



**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PROTOTIPO PORTÁTIL PARA LA
MEDICIÓN DEL ÁNGULO DE TORSIÓN DE LA TIBIA ENTRE RODILLA
Y TOBILLO, EN PACIENTES DE EDAD ADULTA DE AMBOS GÉNEROS**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar por el Título de

INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR

Br. Ríos B, Bogart

Br. Solórzano L, Sonia

PROFESOR GUIA

Ing. Alirio Villanueva

Octubre, 2013

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Abducción:** Movimiento por el cual un miembro u otro órgano se aleja del plano medio que divide imaginariamente el cuerpo en dos partes simétricas.
- **Aducción:** Movimiento por el cual se acerca un miembro u otro órgano al plano medio que divide imaginariamente el cuerpo en dos partes simétricas.
- **Circunducción:** Movimiento circular de un miembro o parte del mismo alrededor de un eje formado por la articulación sobre la que rota.
- **Cóndilos:** Eminencia redondeada en la extremidad de un hueso, que forma articulación encajando en el hueco correspondiente de otro hueso. En el cuerpo humano se ubica en la parte inferior del fémur y parte superior del peroné.
- **Diáfisis:** Porción cilíndrica intermedia de los huesos largos comprendida entre los dos extremos o epífisis.
- **Epífisis:** Porción distal de los huesos largos, generalmente más ancha que la diáfisis, desarrollada a partir de un centro secundario de osificación durante el periodo de crecimiento, o bien formada por completo de cartílago, o bien separada de la diáfisis por el cartílago de crecimiento o fisis.
- **Maléolo:** Protuberancia de la tibia y del peroné. La del primer hueso sobresale en el lado interno y la del segundo, en el lado externo de la garganta del pie.
- **Metáfisis:** Zona de unión de la diáfisis con las epífisis de los huesos largos. Durante la época de crecimiento óseo está ocupada por el cartílago de crecimiento.
- **Músculos:** Los músculos son la parte activa del aparato locomotor ya que son capaces de generar movimiento. Un músculo en general se compone de un vientre muscular (en donde se encuentran las fibras musculares contráctiles, es la parte carnosa del músculo) y uno o dos tendones (uno de inserción y otro de origen, suele ser arbitrario cuál de los dos extremos es el del origen o inserción).
- **Patología:** Conjunto de síntomas de una enfermedad.
- **Peroné:** Hueso largo y delgado de la pierna, detrás de la tibia, con la cual se articula.

- **Propioceptividad:** Terminaciones nerviosas que proceden del propio cuerpo y que transmiten informaciones sobre la postura del cuerpo, los movimientos, el equilibrio, la actitud, etcétera.
- **Tibia:** Hueso principal y anterior de la pierna, que se articula con el fémur, el peroné y el astrágalo.
- **Valgo o Genu Valgo:** Patología caracterizada por que las rodillas se acercan a la línea media del cuerpo.
- **Varo o Genu Varo:** Patología caracterizada por que las rodillas se alejan de la línea media del cuerpo.

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PROTOTIPO PORTÁTIL PARA LA MEDICIÓN DEL ÁNGULO DE TORSIÓN DE LA TIBIA ENTRE RODILLA Y TOBILLO, EN PACIENTES DE EDAD ADULTA DE AMBOS GÉNEROS

Realizado Por: Bogart C. Ríos B. y Sonia I. Solórzano L.

Profesor Guía: Ing. Alirio Villanueva

Fecha: Septiembre 2013

SINOPSIS

La torsión tibial es una patología en la cual la tibia presenta una rotación a lo largo de su eje. Para calcular la magnitud de la rotación es necesario realizar una serie de estudios y evaluaciones para determinar el ángulo, el problema radica que al realizar estos exámenes todo depende del juicio y experticia de la persona que lo realice, dado que los puntos clave como los ejes de rotación, pueden ser apreciados y determinados por métodos diferentes, y esto puede causar un impacto negativo en el resultado de la evaluación. El presente Trabajo Especial de Grado propone diseñar un dispositivo que permita obtener, de una forma transparente y entendible, la diferencia de ángulos en el plano transversal entre los ejes de la rodilla y el tobillo, el cual indica la magnitud de la rotación. Para lograrlo se trabajó con una metodología de investigación de campo aplicada. Se analizaron diferentes propuestas de prototipos para así elegir aquella que se adaptara mejor a las necesidades que se desean cubrir. El prototipo constó de sensores ultrasónicos colocados en los extremos de los ejes de rotación y proporcionarían datos de distancia que mediante un algoritmo desarrollado permitirá conocer el ángulo de torsión. Para validar el prototipo se trabajó con pacientes del Centro de Salud Santa Inés y esto permitió comparar los resultados clínicos actuales, con los resultados del prototipo, demostrando que el dispositivo arrojaba los resultados esperados y funcionaba de acuerdo a las especificaciones.

Palabras Claves: torsión tibial, prototipo, ángulo, diseño.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco al Divino Niño y a San Onofre, por haberme acompañado durante todo este trayecto y ayudarme a salir de las dificultades que se presentaron.

Gracias a mis padres por apoyarme en todo momento y creer siempre en mí.

Gracias Pedro por su paciencia, consejos y sobre todo el apoyo brindado en las buenas y en las malas.

Gracias a mis amigos y a mis mosqueteras por haber confiado y brindarme ese apoyo moral tan importante durante todo el proyecto.

Gracias a Bogart, por ser el mejor compañero de tesis del mundo y aguantarme, entenderme, nunca dejarme sola, escucharme, tenerme paciencia, y de verdad gracias por todo.

Sonia

A mis papas, por el apoyo y la paciencia durante este año.

A Nijac, Geral y Alejandro, por estar ahí, por escuchar, ayudar, aconsejar.
Amigos de la vida.

A Carlos Porras, Karen, Sofía, compañeros de trabajo. Personas que brindaron un apoyo intangible, consejos, asesorías.

A Sonia, por la persistencia y la confianza dada, pero sobre todo por el apoyo que es necesario en este tipo de proyectos.

GRACIAS PANAS!!!

Bogart

Gracias a esas personas que de una manera u otra influyeron en el desarrollo de nuestro proyecto. Al **Ing. Alejandro Maita**, por el apoyo y asesoramiento técnico prestado. Al profesor **Ing. Giovanni Sparacio**, quien haciendo espacio en su apretada agenda, nos brindó un espacio para trabajar, y mejorar nuestro diseño. Al **Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería** de la UCAB, (CIDI), que nos ofreció un lugar para trabajar, realizar nuestras investigaciones y primeras pruebas. A sus profesores asociados, quienes con su amplia experiencia nos guiaron, nos dieron la mano cuando más la necesitábamos, nos dieron ese empuje que se necesita. Pero en especial al profesor **Ing. Demóstenes Quijada** que en los momentos críticos, estuvo ahí para indicarnos el camino correcto.

Gracias al **Centro Salud Santa Inés**, institución en la cual pudimos realizar las pruebas. A sus pacientes, al personal técnico y enfermeras que nos brindaron la ayuda necesaria.

Gracias a los doctores ortopedistas que participaron en el desarrollo del prototipo, por los conocimientos ofrecidos. En especial a la doctora **Roceli Villanueva**, nuestro principal apoyo en este prototipo.

Por último pero el más importante de todos, nuestro tutor, **Ing. Alirio Villanueva**. Quien nos guio durante todo el desarrollo del TEG, indicándonos los pasos a seguir, aclarando dudas, asesorándonos, pero sobre todo, apoyándonos siempre.

GRACIAS TOTALES!!!

Sonia y Bogart.

ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	ii
SINOPSIS	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	3
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo Generales	5
1.2.3 Objetivos Específicos	5
1.3 Justificación de la Investigación.....	5
1.4 Alcance	6
1.5 Limitaciones	6
CAPÍTULO II	7
MARCO METODOLÓGICO	7
CAPÍTULO III.....	10

MARCO TEÓRICO	10
3.1 Biomecánica	10
3.2 Antropometría	10
3.3 Articulaciones.....	11
3.5 Caracterización del área del cuerpo en estudio	13
3.5.1 Cadera	13
3.5.2 Fémur	14
3.5.3 Rodilla.....	15
3.5.4 Caracterización del pie.....	17
3.6 Diagnóstico por imágenes	19
3.6.1 Radiografía.....	19
3.6.2 Tomografía.....	20
3.6.3 Ecografía	22
3.7 Evaluación Física	24
3.8 Procedimiento actual	25
3.9 Ingeniería secuencial (IS) vs Ingeniería concurrente (IC).....	26
3.10 Ciclo de Vida de un producto.....	27
3.11 Diseño de Producto	28
3.12 Dispositivo.....	28
3.13 Prototipo	28
3.14 Manufactura.....	29
3.15 CIM	29
3.16 CAD.....	30
3.17 CAE	31

3.18 Rapid Prototyping.....	32
3.19 Circuitos Impresos.....	32
CAPÍTULO IV	33
DESARROLLO DEL PRODUCTO.....	33
4.1 Identificación de necesidades	33
4.2 Formulación de diseños preliminares alternativos para el dispositivo de medición.	34
4.3 Componentes del dispositivo.....	39
4.4 Descripción de la Electrónica del Dispositivo.....	45
4.5 Descripción del Software del Dispositivo	46
4.6 Descripción del Hardware del Dispositivo.....	55
CAPÍTULO V.....	65
RESULTADOS.....	65
5.1 Validación	65
5.2 Factibilidad Operativa	68
CAPÍTULO VI	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
6.1 Conclusiones	75
6.2 Recomendaciones	76
6.2.1 Recomendaciones de los autores	76
6.2.2 Recomendaciones de los ortopedistas.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Torsión Tibial Externa.....	4
Figura 2. Diagrama de la Metodología utilizada.....	8
Figura 3. Partes de la articulación de la Cadera	13
Figura 4. Movimientos Flexo-extensión de la Cadera	14
Figura 5. Partes del Fémur	14
Figura 6. La rodilla y sus elementos	15
Figura 7. Eje de la Rodilla.....	17
Figura 8. Ejes rotacionales del tobillo y pie	18
Figura 9. Ejemplo de movimiento tipo mecánico del pie con respecto al eje Z	19
Figura 10. Examen Radiológico.....	20
Figura 11. Máquina de Tomografía	21
Figura 12. Examen por medio de Ecografía.....	22
Figura 13. Obtención de los diferentes ángulos por el método ángulo muslo-pie	24
Figura 14. Etapas de vida de un producto	27
Figura 15. Herramientas de diseño del CIM	30
Figura 16. Relación entre CAD, CAE e IC	32
Figura 17. Tarjeta base utilizada para la elaboración del prototipo	39
Figura 18. Fuente de poder utilizada para la elaboración del prototipo.....	40
Figura 19. Ubicación del conector	41
Figura 20. Tarjeta Programable.....	42
Figura 21. Conector utilizado para la elaboración del prototipo.....	42
Figura 22. Sensor utilizado para la elaboración de prototipo.....	43
Figura 23. Funcionamiento del sensor	44
Figura 24. Módulo de comunicación del prototipo	45
Figura 25. Evolución de la tarjeta base al agregar los elementos que la conforman.	46
Figura 26. Captura de pantalla del código para uso de los sensores	48

Figura 27. Captura de pantalla se muestra el código de almacenamiento de los valores	49
Figura 28. Captura de pantalla de la configuración de pulso máximo.....	50
Figura 29. Comportamiento del tiempo respuesta.	51
Figura 30. Captura de Pantalla del Panel utilizado.	52
Figura 31. Captura de Pantalla del Block Diagrama.....	54
Figura 32 Esquema de funcionamiento de componentes y sistemas.	55
Figura 33 Maqueta del dispositivo realizada en papel	56
Figura 34. Maqueta del dispositivo realizada en cartón.....	56
Figura 35. Dispositivo de cartón acoplado al eje de rotación	57
Figura 36. Prueba inicial del prototipo con el sistema de trenzas	58
Figura 37. Prueba del prototipo con el sistema velcro	58
Figura 38. Diseño del porta sensor en SolidWorks	59
Figura 39. Sensor y nivel digitalizado en SolidWorks.....	59
Figura 40. Diferentes vistas del prototipo en SolidWorks	60
Figura 41. Ubicación de la pieza para ser impresa.....	61
Figura 42. Modelo del prototipo en plástico	61
Figura 43. Digitalización de la tarjeta controladora.....	62
Figura 44. Caja contenedora de la tarjeta.....	63
Figura 45. Diseño completo de la caja contenedora	63
Figura 46 Mejoras realizadas	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de Actividades	9
Tabla 2. Clasificación de Articulaciones según su posición Relativa.....	12
Tabla 3. Comparación Entre diversos tipos de evaluación existente. (Julio, 2013)....	23
Tabla 4. Tabla comparativa entre los tipos de sensores y las características básicas requeridas.	36
Tabla 5. Características que debe satisfacer el sensor elegido.....	37
Tabla 6. Tabla comparativa de Sensores Ultrasónicos.....	38
Tabla 7. Resultados obtenidos de la torsión tibial, por los diferentes métodos	66
Tabla 8. Costo de materiales por dispositivos. (2013)	73
Tabla 9. Costos asociados al uso del rapid prototyping. (2013)	73
Tabla 10. Costo de materiales y accesorios adicionales. (2013).....	74
Tabla 11. Costo totales elaboración dispositivo. (2013)	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje obtenido en la pregunta 1	70
Gráfico 2. Porcentaje obtenido en la pregunta 2	70
Gráfico 3. Porcentaje obtenido en la pregunta 3	71
Gráfico 4. Porcentaje obtenido en la pregunta 4	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Pasos para la creación de un circuito impreso	83
Anexo 2. Resultado del cuestionario realizado a los ortopedistas	84
Anexo 3. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 1	85
Anexo 4. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 2	85
Anexo 5. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 3	86
Anexo 6. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 4	86
Anexo 7. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 5	87
Anexo 8. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 6	88
Anexo 9. Resultado obtenido de la prueba de hipótesis para el método muslo pie.	89
Anexo 10. Resultado obtenido de la prueba de hipótesis para el método de Staheli ..	90
Anexo 11. Resultado obtenido de la prueba de hipótesis para la tomografía	91

INTRODUCCIÓN

La torsión tibial es una patología la cual si bien no es de riesgo mortal para un paciente, esta debe ser tratada por un especialista, para así evitar posibles dolencias en un futuro. Esta patología se caracteriza por que la tibia presenta una rotación a lo largo de su eje longitudinal siendo esta, lateral (externa) o medial (interna).

