE PRUEBA	N/A (Datos existentes de Toma de datos)				
PROCEDIMIENTO	Se ingresa a la aplicación en el componente de Gestión de técnica en la pestaña consulta de históricos				
RESULTADO ESPERADO	Visualización de histórico de pacientes y sus desplazamientos obtenidos en el momento de ejecutar la técnica de cajón				
RESULTADO OBTENIDO	PRUEBA EXITOSA	SI	X	NO	
COMENTARIOS	Los datos se visualizan correctamente				

7.3 PRUEBAS DEL PROTOTIPO

En esta etapa se realizan las pruebas al prototipo para comprobar el correcto funcionamiento de las partes que lo componen. Se realizan pruebas de cada uno de los sensores y se envían los datos de desplazamiento a la aplicación.

- Prueba de sensor de proximidad

En primera instancia se realizan pruebas de calibración, éstas hacen referencia a la distancia inicial de la captura, seguido se toman los datos de desplazamiento de ambas piernas. El desplazamiento estará dado en milímetros (mm) donde el sensor de proximidad ubicado en la estructura metálica paralelo al fémur mide el desplazamiento con respecto a la estructura metálica inferior ubicada paralelamente a la tibia. Las pruebas consisten en fijar el prototipo en la pierna izquierda del paciente y medir por medio del sensor de proximidad la distancia inicial y los desplazamientos en el momento de la aplicación de la técnica, se toman como referencia 5 muestras para determinar si las lecturas obtenidas contrastan con la distancia real.

Tabla 25: Prueba sensor de proximidad pierna izquierda
Fuente: Elaboración propia

Pierna izquierda			
Distancia inicial real (mm)	Distancia inicial medido (mm)	Desplazamiento real (mm)	Desplazamiento medido (mm)
86	85	3	3
82	82	4	3
91	92	2	2
98	97	7	8
104	104	3	4

Con los resultados de las pruebas que se puede observar en la Tabla 25, se construye un esquema con los resultados de estas pruebas que se pueden apreciar en las ilustraciones 39 y 40.