El problema en la actualidad radica en que los exámenes realizados a los pacientes son costosos y su resultado depende mucho del juicio y la experticia del médico evaluador.

Por ende el presente Trabajo Especial de Grado, tiene como propósito el diseño y construcción de un prototipo, portable, para la medición del ángulo de torsión de la tibia, esto debido a que actualmente la manera o el procedimiento de realizar dicho examen por los doctores ortopedistas es muy observo dependiente, lo que implica que cada vez que se realiza el examen en el mismo paciente el resultado varía dependiendo del médico ortopedista tratante.

La idea principal es tratar de automatizar lo más posible el procedimiento de medición de la torsión tibial, para esto después de conocer los diferentes procedimientos para efectuar el examen, se realizaron distintos tipos de maquetas de prototipos y se desarrolló un algoritmo que recibiera información y la pudiera transformar en el resultado esperado por los médicos ortopedistas.

A continuación se presenta una breve descripción de lo que se espera encontrar en cada capítulo:

Capítulo I, se analizará cual es el problema a resolver, los objetivos que se quieren alcanzar, así como justificación alcance y limitaciones que se puedan encontrar durante el estudio.

Capítulo II, se estudiará que tipo de metodología se va a utilizar durante todo el estudio para poder alcanzar los objetivos planteados.

Capítulo III, se identificarán todos aquellos aspectos teóricos que se necesitan conocer para poder diseñar el prototipo.

Capítulo IV, se desarrollaran los componentes que forman el prototipo, explicando cada faceta del mismo.

Capítulo V, se muestran los resultados obtenidos al validar el prototipo en pacientes y al ser comparados con otros procedimientos utilizados por los médicos ortopedistas para realizar la medición de la torsión tibial.

Capítulo VI, se presentan las conclusiones del trabajo, con el fin de identificar todos aquellos objetivos alcanzados y se dan las recomendaciones pertinentes para lograr una mejora continua.

CAPÍTULO I

DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

En el presente capítulo se describe la problemática del tema a desarrollar, así como los objetivos que se quieren lograr y se incluyen la justificación, limitaciones y alcance de la investigación.

1.1 Planteamiento del Problema

Al momento de nacer los bebés presentan una torsión tibial interna en plano horizontal, la cual vista en un plano frontal muestra la posición de las piernas en varo con un ángulo entre fémur y tibia de aproximadamente 30 grados, medidos internamente contra el plano sagital. En el transcurso de desarrollo del infante esta se va corrigiendo hasta que a la edad de 2 años aproximadamente empieza un proceso inverso el cual lo llevará a colocar las piernas en valgo (mostrando ángulo negativo). Desde los 8 años en adelante, se inicia la última etapa de transformación en la cual de acuerdo a su desarrollo masculino o femenino, llevará las piernas a una posición en varo nuevamente, pero ahora con un ángulo aproximado de 5 a 10 grados respectivamente.

Este factor de ajuste del cuerpo genera en ocasiones una patología conocida como torsión tibial. Según (Cuilleret) la torsión tibial es una condición en la cual la tibia, (el hueso más largo ubicado entre la rodilla y el tobillo), está rotada interna o externamente a lo largo de eje longitudinal.

En la Figura 1, se muestran dos imágenes sobre la torsión tibial externa. En la del lado izquierdo, el paciente coloca las rotulas al frente y se observa como los pies apuntan hacia fuera. En la imagen del lado derecho, se colocan los pies al frente y se observa como las rotulas miran hacia dentro.

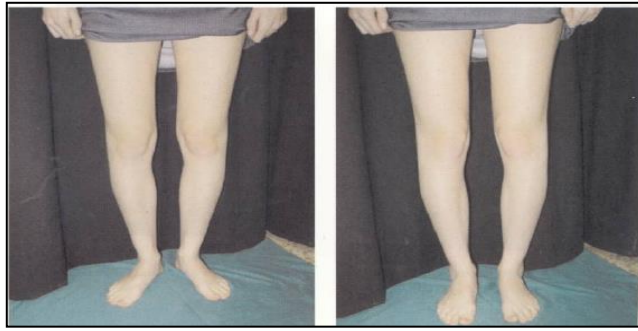


Figura 1. Torsión Tibial Externa
Fuente: (Marrero & Rull, 2005)

En la actualidad existen diferentes maneras para identificar dicha patología como lo son las pruebas físicas, tomografías, las radiografías y las ecografías, el problema radica que todo depende del juicio y observación de la persona que realice el examen o la evaluación, ya que los puntos clave, tales como los ejes de rotación, pueden ser apreciados y determinados de formas diferentes, lo cual puede crear un impacto en el diagnóstico del paciente.

Para la realización de las pruebas físicas, los ortopedistas han definido una metodología para identificar la patología, la cual consiste en que se dibujen dos puntos imaginarios en la rodilla (cóndilos femorales), para así tener conocimiento del eje de la misma y a su vez tienen que realizar el mismo procedimiento para identificar el eje del tobillo (maléolo externo e interno), luego de realizado esto a través de un goniómetro que se define como una herramienta que permite medir el ángulo de movimiento, se mide el ángulo entre los dos ejes y dependiendo del grado de torsión se le recomienda al paciente alguna solución, entre las que se encuentran la rehabilitación o cirugías.

Es por esto que se propone a diseñar un aparato que permita obtener, de una forma transparente y entendible, para quien haga uso del mismo, la diferencia de ángulos en el plano transversal entre los ejes de la rodilla y el tobillo, de manera que este posea una serie de atributos o características indispensables tales como:

pertinencia, precisión, oportunidad, confiabilidad y economía, de forma que exista poca variabilidad a la hora de realizar la misma evaluación en ambientes distintos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Generales

Diseñar un dispositivo prototipo portátil para la medición del ángulo de torsión de la tibia entre rodilla y tobillo, en pacientes de edad adulta de ambos géneros.

1.2.3 Objetivos Específicos

- Caracterizar el área del cuerpo humano que será objeto de medición del prototipo.
- Analizar las ventajas y desventajas de las técnicas existentes para identificar los ángulos de rotación en el plano transversal de la rodilla y tobillo.
- Identificar las necesidades que resolverá el producto.
- Formular diseños preliminares alternativos para el dispositivo de medición.
- Seleccionar la mejor alternativa de diseño.
- Generar el prototipo del dispositivo de medición en base al diseño preliminar seleccionado.
- Validar el prototipo del dispositivo de medición con técnicas ya existentes en el área de medicina.
- Analizar la factibilidad operativa del prototipo seleccionado.

1.3 Justificación de la Investigación

Debido a la complejidad y variabilidad al realizar las mediciones, además de los altos costos de exámenes por imagenología los pacientes no se realizan el estudio,

impidiendo detectar oportunamente dolencias en las extremidades inferiores y caderas en su edad adulta, por esta razón surge la necesidad de diseñar un dispositivo que permita medir los ángulos entre los ejes rotacionales de rodilla y tobillo, en el plano transversal para así detectar la existencia y la cuantía de la torsión tibial, de una forma pertinente, precisa, confiable y económica de forma que exista poca variabilidad a la hora de realizar la misma evaluación en ambientes distintos.

1.4 Alcance

El presente trabajo de grado cubrirá únicamente las fases de investigación, diseño, construcción y verificación de un prototipo dispositivo de medición.

Además de esto el grupo de validación serán hombres mayores de dieciocho (18) años de edad y mujeres mayores de dieciséis (16) años de edad, pacientes del Centro de Salud Santa Inés, debido a que su ciclo de crecimiento y desarrollo han finalizado. La validación se hará comparando los resultados obtenidos con el prototipo de medición con los resultados obtenidos mediante las técnicas existentes tales como: tomografías, radiografías, ecos y estudios físicos.

1.5 Limitaciones

- La generación y validación del prototipo puede estar sujeta a la relativa disponibilidad de tecnologías y equipos que pueden ser necesarios para el logro de estos objetivos.
- La confiabilidad de los resultados estará sujeta a la cantidad de pacientes disponibles en la muestra considerada.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presentaran los lineamientos metodológicos empleados en el presente TEG. Tomando en cuenta el nivel de profundidad, la naturaleza y el propósito de la investigación, se considera que la misma es de campo aplicada y científica.

Sobre la investigación de campo (Muñoz, 1998, pág. 93) comenta:

En la ejecución de los trabajo de este tipo, tanto el levantamiento de la información como el análisis, comprobaciones, aplicaciones prácticas, conocimientos y métodos utilizados para obtener conclusiones, se realizan en el medio donde se desenvuelve el fenómeno o hecho en estudio.

En función de lo antes expuesto se considera que la investigación es de tipo aplicada, dado que el estudio se realiza con la finalidad de buscar una solución práctica a un problema existente y específico, con el fin de beneficiar a un grupo de personas con su aplicación.

Según (Londeau, 2007, pág. 55).

El tipo de estudio aplicado está encaminado a la resolución de problemas prácticos, con un margen de generalización limitado (...) se propone aplicar el conocimiento para resolver problemas de cuya solución depende el beneficio de individuos o comunidades mediante la práctica de alguna técnica particular

Finalmente cuando se va a resolver un problema en forma científica es conveniente tener conocimiento de los tipos de investigación que se pueden seguir. Este conocimiento hace posible evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para un procedimiento específico.

En función de lo antes expuesto el trabajo especial de grado se presenta como una investigación de campo aplicada, dado que los datos y las referencias con las que se trabajan son resultados de estudios previos realizados a pacientes.

En cuanto a la metodología utilizada, ver Figura 2, se trabajó con la de Ingeniería Concurrente, dado que proporciona un enfoque en el cual todos los actores involucrados intervienen el desarrollo de la creación de un producto, desde la vida inicial hasta el desarrollo final.

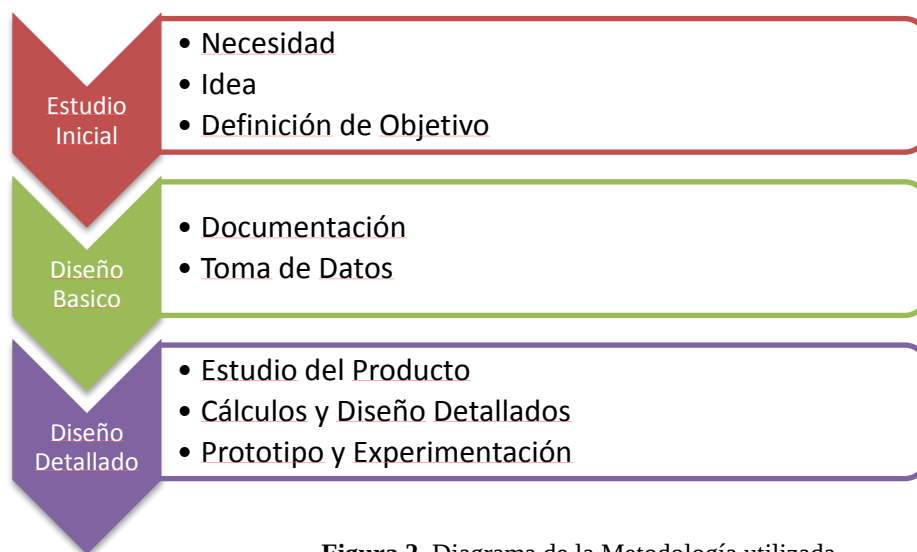


Figura 2. Diagrama de la Metodología utilizada.
Fuente: (Capuz Rizo, 2001). Elaboración Propia

A continuación se presenta la descripción de las actividades así como las herramientas a utilizar en el desarrollo del presente TEG. Ver Tabla 1.

Etapas	Objetivo	Actividades	Herramientas
1	Caracterizar el área del cuerpo humano que será objeto de medición del prototipo.	Definir y describir las partes del cuerpo involucradas en el caso de estudio.(extremidad inferior)	Investigación en fuentes digitales y físicas. Entrevista no estructurada con doctores especializados
2	Analizar las ventajas y desventajas de las técnicas existentes para identificar los ángulos de rotación en el plano transversal de la rodilla y tobillo.	Definir, describir y analizar las técnicas existentes para la identificación de los ejes (tomografías, radiografía, ecografías)	Búsqueda de información por Internet, por libros y revistas. Cuadro comparativo
3	Identificar las necesidades que resolverá el producto.	Hablar con los ortopedistas en búsqueda de información referente a las necesidades que cubrirá el prototipo. Investigar las tecnologías disponibles en la actualidad	Entrevista no estructurada
4	Formular diseños preliminares alternativos para el dispositivo de medición.	Buscar información de los distintos componentes que pueden formar el prototipo	Lluvia de Ideas Investigación en fuentes digitales y físicas Estudio de ideas en software de diseño tipo CAD
		Realizar bosquejos de diferentes prototipos	
5	Seleccionar la mejor alternativa de diseño.	Identificar cual prototipo cubre las necesidades	Cuadro Comparativo
6	Generar el prototipo del dispositivo de medición en base al diseño preliminar seleccionado.	Realizar la construcción y ensamblaje del mejor diseño seleccionado	Equipo de Rápido Prototipado. (Rapid Prototyping)
7	Validar el prototipo del dispositivo de medición con técnicas ya existentes en el área de medicina.	Realizar mediciones al grupo de pacientes en el Centro de Salud Santa Inés	Cuadro Comparativo Consulta a especialistas. Aplicación de Experimento(pruebas)
		Comparar los resultados obtenidos por las técnicas tradicionales y los resultados obtenidos por el prototipo	
8	Analizar la factibilidad operativa del prototipo seleccionado.	Estudio Económico	Consulta a especialistas. Documentación de casos

Tabla 1. Descripción de Actividades

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan una serie de definiciones y procedimientos de gran importancia para el desarrollo y entendimiento del presente trabajo.

3.1 Biomecánica

En su libro Biomecánica: La Física y La Fisiología, (Gutiérrez, 2000, pág. 17) define la biomecánica como “la disciplina que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sea relevantes en el movimiento de un ser vivo (...) considerando tres aspectos distintos: control, estructura, fuerzas”.

El control se refiere a lo relacionado con los ámbitos psicológicos y neurofisiológicos de las personas. La estructura va ligada con el sistema óseo y muscular el cual es un área compleja, y por último la fuerza se refiere a aquello que produce el movimiento del cuerpo que pueden ser internas o externas y vienen regidas por las Leyes de la Física. Para el estudio de los movimientos de los seres vivos es fundamental el punto de vista anatómico, la presencia de un análisis de la estructura y la fuerza que lo modifica.

3.2 Antropometría

(Fonseca, 1994, pág. 11), define la antropometría como el estudio de las medidas del cuerpo humano en todas sus posiciones y actividades. Para lograr esto es necesario determinar los puntos antropométricos del cuerpo humano, para efectos de este TEG, las áreas a estudiar son la rodilla y el tobillo, en la cual la determinación de punto antropométrico de estudio fue explicado previamente en el apartado de examen físico.

3.3 Articulaciones

Una articulación es simplemente la unión entre dos o más huesos. Permite el movimiento entre varios segmentos. Cercano a la zona articular se encuentra un segmento del hueso llamado metafisis articular y esta es una zona que permite el crecimiento durante los primeros 15 años de vida, (Marrero & Rull, 2005).

Según la facultad de ciencias de la Universidad del Comahue (Argentina), las articulaciones pueden clasificarse según su conformación y según su función:

- Según su conformación:

- Fibrosas
- Cartilaginosas
- Sinoviales

- Según su función:

- Sinartrosis
- Anfiartrosis
- Diartrosis

Debido a su conformación implícita las articulaciones de tipo sinoviales también pueden clasificarse según su posición relativa y el movimiento que esta realiza. Para facilitar su comprensión en la página siguiente se encuentra la Tabla 2, la cual muestra esta clasificación.

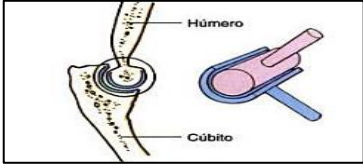
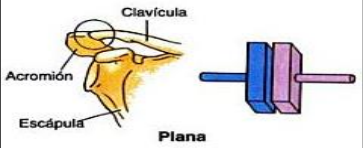
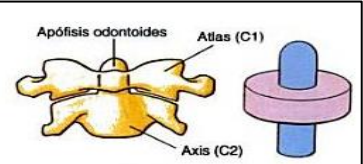
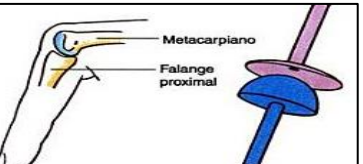
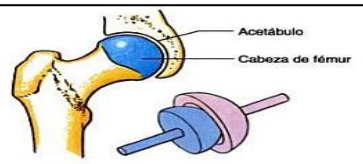
Tipo de Articulación	Definición	Imagen de Referencia
Bisagra	Son articulaciones uniaxiales, es decir poseen un eje único de rotación, y solo permiten movimientos de flexión y extensión.	
Silla de Montar	Esta articulación de tipo biaxial, se asemeja a una silla de montar ya que son cóncavas y convexas en el punto donde los huesos articulan	
Plana	Son articulaciones que permiten los movimientos de traslación o deslizamiento	
Pivote	Son articulaciones uniaxiales, pero en este caso permiten la rotación ya que una apófisis redondeada que se ajusta en un alveolo ligamentoso	
Condílea	Este tipo de articulación biaxial, permite una variedad de movimientos, tales como: Flexión, extensión, aducción, abducción, y circunducción.	
Esferoides	Son articulaciones multiaxiales, estas permiten los movimientos de flexión y extensión, abducción, aducción, y rotaciones mediales y laterales	

Tabla 2. Clasificación de Articulaciones según su posición Relativa
Fuente: (Mooere & Agur, 2002)

3.5 Caracterización del área del cuerpo en estudio

3.5.1 Cadera

La cadera es la articulación donde se une el hueso del muslo (fémur) con el de la pelvis. Las caderas son articulaciones en rótula y se conocen como articulaciones de bola y cavidad porque la extremidad superior en forma de bola del fémur se mueve dentro de una cavidad situada en la pelvis. Las caderas son muy estables. Cuando están sanas, hace falta mucha fuerza para lastimarlas.

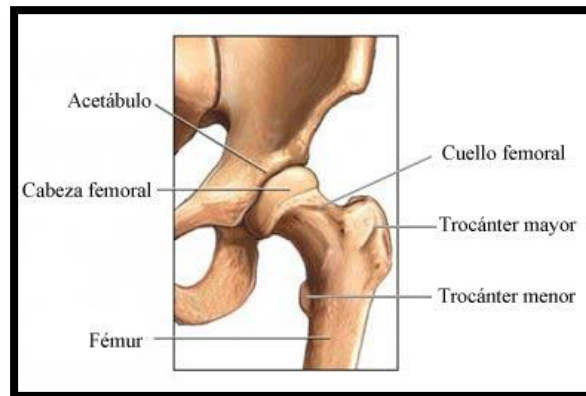


Figura 3.Partes de la articulación de la Cadera
Fuente: (Anónimo, El Blog de ABR Hispano, 2013)

Esta articulación es una enartrosis, es decir, tiene movilidad en los tres ejes del espacio. (Marrero & Rull, 2005). Al poseer estos 3 grados de libertad permite los movimientos de flexo-extensión, abducción-aducción y rotaciones.

Para los movimientos de Flexo-extensión, el rango de ángulos que puede ser cubierta oscila entre 90° y 140° (dependiendo de la posición de la rodilla), para abducción-aducción oscila entre 45° para abducción y 30° para aducción y por último en rotaciones la articulación permite que vaya desde una rotación interna aproximadamente en 40° hasta una rotación externa máxima de 60° .

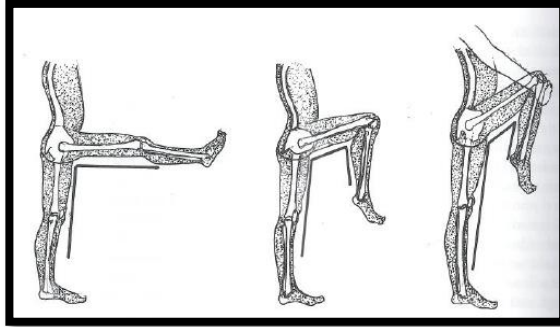


Figura 4. Movimientos Flexo-extensión de la Cadera
Fuente: (Marrero & Rull, 2005)

3.5.2 Fémur

El fémur es hueso más largo y pesado del cuerpo. Este transmite el peso corporal desde la articulación coxofemoral a la tibial cuando la persona esta posición erguida. (Moore & Dalley, 2006, pág. 562). Véase Figura 5.

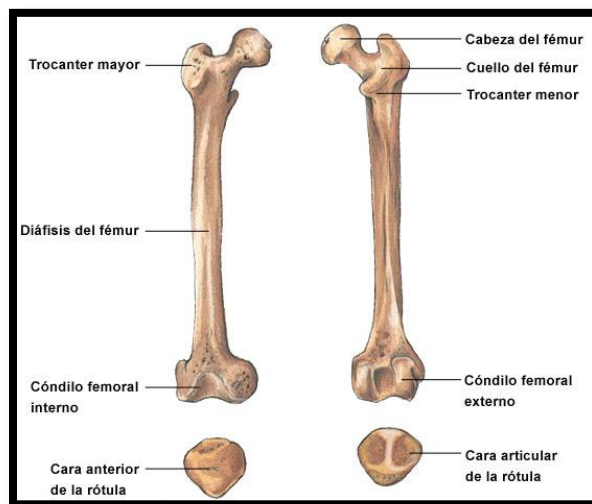


Figura 5. Partes del Fémur
Fuente: (Asisa, 2013)

La longitud del fémur es aproximadamente la cuarta parte de la altura de una persona sana, consta de un cuerpo y dos extremos superior o proximal e inferior o distal.

3.5.3 Rodilla

La rodilla es la articulación que une el muslo y la pierna, siendo esta la más grande del esqueleto humano; está conformada por 3 huesos: a) el extremo inferior del fémur, b) la rótula (aumenta el brazo de palanca del aparato extensor de la rodilla) y c) el extremo superior de la tibia. Constituye una articulación de suma importancia para la marcha y la carrera, ya que soporta todo el peso del cuerpo en el despegue y la recepción de saltos.

La rodilla humana está constituida normalmente con un cierto grado de valgo. Ello significa que estando extendido el miembro inferior, los ejes del fémur y de la tibia no se continúan en línea recta, sino que forman un ángulo obtuso abierto hacia afuera (ángulo femorotibial). Este ángulo de divergencia de los 2 huesos que constituyen la articulación mide, como término medio de 170° a 177° .

En la Figura 6 se muestra la articulación de la rodilla, y los principales elementos que la componen.



Figura 6. La rodilla y sus elementos
Fuente: (Celtz, 2013)

a) Extremo inferior del fémur

Voluminoso, sobre todo desarrollado en sentido transversal, puede ser comparado con una pirámide cuadrangular cuyo vértice truncado prolonga la diáfisis femoral y cuya base se apoya en el extremo superior de la tibia. Está conformado por:

- Cóndilos femorales
- Cóndilo Interno
- Cóndilo Externo

b) Rótula

Hueso corto, triangular de vértice inferior, la rótula está situada en la cara anterior de la tróclea femoral. Aplanada de adelante atrás, presenta dos caras, dos bordes laterales, una base y un vértice. Está constituida por un tejido esponjoso, rodeada por un tejido compacto más grueso por delante, la rótula es frágil y se puede fracturar transversalmente o en diversos fragmentos.

c) Extremo superior de la tibia

En forma de pirámide de base superior, es aplanado de adelante atrás y se proyecta a modo de meseta en la vertical de la cara posterior de la tibia. Se describen una base, o meseta tibial y dos tuberosidades o cóndilos.

En cuanto a sus ejes de movimientos (Marrero & Rull, 2005), indica que la rodilla tiene seis grados de amplitud de movimientos en tres ejes geométricos. En cada uno de ellos, la tibia puede trasladarse o rotar con respecto al fémur, esto ocasiona seis pares de movimientos distintos.

El eje de carga es aquel que va desde la cadera pasando por el centro de la rótula hasta el tobillo, este eje forma aproximadamente 6° con respecto al fémur, 0° con el eje de la tibia. El eje de flexión es aquel que pasa por los cóndilos femorales, ya que estos no realizan ni un rodamiento puro ni deslizamiento, y están limitados por

la forma de las superficies articulares. En la Figura 7 se pueden apreciar ambos ejes, y su ubicación en la extremidad inferior.

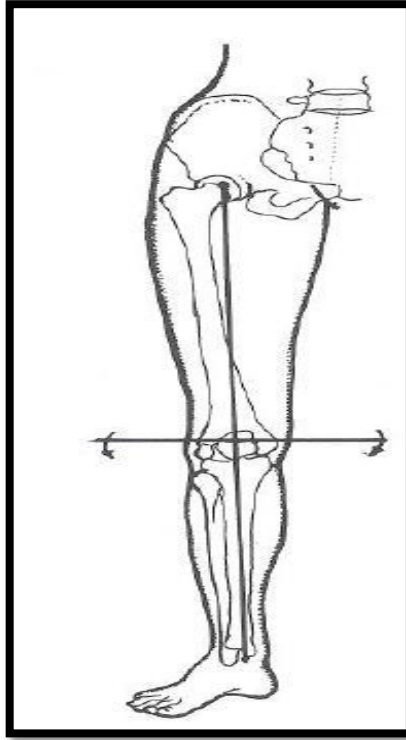


Figura 7. Eje de la Rodilla
Fuente: (Marrero & Rull, 2005)

3.5.4 Caracterización del pie

Se dice que el pie es una estructura tridimensional variable cuyas funciones básicas son de soporte para la posición en pie y quieto; (Marrero & Rull, 2005) define el pie como “Un soporte para la posición bípeda por ser una estructura tridimensional variable, base del servomecanismo debido a la propioceptividad originada en la planta del pie”

Es una unidad anatómica de alta complejidad, su estructura y funciones están implícitamente vinculadas dificultando así el estudiar una parte aislada sin involucrar

otra zona. En posición erguida, éste sostiene todo el peso del cuerpo y toma una morfología distinta a la que tendría sin carga.

Al ser considerada de cierta forma una unidad de carga de trabajo por las acciones que éste cumple, se pudieran considerar para su estudio 3 ejes principales, ver Figura 8:

- **X-X', representa el eje transversal**

Pasa por los dos maléolos, peroneal y tibial. Este eje es responsable de los movimientos de flexo extensión (arriba y abajo).

- **Y-Y', representa el eje longitudinal vertical.**

Continuación del eje de la pierna, éste condiciona los movimientos de aducción-abducción del pie.

- **Z-Z', representa el eje longitudinal horizontal.**

Condiciona la orientación de la planta del pie y permite la pronosupinación.

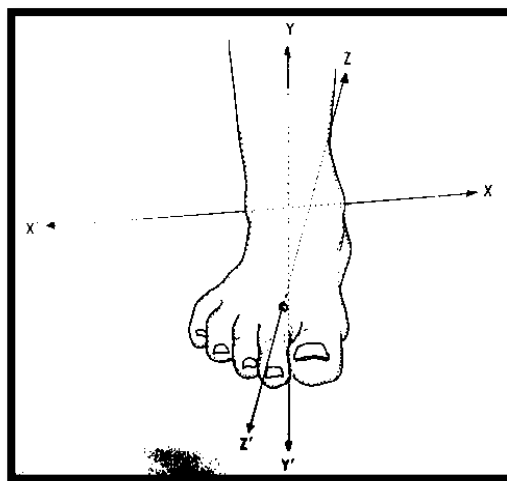


Figura 8. Ejes rotacionales del tobillo y pie
Fuente: (Marrero & Rull, 2005)

La Figura 9 muestra un ejemplo de cómo el eje longitudinal horizontal condiciona al pie, permitiendo la pronosupinación del mismo, y dándole la posibilidad de rotar parecido a una hélice, mientras los dedos van hacia un lado el talón va al lado contrario y viceversa.