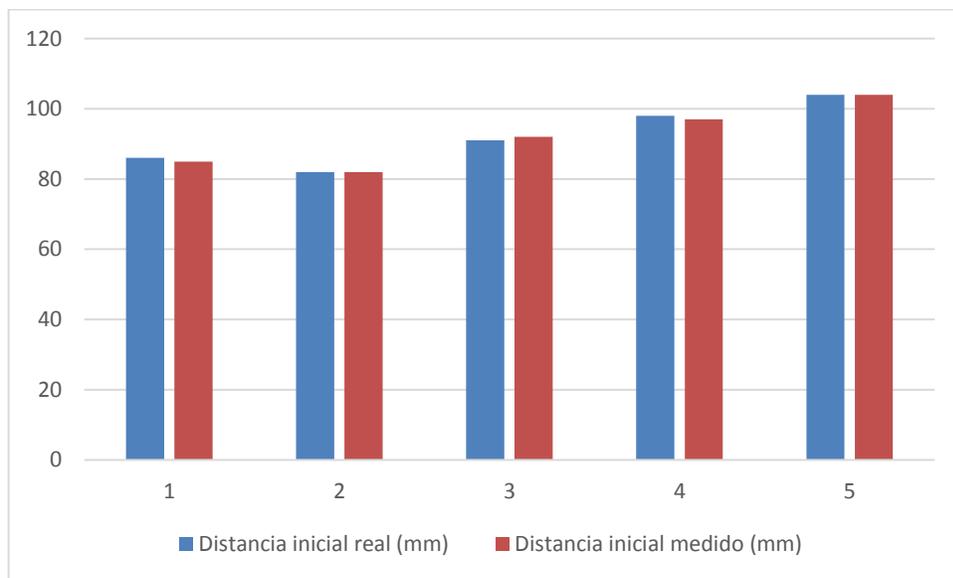


Ilustración 39: Resultados Distancia inicial
Fuente: Elaboración propia

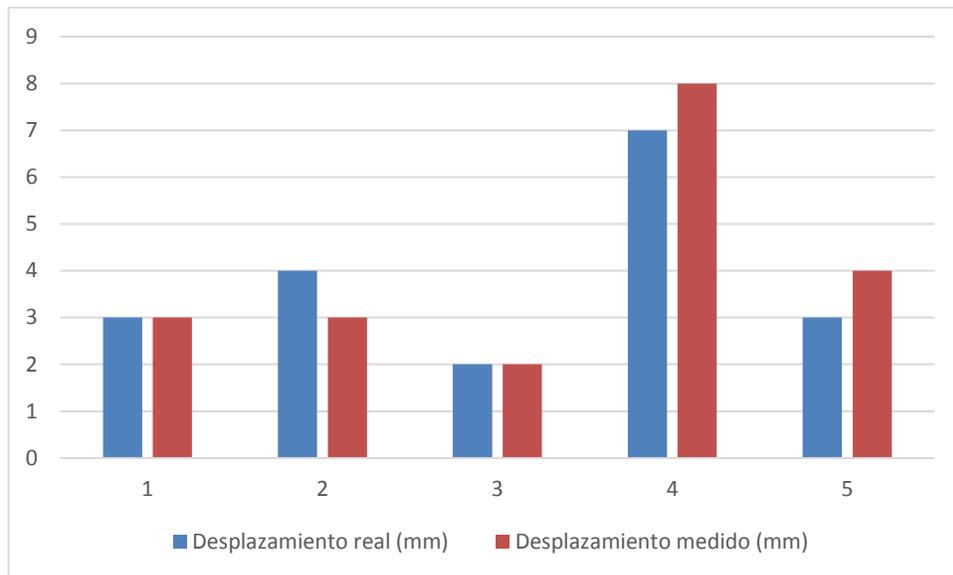


Ilustración 40: Resultados Desplazamientos
Fuente: Elaboración propia

- Pruebas de acelerómetro y giroscopio con tono del Buzzer

Para probar el correcto funcionamiento de estos dos componentes como lo son el acelerómetro y giroscopio y el Buzzer, se procede a ubicar la estructura metálica paralelo al fémur del miembro inferior que se vaya a evaluar, la estructura metálica inferior se ubica paralelo a la tibia, este prototipo mide inicialmente que ambos segmentos corporales se encuentren inclinados en una rango de $43^{\circ} - 48^{\circ}$, en el momento en que se ajusta la inclinación de los segmentos corporales el Buzzer notifica por medio de tono (pitido) que se encuentra fuera del rango permitido, los resultados de la prueba se pueden observar en la siguiente Tabla 26.

Tabla 26: Prueba de inclinación y tono
Fuente: Elaboración propia

Angulo de inclinación	Tono emitido por Buzzer
30°	SI
37°	SI
35°	SI
41°	NO
45°	NO

- Prueba de envío de desplazamientos

Para probar el correcto funcionamiento del envío de los datos de desplazamiento por parte del sensor de proximidad se prueba la trasmisión de los datos de desplazamiento a la aplicación y generando un registro de dicho almacenamiento.

Dicha prueba se realiza en un paciente, en el que se le aplica la prueba de forma breve con el fin de obtener los datos y visualizar los datos en la aplicación.

En la siguiente ilustración 41, se muestra los resultados de la prueba visualizándose desde la aplicación.