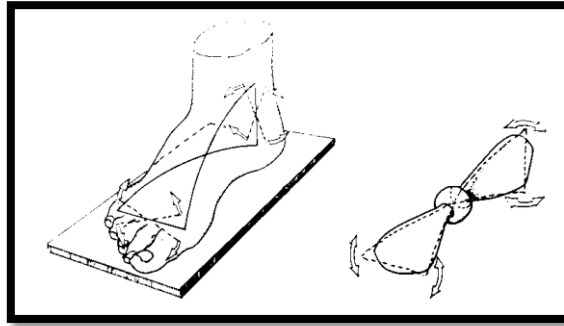


Figura 9. Ejemplo de movimiento tipo mecánico del pie con respecto al eje Z
Fuente: (Marrero & Rull, 2005)

Para efectos del presente Trabajo Especial de Grado, se trabajará únicamente con el eje $X'-X$, ya que será nuestro eje de referencia dado que en el plano transversal este puede ser estudiado en conjunto con el eje de rotación en la rodilla en el mismo plano.

3.6 Diagnóstico por imágenes

Se refiere a una variedad de aparatos y técnicas que pueden crear imágenes de las estructuras y actividades dentro del cuerpo, permitiendo así la búsqueda de indicios acerca de un cuadro clínico. La tecnología que use el médico dependerá de los síntomas del paciente y de la parte del cuerpo que será examinada.

3.6.1 Radiografía

Los rayos X tienen una longitud de ondas más corta que la luz visible y pueden penetrar en los tejidos corporales. Cuando se somete una parte del cuerpo a los rayos X, los tejidos densos y óseos absorben los rayos y aparecen como zona brillantes en la película fotográfica revelada, que recibe el nombre de radiografía o

placa. Los tejidos blandos aparecen como sombras grises. Esta técnica suele emplearse para diagnosticar trastornos o enfermedades que afectan a dientes, huesos, mamas y tórax.

Como riesgo se tiene el posible daño de células y tejidos, pero suele ser mínimo en comparación con los beneficios, entre los cuales se puede mencionar que el equipo de rayos X es relativamente económico y se encuentra ampliamente disponible en las salas de emergencia, los consultorios médicos, los centros de atención médica ambulatoria, asilos y otras instituciones, lo que lo hace conveniente tanto para los pacientes como para los médicos además de tratarse de una técnica rápida, relativamente poco costosa y fácil de realizar, donde al paciente no le quedan restos radiactivos en el cuerpo y no suelen presentarse efectos secundarios.

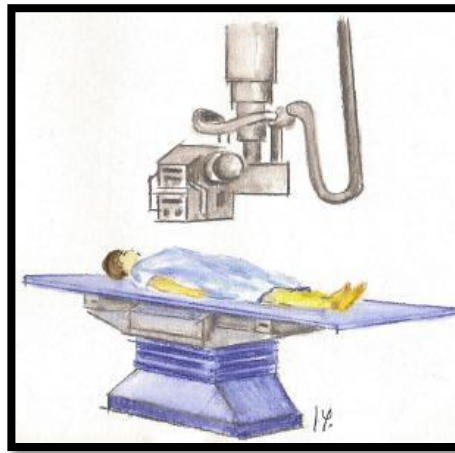


Figura 10. Examen Radiológico
Fuente: (Anónimo, [fisicaradiologica.wikispaces](http://fisicaradiologica.wikispaces.com), 2013)

3.6.2 Tomografía

Es una técnica de imagen médica que emplea los rayos X para obtener cortes o imágenes de secciones del cuerpo humano y luego utilizarlas con fines diagnósticos.

El tomógrafo posee un dispositivo llamado gantry, en forma de anillo que da vueltas alrededor del cuerpo del paciente. Una pantalla con detectores recibirá las señales de los rayos X que van a atravesar su cuerpo y los transmitirá a una computadora, que los codifica posteriormente en forma de imágenes del área del cuerpo evaluada.

Estas imágenes se pueden almacenar, observar en un monitor o imprimirse en una película. También se pueden crear modelos tridimensionales de un área anatómica juntando los cortes, a través de un proceso denominado Reconstrucciones Multiplanares.

Para la realización del examen es necesario que el paciente se acueste en una camilla que se desliza hacia el interior de la máquina. Las imágenes son producidas por numerosos y finos haces de radiación y sensores que rotan 360 grados alrededor del paciente. Una computadora registra cada imagen y suministra así una detallada vista de corte transversal del interior del cuerpo. Como las tomografías suministran imágenes muy detalladas, a menudo se usan para examinar el tórax, el abdomen y el esqueleto, así como para diagnosticar diversos cánceres y otros trastornos.

En la figura 11, se muestra una imagen referencial de un tomógrafo.



Figura 11. Máquina de Tomografía
Fuente: Imagen Tomada Centro de Salud Santa Inés, 2013

Las tomografías suelen emplear dosis de radiación superiores a las radiografías. La exposición adicional conlleva un pequeño aumento del riesgo del cáncer, que debe tenerse muy en cuenta, pero a su vez tiene el beneficio de ser una técnica que no es dolorosa ni agresiva, y proporciona datos muy detallados que una computadora puede convertir en imágenes tridimensionales, además de que el proceso es relativamente rápido y sencillo que no causa efectos adversos sobre dispositivos médicos implantados.

3.6.3 Ecografía

Es una técnica de diagnóstico de imagen que permite ver órganos y estructuras blandas del cuerpo, por medio de ondas sonoras en un proceso que da como resultado imágenes de los tejidos examinados.

El escáner es un tipo de sonar que utiliza ondas sonoras inaudibles por el oído humano. Cuando las ondas alcanzan un lugar con diferente densidad en los tejidos, por ejemplo la superficie de un órgano, generan un eco. Una computadora analiza dicho eco y revela las características del órgano, como su profundidad, tamaño, forma y consistencia. En la mayoría de los casos, el examinador emplea un instrumento de mano llamado transductor. Tras aplicar un gel transparente a la piel, desliza el transductor sobre la zona de interés, y la imagen resultante aparece de inmediato en una pantalla de computadora. Ver Figura 12.

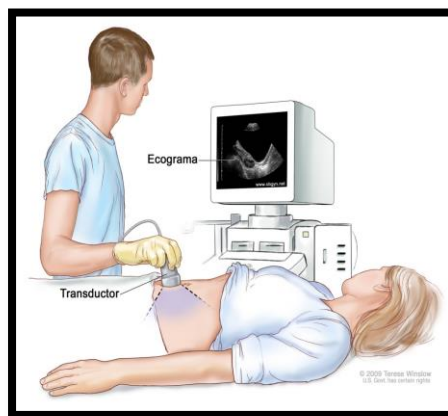


Figura 12. Examen por medio de Ecografía

Fuentes: (Anónimo, The Oncology Institute of Hope and Innovation, 2007)

El ultrasonido es seguro si se emplea de la manera adecuada, pero puede tener efectos no deseados en los tejidos.

Al usar este método se tienen dos limitaciones: Depende de la experticia del operador lo cual puede afectar los resultados obtenidos, la otra limitante es que solo muestra la superficie del hueso, no la penetra. Como beneficio se observa que es una técnica disponible en muchos lugares, no es agresiva y resulta poco costosa. Además, proporciona imágenes en tiempo real.

En la Tabla 3 mostrada a continuación, se comparan los diversos tipos de evaluaciones existentes en cuanto al riesgo, dependencia y costo de realizar dicha evaluación.

Tabla 3. Comparación Entre diversos tipos de evaluación existente. (Julio, 2013)

Fuente: Centro de Salud Santa Inés. Examen Físico: Doctores Especializados.

Tipo de Examen	Riesgo a la salud	Dependencia	Costo Bs.
Examen Físico	No tiene ningún riesgo para la salud	Depende del médico ortopedista que realice el examen	500,00
Radiografía	Se expone al cuerpo humano a una cantidad mínima de radiación y sólo deben de realizarse cuando es necesario, y evitar su repetición no justificada	Depende del técnico que realice el examen. El técnico en radiología revela la placa y la revisa para comprobar que está bien y que no sea necesario repetirla	216,00
Tomografía	Se expone al cuerpo humano a una mayor radiación y el hecho de tomar muchas tomografías con el tiempo puede aumentar el riesgo de cáncer.	Depende del técnico que realice la tomografía y capture los cortes que necesita el médico ortopedista para la evaluación final.	925,00
Ecografía	No tiene ningún riesgo. No tienen efectos secundarios, ya que el ultrasonido empleado con fines diagnósticos utiliza poca energía.	Depende del médico ortopedista que realice el examen.	800,00

Como se observa en la tabla anterior, la realización de las evaluaciones por vía de estudios de imagen no resultan ser económica, más aun si deben repetirse varias veces en periodos cortos. Estos precios fueron consultados en el Centro de Salud Santa Inés durante el mes de julio del 2013. Debe tenerse en cuenta que al no ser precios regulados, los precios pueden variar entre diversas instituciones.

Debe agregarse que estos mismos exámenes fueron consultados en el mismo período en hospitales públicos, pero se obtuvo como respuesta que no se podían realizar en el momento por falta de insumos. Esta misma respuesta se consiguió al consultar clínicas en el este de la ciudad de Caracas.

3.7 Evaluación Física

Actualmente existen dos métodos utilizados por los traumatólogos para la medición de la torsión tibial, y a continuación se explicaran cada uno de ellos.

- Método ángulo muslo-pie

El individuo se colocará en decúbito prono o ventral, flexionando las rodillas, permitiendo de esta manera medir el ángulo entre el eje del pie y el eje longitudinal del muslo. Para valorar el eje transmaleolar existen varios métodos, siendo el más sencillo dibujar una línea por la planta del pie que conecte los maléolos medial y lateral y el ángulo que forma esta línea con el eje del muslo proporciona el ATM o rotación tibial.

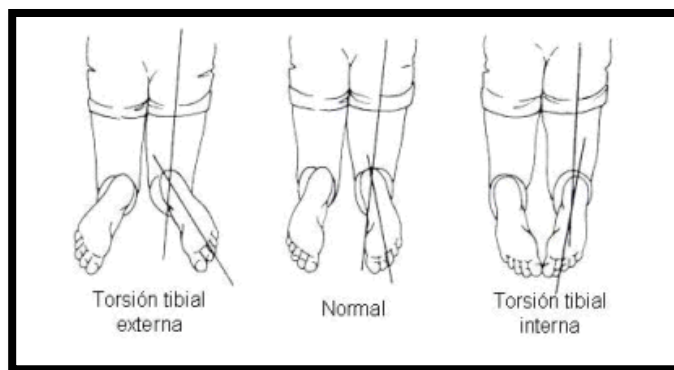


Figura 13. Obtención de los diferentes ángulos por el método ángulo muslo-pie
Fuente: (Jara, 2013)

- Método de Staheli

El individuo permanece sentado sobre el borde de una mesa con los talones apoyados contra una superficie firme. Se marcan los maléolos medial y lateral y se mide a continuación la distancia entre los maléolos y la superficie. Se mide la distancia intermaleolar con un calibrador (goniómetro) y se calcula el ángulo de la versión tibial geométricamente

3.8 Procedimiento actual

Una vez explicadas las áreas del cuerpo que serán estudiadas, el examen físico y definidos los exámenes por imágenes disponibles en el mercado, se procede a explicar el procedimiento que en la actualidad los doctores ortopedistas siguen para la detección de una torsión tibial.

Luego de concretada la cita, se le hace una entrevista al paciente, en la que se trata determinar las posibles dolencias que puedan tener, así como conocer un poco de sus antecedentes familiares, ya que como se mencionó antes este tipo de patologías suelen poseer un patrón hereditario. Luego se procede a realizar un estudio de marcha, en el cual el doctor observa con detenimiento el comportamiento de las extremidades inferiores al caminar, desde la cadera hasta el pie, para así poder descartar otro tipo de patología, tal como torsión femoral, desviación en la cadera, etc.

Si efectivamente el paciente muestra durante la marcha, una posible torsión tibial ya sea externa o interna, se procede a corroborar con el examen físico, en el cual si el doctor tiene una sospecha de la existencia de la misma, le indicara al paciente la realización de alguno de los exámenes por imagen antes mencionados.

Este examen sirve para obtener valores numéricos de la posible torsión, y marcar un presente. Luego de este largo tiempo de evaluación y los costos que significan realizarse este tipo de exámenes regularmente, se tiene que:

- La falta de insumos en hospitales y clínicas dificultan la realización de este tipo de evaluaciones.
- En todo momento el estudio es subjetivo, ya que siempre dependerá de la apreciación de cada médico y técnico radiólogo, etc.,

Es por esto que nació la necesidad de un producto, el cual pudiera de una forma objetiva dar valores precisos en la evaluación, a un costo sumamente bajo y de forma inmediata, de forma tal de eliminar las variables de subjetividad y del costo, para que únicamente quede el tiempo. Cada cuerpo reacciona en formas distintas, por eso esta variable no puede ser modificada aún.

3.9 Ingeniería secuencial (IS) vs Ingeniería concurrente (IC)

Se conoce como ingeniería secuencial aquella en la cual la visión está enfocada al desarrollo del producto, en la cual cada disciplina desempeña sus propias funciones de forma individual y avanzando hacia cada etapa en forma de cadena sin que exista ninguna interacción entre los diferentes eslabones, y en términos de calidad el énfasis está en la corrección del diseño del producto más que en la prevención de los errores.

Es aquí donde la ingeniería concurrente hace presencia, ya que como lo define(Capuz Rizo, 2001, pág. 12):

Es un enfoque organizativo que postula que todos los actores que intervienen en el producto desde la idea inicial hasta el desarrollo final colaboren y realicen su trabajo simultáneamente, asegurando que las condiciones estructurales, funcionales, de fabricación, mantenimiento, etc., se consideren en las etapas iniciales de análisis.

Esto quiere decir, que la meta principal de IC, es invitar y permitir que los diversos equipos de trabajo funcionen en paralelo, para que de esta forma se puedan detectar problemas en las etapas iniciales y no al final del producto, donde el cambio es más difícil y se incurre en altos costos.

Ya con la diferencia clara, de por qué se trabaja con el enfoque de Ingeniería Concurrente, se definirán ciertas palabras técnicas que serán de ayuda más adelante.

3.10 Ciclo de Vida de un producto

Se define como “conjunto de etapas que recorre un producto, desde que es creado hasta su fin de vida”(Romeva, 2002, pág. 20)

Estas etapas van desde la idea inicial o concepción, pasando por el diseño, producción, ventas hasta que termina su vida útil y es eliminado.



Figura 14. Etapas de vida de un producto
Fuente: (Capuz Rizo, 2001)

3.11 Diseño de Producto

Para la definición (Capuz Rizo, 2001, pág. 7) dice “el diseño y fabricación de un producto industrial se puede analizar conceptualmente como un proyecto de ingeniería”. Esto quiere decir que se analizaran como un grupo de tareas encaminadas a crear un producto deseado.

Adicionalmente, hace falta una serie de recursos tanto humanos como materiales, para poder conseguir el propósito planteado. Al proponerse el diseño de un producto se deben hacer las siguientes preguntas ¿qué se fabricará?, ¿cómo se fabricará?, ¿con qué recursos?, ¿cuándo se fabricará?, las cuales forman parte del proceso de resolución de problemas, que junto a una serie de actividades y los recursos involucrados en el mismo forman parte de lo que ahora en adelante se llamara un proyecto de ingeniería, que es como se define a esta etapa en el enfoque de IC.

3.12 Dispositivo

La Real Academia Española (RAE), define dispositivo como “un mecanismo o artificio dispuesto para producir una acción prevista”. Para Efectos del presente TEG, este dispositivo será el encargado de hacer las mediciones y arrojar los valores para que los médicos ortopedistas puedan evaluar al paciente de una forma sencilla, rápida y objetiva.

3.13 Prototipo

En este caso, la RAE de igual manera define prototipo como “Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa”. Esta definición aclara lo que se busca en el presente TEG, diseñar y fabricar un primer modelo el cual en un futuro pueda ir siendo mejorado.

3.14 Manufactura

Manufactura deriva del latín manu factus, que significa fabricado a mano.
(Kalpakjian & Schmid, 2002, pág. 2) Define la manufactura de la siguiente forma:

Es el proceso de convertir la materia prima en productos. Incluye el diseño del producto, la selección de la materia prima y la secuencia de procesos a través de los cuales será manufacturado el producto (...) es la columna vertebral de cual nación industrializada. Su importancia queda enfatizada por el hecho que, como actividad económica, comprende aproximadamente de 20 a 30 por ciento del valor de los bienes y servicios producidos

En la actualidad la manufactura involucra la fabricación de algún producto a partir de materias primas mediante varios procesos, maquinarias y operaciones, que provienen de una buena planificación para cada tarea necesaria.

3.15 CIM

Para que la manufactura pueda ser empleada primero se debe tener una idea, plasmarla, esquematizarla, construirla y por ultimo ensamblar ese tan deseado primer prototipo, pero en la actualidad para lograr esto de una forma rápida y sencilla se posee de programas de diseño, en el cual el diseñador plasma y esquematiza su idea, para posteriormente poder obtener la pieza final en digital.

Este proceso se conoce como CIM (Computer Integrated Manufacturing), por sus siglas en inglés o en español como fabricación asistida por computadoras.

CIM se define como “un enfoque de la fabricación que emplea la tecnología informática para mejorar el rendimiento del sistema productivo a través del procesado y verificación de la información en todas las fases de la fabricación”(Capuz Rizo, 2001, pág. 55).

Como se observa en la Figura 15, CIM engloba 3 herramientas de diseño como son CAD, CAE y Rapid Prototyping, estas individualmente son muy robustas, pero en conjunto potencian los objetivos y procedimientos de la IC, ya que en todo momento el grupo de trabajo estaría en cada etapa de diseño.

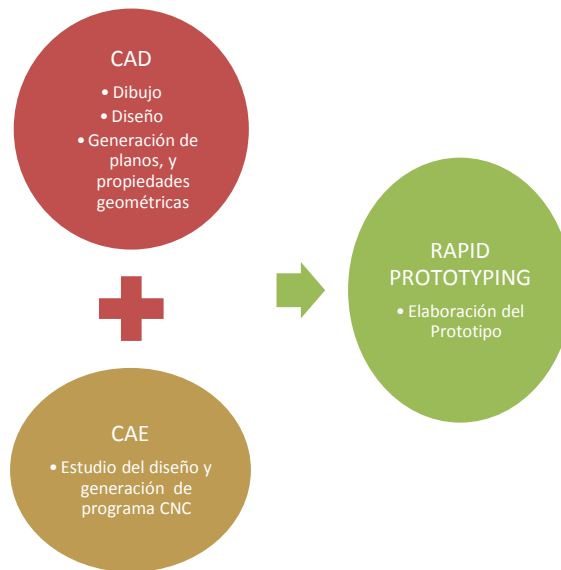


Figura 15. Herramientas de diseño del CIM
Fuente: Elaboración propia.

3.16 CAD

Computer Aided Desing, o dibujo asistido por computadora en español, es un programa informático que permite el almacenaje de la geometría (del diseño o dibujo), para facilitar así su manipulación, modificación, y generación de planos. De esta forma se logra construir un modelo o prototipo virtual del objeto. (Capuz Rizo, 2001, pág. 68)

El poder usar este tipo de software permite al diseñador:

- Conocer las restricciones, tolerancias y propiedades geométricas tanto del dibujo en estático como dinámico.

- Facilita la generación de piezas.
- La capacidad de compartir información entre los diversos equipos de trabajo.

Algunos software tipo CAD serían: AutoCAD, CATIA, SolidWorks, Inventor, etc., estos permiten la construcción de planos, piezas tridimensionales y la posibilidad de estudiar la cinemática de las piezas o componentes.

3.17 CAE

Computer Aided Engineering o Ingeniería asistida por computadora, es el uso de un software computacional en el cual se pueda simular el desempeño de un producto y de esta forma poder hacer mejoras al diseño. Esto incluye la simulación, validación y optimización de productos, procesos y herramientas de manufactura.(Anónimo, Siemens_México).

Entre las técnicas y beneficios del CAE son:

- Estudio de elementos finitos (FEM)
- Generación automática de programas de mecanizado CNC
- Generación de información para posteriores procesos, tales como Rapid Prototyping.
- Los diseños pueden evaluarse utilizando simulación computarizada, previo a la construcción de algún prototipo

Algunos programas que pudieran listarse son: NX, NX Nastran, Solid Edge Simulation, etc.

En la figura 16, se muestra la relación existente entre las técnicas CAD, CAE y la IC, ya que una vez dibujada la pieza en CAD, se procede a estudiarla mediante CAE y así se puede saber si la pieza en un futuro pudiera fallar. De ser así, se vuelve a la fase inicial y se le realizan los ajustes que sean necesarios, la ventaja de estas

técnicas es el ahorro de tiempo y costos ya que no se tiene que fabricar la pieza para estudiarla.

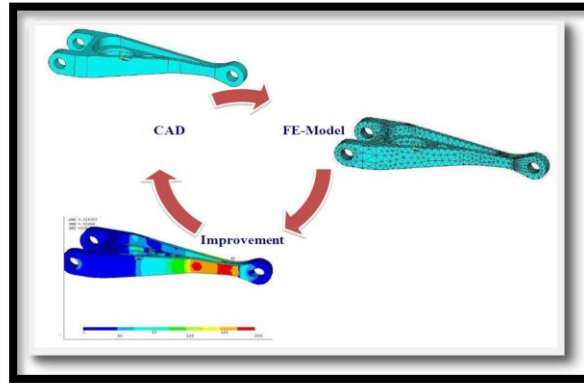


Figura 16. Relación entre CAD, CAE e IC
Fuente: (Mioni, 2012)

3.18 Rapid Prototyping

Luego de que el diseño es llevado a dibujo digital, formado, y verificado con uno de los diversos software que funciona bien, es decir sin interferencias ni colisiones, queda la última etapa para lograr el prototipo en físico y su posterior ensamblado, es el uso de una máquina de rápido prototipado.

Según (Capuz Rizo, 2001, pág. 15).

Es una denominación genérica para un conjunto de técnicas (estereolitografía, moldeo por deposición fluida, sinterizado selectivo por láser, etc.) que permite obtener prototipos a partir de un modelo solido de la pieza, generado mediante un programa de diseño asistido por computadora.

3.19 Circuitos Impresos

Un circuito impreso es una tarjeta o placa utilizada para realizar el emplazamiento de los distintos elementos que conforman el circuito y las interconexiones eléctricas entre ellos.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL PRODUCTO

En el siguiente capítulo se encontrará todo lo referente a la realización del prototipo.

4.1 Identificación de necesidades

En esta época donde los avances tecnológicos son de vital importancia para el desarrollo de la sociedad, y más si son en el área médica, la oportunidad de presentar una solución a un problema existente es única. Se sabe que el país se encuentra en una posición socio política difícil, y que un nuevo producto tenga la oportunidad de aparecer en el mercado y que logre satisfacer una necesidad existente en un corto plazo es algo sumamente valioso.

En el Capítulo I se desarrolló una visión general del problema, posteriormente en el Capítulo III se presentó la situación actual de cómo se evalúan a los pacientes. De estos dos grandes puntos se logra extraer la siguiente lista de necesidades que debería satisfacer el nuevo dispositivo, entre ellas se tiene:

- Efectivo y eficiente en la toma de datos y en la respuesta de resultados
- Portátil, facilidad de instalación y uso.
- Económico, tanto para el desarrollo y construcción, como para la adquisición por parte de los doctores.
- Cómodo y poco invasivo al paciente.

Luego de conocer las necesidades primarias que deberá satisfacer el dispositivo, así como sus características y funcionalidades básicas, el siguiente paso

es observar en el mercado que productos y tecnologías se encuentran al alcance para lograr la construcción del mismo.

4.2 Formulación de diseños preliminares alternativos para el dispositivo de medición.

En todo diseño, cuando se desea automatizar o mejorar algún proceso, lo primero que se debe conocer es como se realiza el mismo. En el caso del dispositivo a desarrollar, se debió consultar a doctores expertos sobre la metodología aplicada por ellos, de esta consulta se conoció sobre la existencia de dos métodos para la evaluación física del paciente, el método muslo-pie y el método de Staheli (en el Capítulo III se conseguirá información al respecto). Para efectos del presente TEG y del prototipo a desarrollar, se tomará en cuenta el método de Staheli, debido a que de esta manera se tienen más opciones a la hora de posicionar al paciente para realizarle el examen, ya que este puede estar sentado o de pie, mientras que en el método muslo-pie el paciente debe estar en decúbito prono.

El método de Staheli tiene como principal característica, la distancia, sin importar que el paciente se encuentre sentado o de pie, sólo es necesario tener una superficie plana detrás de la pierna, para que el doctor proceda a medir la distancia existente entre ambos maléolos y la superficie plana. Con esta distancia y haciendo uso de operaciones trigonométricas se puede conocer el ángulo de torsión.

Conociendo ya su característica principal, para lograr conocer el ángulo, es necesario entonces que el diseño preliminar se base en ello. Al realizar una búsqueda en el mercado para encontrar diferentes opciones para medir distancia, se tienen dos grandes grupos, los electrónicos y los manuales o convencionales, pero dado que se busca innovación y automatización, a partir de este punto se descartan los medidores manuales.

Basado en lo antes expuesto, la formulación de diseños preliminares alternativos para el dispositivo de medición se enfocará en encontrar el mejor

medidor electrónico al alcance de manera tal que pueda cumplir con las necesidades mencionadas anteriormente.

Los medidores electrónicos, son mejor conocidos como sensores de medición y son muy sencillos de conseguir en el mercado dependiendo de los diferentes usos que se les vayan a dar.

En el presente TEG se estudiarán dos modelos únicamente. Estos fueron elegidos por ser los modelos más comunes existentes en el mercado, lo que facilitaría su obtención a la hora de la construcción del prototipo. Estos son:

- Sensor Laser o IR

Funciona enviando un haz de luz con cierta frecuencia, el haz de luz rebota y vuelve al sensor el cual tiene un receptor óptico. Conociendo la duración del haz de luz en ir y volver, y la frecuencia del mismo, se puede conocer la distancia del objeto donde hizo el rebote.

- Sensor Ultrasónico.

El funcionamiento de este es similar al del sensor laser, la diferencia está en que se envía ondas de sonido que al rebotar contra una superficie plana y volver, entrega el valor de la distancia.

Para la elección del modelo de sensor a usar, se consultó a expertos y técnicos en el área, así como también, se revisó documentación referente a los mismos.

En la Tabla 4 mostrada en la página siguiente se pueden observar los puntos más relevantes considerados para dicha elección del sensor.

Tabla 4. Tabla comparativa entre los tipos de sensores y las características básicas requeridas.

Fuente: Elaboración Propia

	LASER	ULTRASÓNICO
Precisión	Alta	Alta
Dimensión	Pequeños	Pequeños
Rango	Hasta 150 metros	8 metros
Resolución	1 cm	1 cm
Condiciones Ambientales de uso	Se puede afectado por la cantidad de luz existente	No se ven afectados por la cantidad de luz existente en el área.
Superficie de uso	Depende de una superficie reflectante.	Se debe evitar superficies absorbentes.
Limitaciones de uso	No puede ser usado en ambientes externos.	Puede ser usado en cualquier ambiente.
		Posee punto ciego debajo de cierta distancia
Precio	Por debajo de 20\$	Por encima de los 20\$

Luego de revisar la tabla la opción del sensor laser, luce más atractiva, pero al consultar con los doctores ortopedistas en cómo y dónde se realizarían los estudios con el dispositivo, ellos indicaron que pudiera ser muy cambiante la locación. Esto se debe a que los estudios pueden ser tanto en consultorios como en sitios abiertos, pero ellos prefieren un producto que pueda ser utilizada fuera de su ámbito regular, inclusive en jornadas de despistaje, charlas, conferencias, clínicas, etc.

Con base en la información recopilada acerca de los sensores y de los usos que tendrá el dispositivo, se decantó por usar sensores ultrasónicos, ya que aun teniendo ciertas limitantes, la característica de no ser afectados por las condiciones ambientales de uso lo hace resaltar, por lo tanto quedaría sólo la necesidad de poseer una superficie plana y no absorbente.