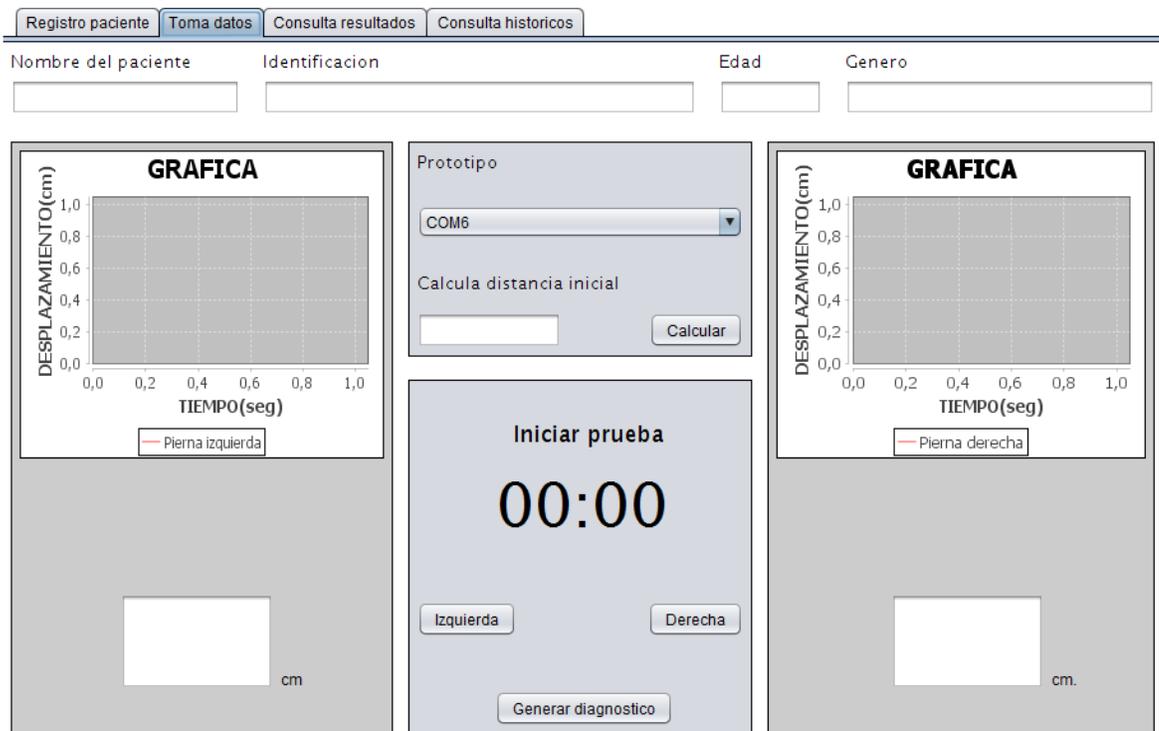


Ilustración 41: Prueba envío de desplazamientos
Fuente: Elaboración propia

- Prueba de funcionamiento del prototipo

Para las pruebas de funcionamiento del prototipo se cuenta con una persona encargada de realizar la prueba semiológica de cajón y una persona a la cual se le aplica la prueba semiológica poniéndose el prototipo sobre la pierna.

Antes de iniciar se informa a la persona en que consiste la prueba y cuáles son los posibles resultados esperados en el momento de la ejecución de esta.

Como prueba se realizan toma fotográfica que se muestran a continuación.



Al finalizar la prueba la aplicación da un posible diagnóstico que en este caso fue que la persona que hacía de paciente no tenía ningún desplazamiento anormal en su estructura de rodilla por lo cual no tiene ningún grado de ruptura. La persona que porto el dispositivo realiza comentarios y observaciones acerca de la comodidad del prototipo como: cambio de correas para mejorar la comodidad en el momento en que la persona porta el prototipo y un recubrimiento más grande del prototipo.

8. CONCLUSIONES

- Al realizar la recolección de información, se encontró excelente material bibliográfico, incluso artículos científicos, todos ellos hablan de dispositivos elaborados en el exterior, pero ninguno habla del plano local, de ahí la importancia de la presente implementación y su respectiva documentación.
- Para llegar al prototipo final del dispositivo fue necesario tomar como base algunos de los dispositivos ya existentes en el mercado como lo son KT1000, GNRB, KNEELAX, debido a los elevados costos de los dispositivos existentes, se diseñó y se implementa el prototipo funcional con costos bajos, materiales asequibles y con funcionalidad para el proceso de enseñanza aprendizaje a nivel profesional.
- Cada una de las definiciones, funcionalidades y propiedades del prototipo fueron extraídas y comparadas con las características de los dispositivos existentes en el mercado y con los datos recopilados del estado del arte; de ahí la validez y calidad del dispositivo.
- La construcción de este dispositivo de medida ofrece una posibilidad económica para las escuelas de fisioterapia o afines, de adquirir una herramienta tecnológica que apoye el proceso de enseñanza aprendizaje de la prueba semiológica de cajón, debido a que su utilización es sencilla y su construcción en comparación a los existentes en el mercado es muy asequible.
- El programa desarrollado permite comunicación con el prototipo construido, siendo comparado con las características que ofrecen otros programas que trabajan con los artrómetros existentes en el mercado, podemos concluir que nuestro programa satisface las necesidades esenciales que se requieren para realizar la técnica de cajón y agregando una funcionalidad adicional como lo es la determinación de un posible diagnóstico al finalizar la prueba semiológica.
- Se utilizó Java como lenguaje de programación, pues por sus características brinda beneficios como soporte, documentación, apoyo a través de foros y comunidades para el diseño del aplicativo, de igual manera a futuro presenta una buena plataforma para soporte y mejoras de programa desarrollado.
- Otro tópico por el cual se eligió Java como plataforma, es la interoperabilidad que presenta el lenguaje de programación, ya que permite realizar aplicaciones con otros sistemas, plataformas y lenguajes.
- Al realizar las pruebas de funcionamiento del dispositivo acoplado y al compararlas con las planteadas en la teoría, se observa que las mediciones obtenidas en diferentes muestras son muy similares, obteniendo desplazamientos

previstos entre los rangos definidos; con ello se muestra la calidad de funcionamiento del dispositivo.