Una vez conocido el uso que tendrá el dispositivo y qué tipo de sensor se utilizará, surge una nueva interrogante, ¿qué tipo de sensor ultrasónico se usará?

Para resolver esta interrogante, se debió listar las características que debe satisfacer el sensor a elegir. En la Tabla 5 se muestra dicha lista:

Tabla 5. Características que debe satisfacer el sensor elegido.

Fuente: Elaboración Propia

1	Fácil interfaz de uso	✓
2	Diseñado para usos diversos	✓
3	Calibración automática	✓
4	Alta precisión	✓
5	Menor punto ciego	✓
6	Resistente	✓
7	Baja variabilidad en lecturas	✓
8	Protección contra ruidos e interferencias	✓

Basado en las características que debe cumplir el sensor, se realizó una búsqueda en la ciudad de Caracas, la cual no resulto exitosa, dado que la oferta de productos de este tipo es limitada, y los sensores que se conseguían no satisfacían el 50% de las características requeridas.

La siguiente opción fue realizar búsquedas por internet, se logró ubicar a la empresa Spark Fun Electronics. Esta compañía posee un amplio stock en componentes electrónicos sobre todo en sensores ultrasónicos, lo que facilitó la búsqueda del componente que se necesitaba. Debido a la gran oferta de dispositivos ultrasónicos ofrecidos por la empresa, se realizó una selección del componente con base en la lista mostrada en la Tabla 6.

Tabla 6. Tabla comparativa de Sensores Ultrasónicos.

Fuente: Spark Fun Electronics

		LV-MaxSonar-EZ 	XL-MaxSonar-EZ 	XL-MaxSonar-WR 	XL-MaxSonar-WRA 
	Fácil interfaz de uso	✓	✓	✓	✓
1	Diseñado para usos diversos	×	✓	✓	✓
2	Calibración automática	×	✓	✓	✓
3	Alta precisión	1 pulgada	1 cm	1 cm	1 cm
4	Menor punto ciego	6 pulgadas	20 cm	25 cm	25 cm
5	Resistente	✓	✓	✓	✓
6	Baja variabilidad en lecturas	✓	✓	✓	✓
7	Protección contra ruidos e interferencias	×	✓	✓	✓

Como puede observarse en la tabla anterior, se muestran los dispositivos ultrasónicos ofertados por Spark Fun Electronics, los cuales luego de realizar la comparación de características, entre lo que se necesita y lo que ellos ofertan, se determinó que la mejor opción sería el sensor ultrasónico modelos XL-MaxSonar-EZ

Ya con la elección del dispositivo de medición ultrasónico a usar, el resto del diseño se basará en él como centro de referencia. Al ser un dispositivo de uso electrónico, se deberá construir y adaptar un circuito para su funcionamiento así como la elaboración de un cableado respectivo y una base de soporte para el mismo.

4.3 Componentes del dispositivo

A continuación se describirán los elementos que conforman a la tarjeta controladora:

- **Tarjeta base**

Para el montaje del circuito se utilizó una baquelita universal perforada (PCB), de tamaño (10 X 15 cm). En ella se realizó el montaje de la fuente de poder, la tarjeta controladora, los conectores de los sensores y el puerto encargado de comunicación. A continuación se presenta una imagen de referencia de dicha tarjeta.



Figura 17. Tarjeta base utilizada para la elaboración del prototipo
Fuente: Elaboración propia

- **Fuente de poder**

Se encarga de convertir la corriente de entrada de 9v a una corriente de 5v, necesaria para el funcionamiento del resto de los componentes. Los componentes que la forman son los siguientes:

- Condensadores de $0,1 \mu F$ y $0,33 \mu F$.
- 1 Led.
- Regulador convertidor.
- Switch.
- Conector 2 pos (Entrada corriente 110v).
- 1 Resistencia.

Su principal función es la de rebajar el voltaje de entrada al sistema así como la de alimentar el resto de componentes con un voltaje de trabajo seguro para su funcionamiento. En la Figura 18 se muestra la ubicación de los componentes de la fuente de poder en la tarjeta base.

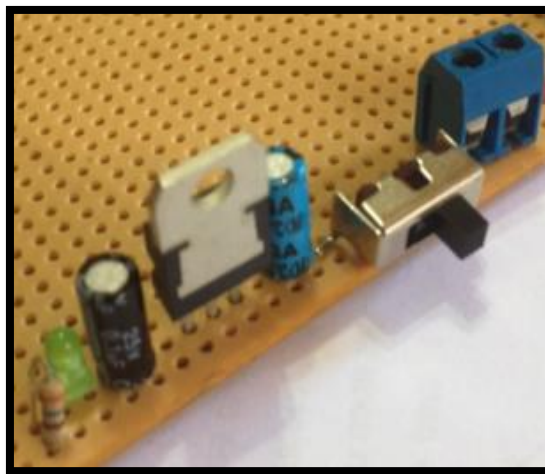


Figura 18. Fuente de poder utilizada para la elaboración del prototipo.
Fuente: Elaboración propia

Una vez alimentada la tarjeta base, esta corriente se distribuye hacia diversos componentes, uno de ellos es la tarjeta controladora. La cual se conecta a la placa base a través de un conector de 40 pines. En la Figura 19 se puede observar la ubicación del conector.

Esta conexión garantiza la comunicación entre la placa base y la tarjeta controladora. De igual forma sirve para proporcionarle alimentación a la misma.



Figura 19. Ubicación del conector
Fuente: Elaboración propia

- **Tarjeta Controladora**

En cuanto al módulo que controlará los sensores, recibirá las medidas y realizará las operaciones matemáticas correspondientes, se tiene que la tarjeta escogida es la DEMOJM y que funcionará con un micro controlador fabricado por FREESCALE. Las características tomadas en cuenta para la elección son las siguientes:

- Es un kit de bajo costo
- Posee tarjetas hijas programables de 8 y 32 bits. (Para efectos del presente TEG se utilizó la tarjeta de 8bits, ya que su capacidad de cómputo es suficiente para el uso que se le dará). Véase Figura 20.
- Como alimentación usa un transformador o una conexión USB la cual además es el enlace para la programación de la misma.
- Lenguaje de Programación usado es Lenguaje C.

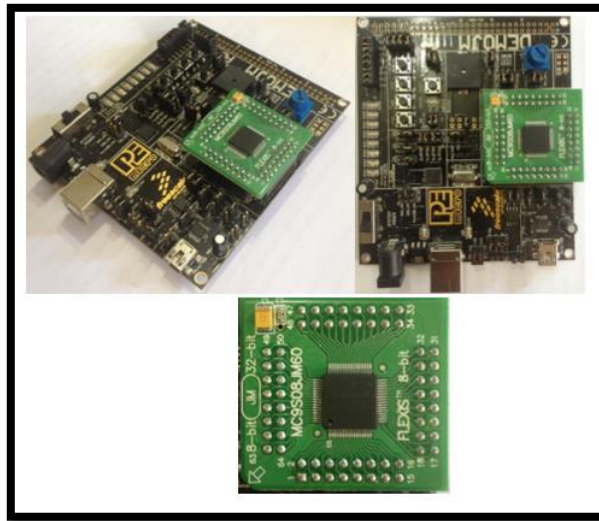


Figura 20. Tarjeta Programable

Fuente: Elaboración propia

- **Conectores**

Otros de los componentes que son abastecidos por la corriente de salida de la fuente de poder son los sensores ultrasónicos. Estos se conectan a la placa base a través de una serie de conectores plásticos PM3LT3 macho y hembra y a través de un grupo de cables, que son encargados de la transmisión tanto de información como de corriente de información.

En la Figura 21 se muestra el ejemplo de los conectores usados. La imagen del lado izquierdo es la posición de los conectores en la placa base y la otra muestra cómo se conectan los sensores.

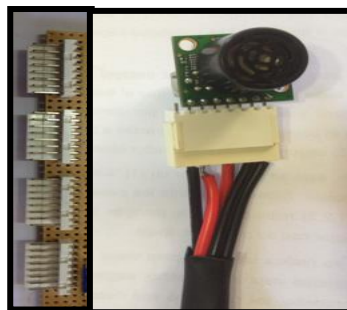


Figura 21. Conector utilizado para la elaboración del prototipo.

Fuente: Elaboración propia

- **Sensor**

Para la construcción del dispositivo se escogió el sensor ultrasónico “UltrasonicRangeFinder - XL-Maxsonar EZ0 x4”. Adicional a las características básicas que se usaron para la elección del mismo, se tienen las siguientes:

- Voltaje de entrada bajo 3.5V-5V.
- Alto poder acústico de salida.
- A pesar de ser un componente muy pequeño provee una gran capacidad de detección en distancias muy cortas
- Este modelo detecta objetos desde 0cm hasta 100cm de distancia.
- Posee auto calibración y rechazo de ruido por cada ciclo
- Posee una apreciación de 1cm.



Figura 22. Sensor utilizado para la elaboración de prototipo
Fuente: Elaboración propia

Los sensores ultrasónicos utilizan sonido en alta frecuencia para detectar y localizar objetos en diversos ambientes, estos no son afectados por el color y otra característica visual del objeto detectado.

El funcionamiento de estos sensores consiste en medir el tiempo de vuelo del sonido desde que es transmitido hasta que toca algún objeto cercano en su rango de acción y este sonido es devuelto y capturado por el sensor nuevamente. Basado en la duración del tiempo de vuelo, el sensor entrega la distancia calculada.

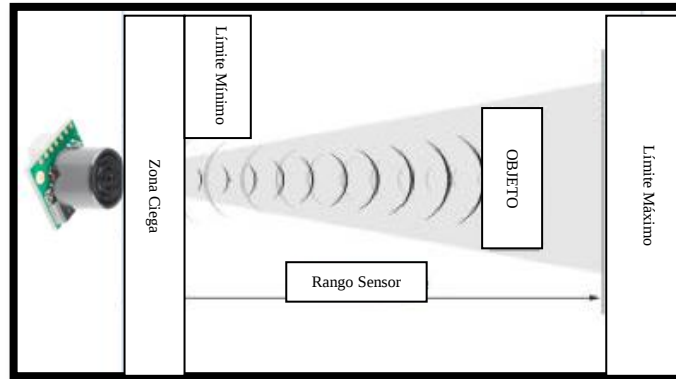


Figura 23. Funcionamiento del sensor
Fuente: Elaboración Propia

Para que el sensor se active se necesita de un pulso de activación, el cual se explicará más adelante en este capítulo.

Para la construcción del dispositivo se dividió el mismo en 3 categorías:

- Electrónica.
- Software.
- Hardware.

Se realizó de esta manera ya que la metodología de trabajo utilizada en el presente TEG es la de ingeniería concurrente, en la cual todos los recursos están ligados a la construcción de los elementos en todas sus fases, para así evitar retrabajos y fallas de calidad posteriores.

Una razón más para hacer esta división fue la de facilitar la construcción del mismo, ya que así a medida que se iba construyendo la electrónica, se trabajaba en paralelo con el software controlador y se podía ir trabajando en conjunto además con el diseño inicial del hardware. Se le denomina Hardware, a lo que contendrá a la tarjeta de control y los diversos porta sensores y amarres.

4.4 Descripción de la Electrónica del Dispositivo

- **Módulo de Comunicación**

Para establecer comunicación entre la tarjeta controladora y la PC a través de un terminal, siendo en este caso LabView el terminal a usar, se instaló un puerto serial-USB. Se eligió este tipo de puerto de comunicación debido a su tamaño compacto y a la alta velocidad de transferencia de data, en comparación a la posible instalación de sistema serial RS232 que implicaría un cableado mayor. Ver Figura 24.

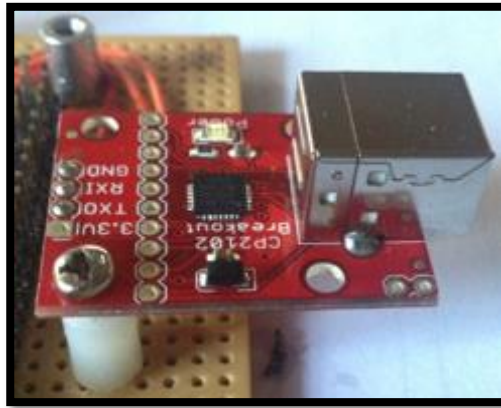


Figura 24. Módulo de comunicación del prototipo
Fuente: Elaboración propia

Este grupo de componentes nombrados previamente, define en gran forma la conformación del sistema electrónico del dispositivo y dividen al mismo en 4 sub ensambles:

- Fuente de Poder.
- Tarjeta Controladora.
- Sensores.
- Comunicación.

A continuación en la Figura 25 se presentan dos fotografías en las cuales se puede observar la disposición final de los elementos en la tarjeta controladora.

La fotografía de la izquierda muestra la tarjeta controladora sobre la tarjeta base y la fotografía de la derecha muestra la tarjeta base sin la tarjeta controladora

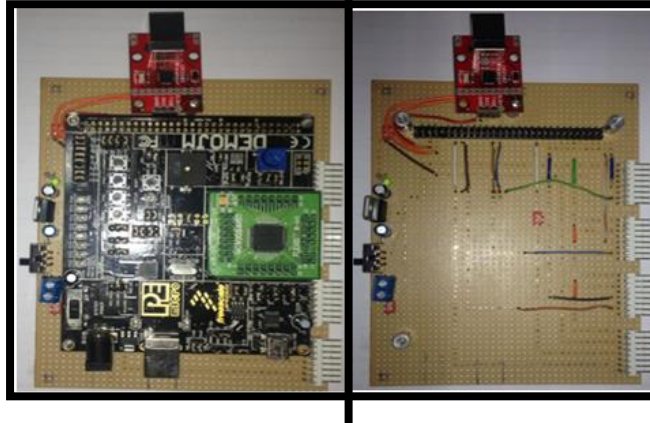


Figura 25. Evolución de la tarjeta base al agregar los elementos que la conforman.
Fuente: Elaboración propia

En la construcción de la tarjeta controladora, se usaron otras series de materiales y elementos básicos y necesarios para la finalización del mismo. Entre ellos se tienen:

- Estaño.
- Alambre de cobre.
- Cables.
- Tornillos y stand off.

4.5 Descripción del Software del Dispositivo

- **Código**

Para la programación de la Tarjeta se usó CodeWarrior, ya que es una herramienta compiladora poderosa y amigable, basada en un entorno IDE (Integrated Development Environment).

Las ventajas de usar CodeWarrior son:

- Integración de edición de archivos.
- Generación automática de códigos.
- Compilación optimizada.
- Simulación de códigos
- Disponible para usar en diversos lenguajes de programación.

Para efectos del presente TEG se trabajó en lenguaje de programación C.

Adicionalmente a estas ventajas, CodeWarrior es el compilador por defecto de las tarjetas hijas (microprocesador), ya que son de la misma empresa: Freescale. Es por ello que se decantó por este sistema, ya que al ser ambos de la misma empresa son compatibles reduciendo al mínimo posibles problemas de comunicación.

En esta interfaz, se codificó el uso de los sensores: su activación y la recepción de la señal emitida. La activación de los mismos se llevó a cabo usando una estructura de código la cual permite que los sensores trabajen de forma independiente ya que se envía un pulso de activación en distintos tiempos, evitando de esta forma que funcionen al unísono y la señal de uno interfiera en los otros.

En la Figura 26a continuación se muestra la estructura de código usada para el uso de los sensores.

```
/* Sensor 1 */  
Cap1_Enable();  
Cpu_Delay100US(10);  
Bit1_SetVal();  
Cpu_Delay100US(1000);  
Bit1_ClrVal();  
Cap1_Disable();  
Cpu_Delay100US(100);  
  
/* Sensor 2 */  
Cap2_Enable();  
Cpu_Delay100US(10);  
Bit2_SetVal();  
Cpu_Delay100US(1000);  
Bit2_ClrVal();  
Cap2_Disable();  
Cpu_Delay100US(100);  
  
/* Sensor 3 */  
Cap3_Enable();  
Cpu_Delay100US(10);  
Bit3_SetVal();  
Cpu_Delay100US(1000);  
Bit3_ClrVal();  
Cap3_Disable();  
Cpu_Delay100US(100);  
  
/* Sensor 4 */  
Cap4_Enable();  
Cpu_Delay100US(10);  
Bit4_SetVal();  
Cpu_Delay100US(1000);  
Bit4_ClrVal();  
Cap4_Disable();  
Cpu_Delay100US(100);
```

Figura 26. Captura de pantalla del código para uso de los sensores
Fuente: Elaboración propia

El invocado de los sensores se realiza de forma secuencial, iniciando por el sensor uno hasta el cuatro. El valor que ellos capturan se almacena en las variables Distancia_H y Distancia_L. Las mismas son enviadas mediante trama al programa encargado para su decodificación y tratado. Este programa es LabView.

```
Trama[0]=Distancia1_H;  
Trama[1]=Distancia1_L;  
Trama[2]=Distancia2_H;  
Trama[3]=Distancia2_L;  
Trama[4]=Distancia3_H;  
Trama[5]=Distancia3_L;  
Trama[6]=Distancia4_H;  
Trama[7]=Distancia4_L;  
  
Trama[8]=0xFF;  
  
AS1_SendBlock(Trama,9,Ap_Bytes_Enviados);  
  
Cpu_Delay100US(1000);  
  
Bit5_NegVal();
```

Figura 27. Captura de pantalla se muestra el código de almacenamiento de los valores

Fuente: Elaboración propia

Para poder lograr la configuración del sensor fue necesario realizar ciertos cálculos iniciales, estos permitirían conocer el rango de funcionamiento del mismo, así como la duración del tiempo de vuelo de onda enviada y el ancho entre pulsos.

Se partió de los datos básicos del sensor que según el fabricante son los siguientes:

- El factor de escala es de $58\mu s$ por cm.
- Alcance máximo 765cm.

Tomando en cuenta esto, se puede conocer el mayor tiempo de vuelo según el fabricante. Este tiempo de vuelo sería la mayor cantidad de tiempo que tarda la onda en desplazarse los 765cm y volver al sensor.

$$58 \frac{\mu s}{cm} \times 765 cm = 44,37 ms$$

En tiempo está contemplado el viaje ida y vuelta de la onda de sonido. El programa solicita este dato para configuración del sensor y así validar que cuando el pulso dura más que 44,37 ms , el mismo ya se considera fuera de rango.

Conociendo este valor, y considerando una holgura se coloca en sistema un ancho de pulso máximo de 50ms, el cual el programa corrige automáticamente a 49,920ms.

En la Figura 28a continuación, se muestra la configuración del ancho de pulso máximo.

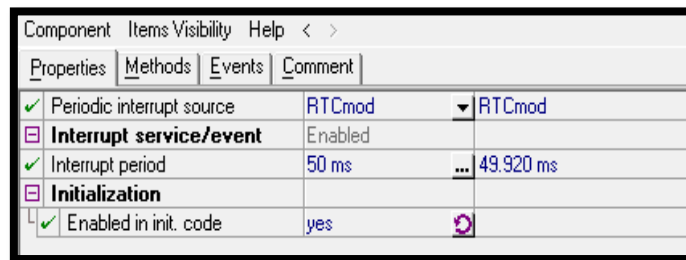


Figura 28. Captura de pantalla de la configuración de pulso máximo

Fuente: Elaboración propia

Existe la posibilidad de que al ser enviada la onda mediante el sensor este no reciba respuesta alguna, lo que originaría una lectura vacía. Para evitar esto se configuró un tiempo máximo de evento, (0xFFF), el cual tiene un valor de 70,175ms. En otras palabras, sí el sensor no recibe una señal de respuesta en 49,920ms, el evento finalizará los 70,175ms de haberse iniciado el evento arrojando como valor la distancia máxima configurada del sistema, evitando así un ciclo infinito sin respuesta.

En la gráfica a continuación se muestra el comportamiento del tiempo de respuesta posible.

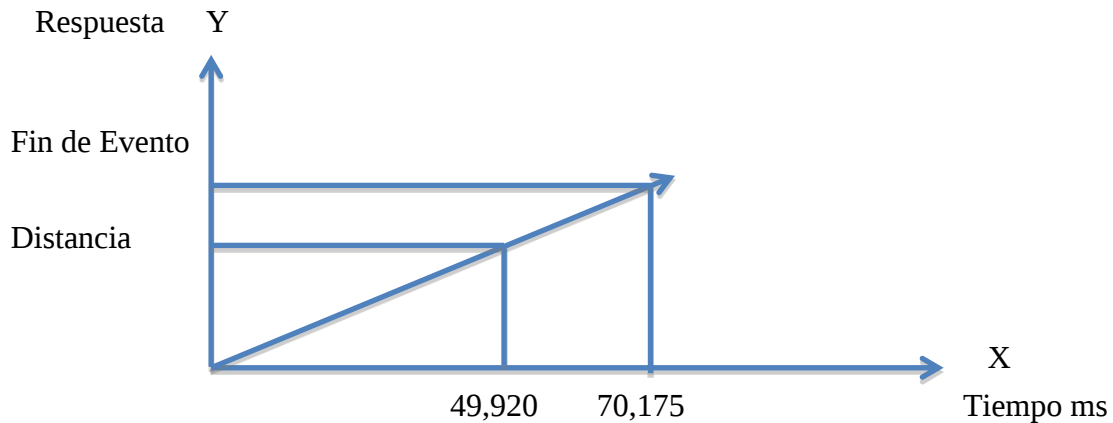


Figura 29. Comportamiento del tiempo respuesta.
Fuente: Elaboración propia

Los valores recibidos son guardados en variables de 2 bytes, esto quiere decir que el tamaño del registro va desde 0 hasta 65535. Pero la razón de cambio con la cual se incrementa cada valor en el registro es la siguiente:

$$\frac{70,175 \text{ ms}}{65535 \text{ incrementos}} = 1,0708 \mu\text{s}/\text{incremento}$$

En otras palabras, cada 1,0708 μs el valor que se almacenará incrementa en 1, hasta llegar al máximo de 65535.

- **Visualización**

Ya con el código de captura listo, y las medidas del conjunto de sensores realizadas, lo siguiente es la visualización de las medidas tomadas. Para conseguir esto, se encontró que la mejor forma seria a través de LabView y su Front Panel, (ya que el software MatLab no era del todo compatible con el sistema), en el cual se pudiera mostrar tanto el valor numérico, como una referencia gráfica de las medidas tomadas.

En la figura 30 se muestra el frontal panel utilizado, en él se observa lo siguiente: del lado izquierdo tres cuadros de diálogos, dos que muestran la distancia de cada maléolo y el tercero que muestra el valor del ángulo en grados. Del lado derecho se tiene un área gráfica, en la cual se mostrará una recta referencia del valor del ángulo obtenido.

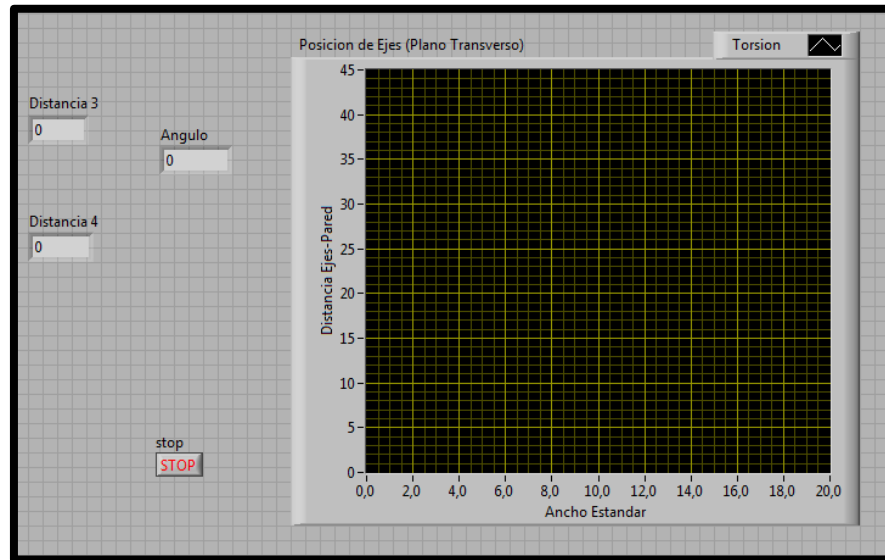


Figura 30. Captura de Pantalla del Panel utilizado.

Fuente: Elaboración propia

El valor que se recibe verdaderamente de la tarjeta controladora es un valor numérico que corresponde al tiempo de duración de la onda enviada, para que ese valor pueda ser interpretado debe ser multiplicado por 0,0185, esto se debe a:

- Se conoce de cálculos previos que el incremento dentro del registro tiene una razón de cambio de $1,0708 \mu s / \text{incremento}$
- El factor de escala es de $58 \mu s$ por cm.

Por lo tanto:

$$\frac{1,0708 \frac{\mu s}{\text{incremento}}}{58 \frac{\mu s}{\text{cm}}} = 0,0185 \frac{\text{cm}}{\text{incrementos}}$$

Al multiplicar este valor, por el valor del registro (cuya unidad es incremento), almacenado daría:

$$[\text{Registro}] \times 0,0185 \frac{\text{cm}}{\text{incrementos}} = \text{Distancia en cm}$$

Ya con los datos en centímetros se procedió a la realización de un estudio por medio de geometría analítica, debido a que por la ubicación de los sensores en ambos ejes estos originan puntos que al ser llevados a un plano cartesiano XY, donde las medidas tomadas representan el valor de Y y con un X estándar de 20cm (equivalente a la distancia existente entre maléolos medidas en el método staheli), se logra definir las rectas correspondientes a cada eje.

Con las rectas definidas resta únicamente obtener el valor del ángulo que ellas forman entre sí en el plano, (plano cartesiano XY), que haría las veces del plano transversal del cuerpo humano. La forma más sencilla de obtener el ángulo formado por ambas rectas, es calculando el arco tangente de la razón de sus pendientes.

Las pendientes de estas rectas, son mostradas en los cuadros de diálogos Eje de la Rodilla, y Eje de Tobillo, según corresponda.

Este valor obtenido tiene como unidades radianes, por lo tanto el paso final sería dividirlo por 0.01745, el cual es un factor de conversión, cuyo resultado daría un valor con unidades en grados, que finalmente sería el valor deseado.

Todo este desarrollo se llevó a cabo en LabView en el Block Diagram, ver Figura 31, donde adicional a esta lógica previamente descrita para el cálculo y la muestra del ángulo requerido, se debió diagramar la comunicación, entre la tarjeta controladora y LabView.

En ella se define el tamaño de la trama, el tipo de dato que es ingresado, el puerto de comunicación usado y el ancho de la banda de transmisión.

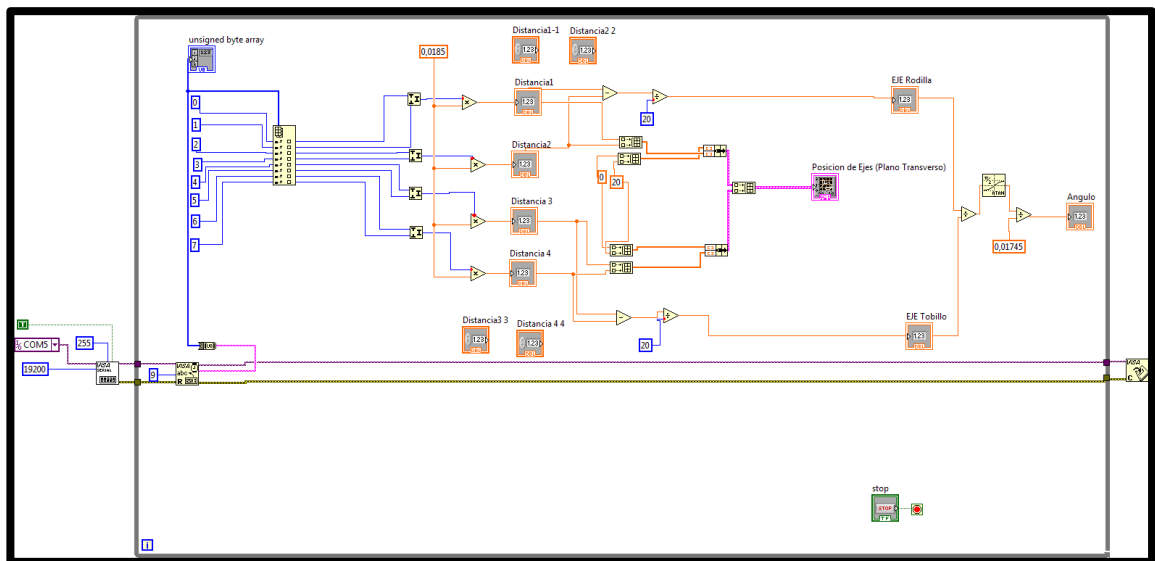


Figura 31. Captura de Pantalla del Block Diagrama

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 32 a continuación se muestra un esquema sobre el funcionamiento e interacción de los componentes y sistemas.