REFERENCIAS

- [1] E. Pró, Anatomía Clínica, Pro., Panamericana, 2013.
- [2] American Academy of Orthopaedic Surgeons, «OrthoInfo,» 2013. [En línea]. Available: <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=A00697>. [Último acceso: 13 Agosto 2017].
- [3] G. B. Jochen, Semiología del aparato locomotor, Celsus, 2011.
- [4] «Arduino Official Website,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Último acceso: 13 10 2016].
- [5] Ó. Torrente Artero, Arduino. Curso práctico de formación, México: Alfaomega, 2013.
- [6] «Wiki de robotica,» [En línea]. Available: <http://wiki.robotica.webs.upv.es/wiki-de-robotica/sensores/sensores-proximidad/>. [Último acceso: 15 Septiembre 2017].
- [7] I. Gilfillan, La biblia de MySQL, Madrid: ANAYA Multimedia, 2003.
- [8] [En línea]. Available: <http://www.prucomercialre.com/que-es-un-artrometro/>. [Último acceso: 22 Enero 2017].
- [9] S. Porter, Tidy. Fisioterapia, Barcelona: ELSEVIER, 2009.
- [10] M. P. Robert LaPrade, «The steadman clinic,» [En línea]. Available: <http://drrobertlaprademd.com/kt-1000-testing-for-acl-tear/kt-1000-testing-laprade/>. [Último acceso: 23 Agosto 2017].
- [11] GNRB, «Genourob Innovate laximetry,» [En línea]. Available: <http://www.genourob.com/>. [Último acceso: 18 Julio 2017].
- [12] Y. B. F. N. K. H. N. Lefevre, «Validity of GNRB® arthrometer compared to Telos™ in the assessment of partial anterior cruciate ligament tears,» *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, vol. 22, p. 285–290, 2014.
- [13] A. Rouilly, «Medical Expo,» Virtual Expo Group, [En línea]. Available: <http://www.medicalexpo.es/prod/adam-rouilly/product-67494-520710.html>. [Último acceso: 11 09 2016].
- [14] G. Arango Garcia, O. E. Prado Garcia y A. Mendez Fornaris, «Artrómetro de rodilla para lesiones de ligamentos cruzados (constrúyalo usted),» *Rev Cubana Ortop Traumatol [online]*, vol. 12, nº 1-2, pp. 81-83, 1998.
- [15] E. G. M. C. P. L. A. P. D. M. Dres. Arturo Makino, «Evaluación artrométrica de rodilla con KT 1000 en pacientes con ruptura del L.C.A. sin y con anestesia,» *ARTROSCOPIA [Publicacion virtual]*, vol. 5, nº 1, pp. 40-43, 1998.
- [16] Euskadi Tecnologia, «Euskadi Tecnologia,» [En línea]. Available: <http://www.euskaditecnologia.com/la-upna-desarrolla-un-simulador-clinico-para-estudiantes-de-fisioterapia/>. [Último acceso: 1 Noviembre 2016].
- [17] C. Parra Cruz, *La lesión del ligamento cruzado anterior en el fútbol femenino.*, Madrid: Universidad politecnica de madrid, 2014.

- [18] T.-R. J. C.-G. J. L.-B. I. V.-N. C. D.-A. J. E.-S. M. A.-M. A. Berumen-Nafarrate E, «Interpretación de la maniobra de pivote mediante el uso de acelerómetros en pacientes que acuden a consulta ortopédica,» *Acta Ortopédica Mexicana*, vol. 29, nº 3, pp. 176-181, 2015.
- [19] A. S. ZALDUMBIDE PERALVO, *ANÁLISIS DE LOS EJERCICIOS DE FUERZA EJECUTADOS*, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, 2013.
- [20] F. Villada y J. Muñoz, «Desarrollo de un software de análisis biomecánico a través de datos de captura de movimiento usando el sensor KINECT para rehabilitación asistida con video juegos,» *Entre Ciencia e Ingeniería*, nº 16, pp. 72-77, 2014.
- [21] «Arduino.cc,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. [Último acceso: 23 Marzo 2017].
- [22] SHARP, «DataSheet GP2Y0A41SK0F,» [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/file/0J713/GP2Y0A41SK0F.pdf>. [Último acceso: 4 Agosto 2017].
- [23] InvenSense Inc., «InvenSense,» 19 Agosto 2013. [En línea]. Available: https://www.cdiweb.com/datasheets/invensense/MPU-6050_DataSheet_V3%204.pdf. [Último acceso: 15 Julio 2017].
- [24] «TBem,» Teslabem, [En línea]. Available: <http://teslabem.com/buzzer-activo.html>. [Último acceso: 29 Mayo 2017].
- [25] Muscle Force™, «Muscle Force,» [En línea]. Available: <http://www.muscleforce.es/es/accesorios/140-faja-de-neopreno.html>. [Último acceso: 17 Septiembre 2017].
- [26] Oracle Corporation, «NetBeans,» [En línea]. Available: <https://netbeans.org>. [Último acceso: 17 09 2017].
- [27] Oracle Technology Network, «Oracle,» [En línea]. Available: <http://www.oracle.com/technetwork/articles/index.html>. [Último acceso: 17 Septiembre 2017].
- [28] I. J. G. B. J. Rumbaugh, *El lenguaje unificado de modelado. Manual de referencia*, Madrid: Pearson educacion, S. A., 2000.