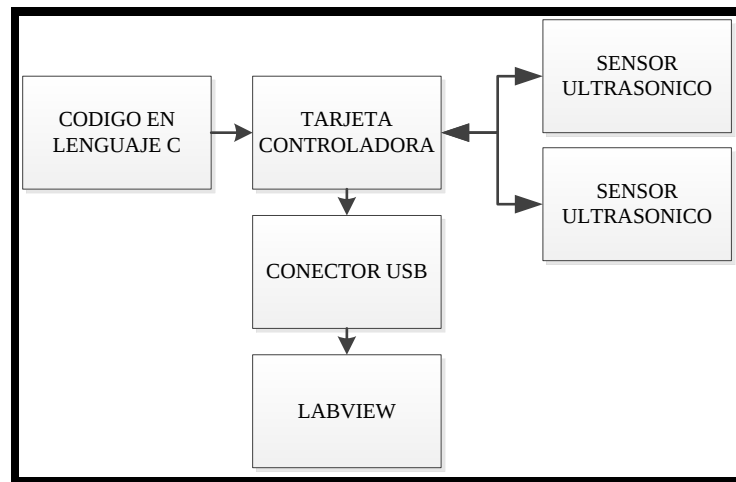


Figura 32 Esquema de funcionamiento de componentes y sistemas.

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Descripción del Hardware del Dispositivo

Una vez construido el circuito, ensamblada la tarjeta controladora y elaborado los cables a los sensores, resta una parte importante en la creación del dispositivo, y es crear el sistema de sujeción para el uso del mismo en pacientes.

Este proceso se inició con la realización de algunos bosquejos a mano alzada, que condujo a la realización de unas pequeñas maquetas, elaboradas en papel y cartón, las cuales sirvieron de base para pensar en el modelo final.

En la Figura 33 se muestra la primera maqueta, realizada en papel. Una maqueta rudimentaria, pero que facilitó los próximos pasos del desarrollo.

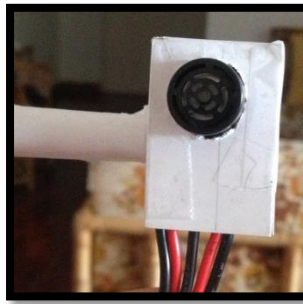


Figura 33 Maqueta del dispositivo realizada en papel
Fuente: Elaboración propia

A partir de ella surgieron las siguientes interrogantes:

- ¿El sensor no debería estar siempre perpendicular a la pared para una medida más exacta?
- ¿Cómo se puede lograr esto?

Para solucionar estas dos preguntas, al diseño preliminar se le colocó un medidor de nivel, el cual indicaría la posición del mismo con respecto al piso y garantizaría su horizontalidad con respecto a este y la perpendicularidad respecto a la pared, siempre y cuando esta sea perpendicular al piso también.

En la Figura 34 se muestra ya el diseño elaborado en cartón y con el nivel colocado en un extremo.



Figura 34. Maqueta del dispositivo realizada en cartón
Fuente: Elaboración propia

El incluir un nivel, era garantía de poder tener un sistema que no presentara inclinación de arriba abajo, (cabeceo). Pero para lograr esto, se debe tener un punto de rotación, para que el sistema pudiera ajustarse. En los primeros modelos, se trabajó con un tornillo, el cual estaba compuesto de un sistema de contratuercas, de manera tal que cuando el nivel indicaba que se estaba horizontal, se apretaban las tuercas para evitar la rotación del mismo. La Figura 35 muestra como quedo el porta sensor inicial con el nivel y usando el eje de rotación con las tuercas.

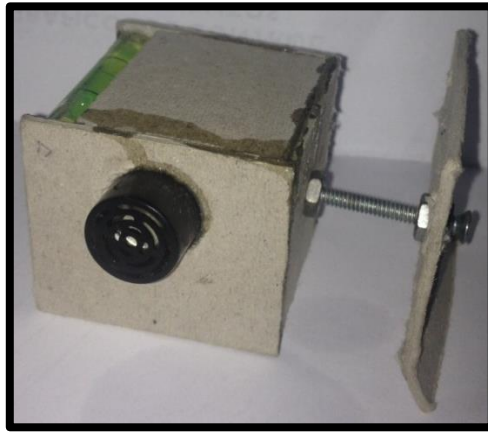


Figura 35. Dispositivo de cartón acoplado al eje de rotación
Fuente: Elaboración propia

Finalmente con el sensor, ubicado en el sistema porta sensor y con los ajustes necesarios para mantener la horizontalidad, surge la siguiente pregunta:

¿Cómo fijar la caja a la zona del cuerpo que se quiere estudiar?

Se comenzó a trabajar con sistemas básicos, cintas y trenzas. Estos sistemas de entrada resultaron ser buenos, ofreciendo la sujeción que hacía falta, pero como debía ajustarse mucho a la extremidad de la persona, esto ocasionaba cortes en la circulación sanguínea y dejaba marcas en la piel, por ende se buscó un sistema nuevo. En la Figura 36 se muestra las pruebas iniciales realizadas con las cintas y las trenzas.



Figura 36. Prueba inicial del prototipo con el sistema de trenzas
Fuente: Elaboración propia

Después de probar formas de sujeción con la trenza, la cinta y velcro, se eligió usar el Velcro, ya que era la opción más económica y que ofrecía mejor sujeción. Este resultó ser un material de mucha utilidad, ya que al ser liviano y flexible se adapta muy fácil a las zonas del cuerpo a estudiar.

En la Figura 37 se muestra el resultado de usar el velcro como sistema de sujeción.



Figura 37. Prueba del prototipo con el sistema velcro
Fuente: Elaboración propia

Luego de construida las maquetas en cartón y probadas junto a la electrónica y al software, se decidió por un diseño final, el cual en una tercera etapa se llevó a el

software CAD SolidWorks, para realizar el dibujo 3D y para que posteriormente fuera impreso en una máquina rapid prototyping, ofreciendo así un porta sensor de mayor dureza y durabilidad, el cual pudiese ser expuesto a mayores abuso durante el periodo de pruebas.

El diseño final de cada porta sensor, (se construyeron 4, 2 por lado), consta de un cubo sin fondo, un orificio para la ubicación del sensor y una base donde se ubicará el nivel. En la Figura 38 se presenta el diseño.

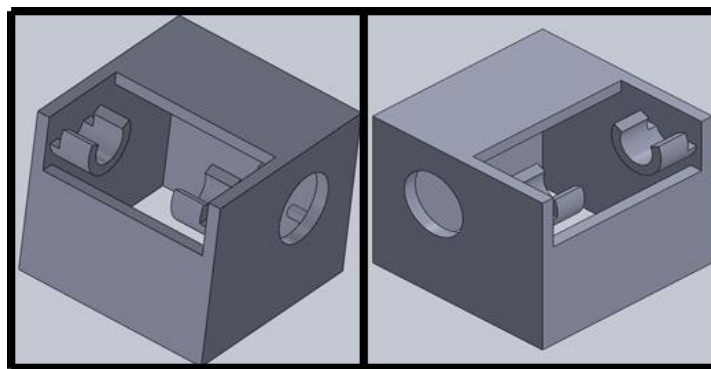


Figura 38. Diseño del porta sensor en SolidWorks
Fuente: Elaboración propia

Para lograr dimensiones exactas, se dibujaron también los componentes, para poder constatar en SolidWorks que el porta sensor estaba correctamente dimensionado.

En la Figura 39 se presenta el sensor ultrasónico y el nivel digitalizado.

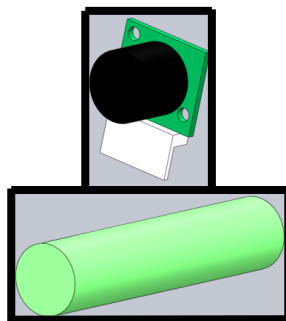


Figura 39. Sensor y nivel digitalizado en SolidWorks
Fuente: Elaboración propia

Las medidas usadas para la construcción del sensor fueron tomadas directamente de la página del fabricante, en donde muestra una hoja descriptiva con las dimensiones reales. Para efectos del nivel, el mismo fue medido en físico con la ayuda de un vernier.

La Figura 40 muestra como quedó el diseño final del porta sensor en SolidWorks, con todos los componentes finalmente ensamblados.

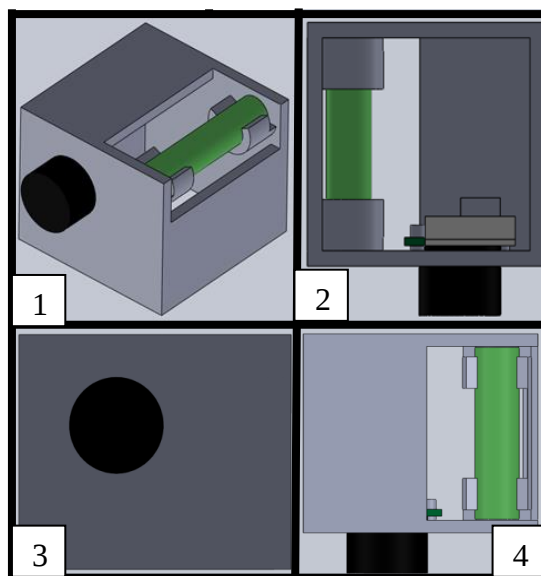


Figura 40. Diferentes vistas del prototipo en SolidWorks
Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se tiene una vista isométrica del porta sensor izquierdo (1), una vista inferior (2), una vista frontal (3) y por último una vista en plano superior (4). Puede observarse que es un diseño sencillo pero funcional, se trató de utilizar la menor cantidad de materia posible, pero que fuera suficiente para proteger a los elementos de una posible caída o golpe.

Finalizado el proceso de dibujo y diseño CAD, viene la última etapa del proceso, imprimir la pieza en plástico. Para ello el dibujo en SolidWorks fue guardado en un formato .STL, ya que es la manera en que software, (UP), que usa la

máquina de prototipado puede recibir el archivo. Una vez aquí es ubicado en posición para la impresión, se corre una simulación del mismo y se verifica que todo esté en orden.

La Figura 41 muestra la ubicación de la pieza en dicho software.

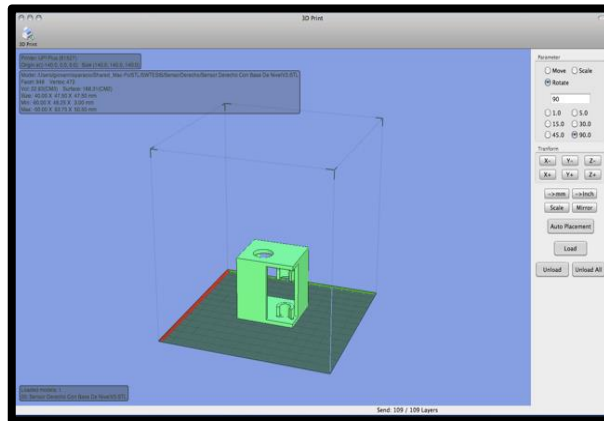


Figura 41. Ubicación de la pieza para ser impresa
Fuente: Elaboración propia

El resultado final de la pieza se muestra a continuación. Véase Figura 42

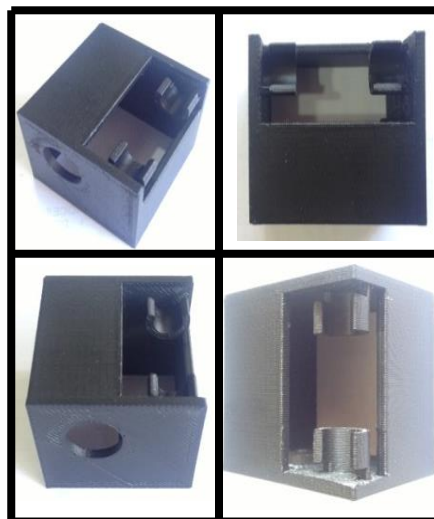


Figura 42. Modelo del prototipo en plástico
Fuente: Elaboración propia

Con la caja porta sensores finalizadas, queda un trabajo más por realizar y es la creación de una caja contenedora para la tarjeta controladora. Para esto se siguieron los pasos 3 y 4, elaboración de un diseño en SolidWorks y luego su respectiva impresión en una máquina de prototipado rápido.

La diferencia entre ambos procesos, es que esta debió realizarse en una máquina distinta debido al tamaño de la misma, ya que la primera máquina usada posee un tamaño máximo inferior a la longitud de la caja contenedora. En este nuevo equipo el software usado es Catalyst Ex.

De igual manera se digitalizó la tarjeta controladora, (véase Figura) de forma tal que se pudiera garantizar que la caja contenedora cumpliría con las especificaciones de tamaño de la tarjeta real y así evitar un posible desperdicio de material y un costo innecesario por reimpresión.

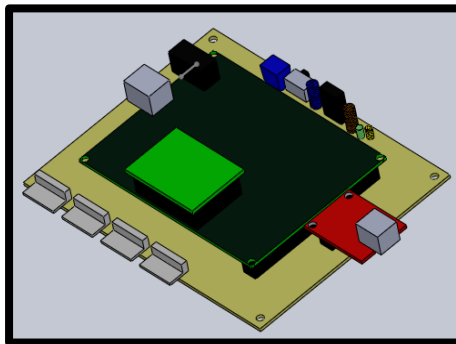


Figura 43. Digitalización de la tarjeta controladora
Fuente: Elaboración propia

Con la tarjeta controladora digitalizada, se realizó un diseño sencillo, de la caja contenedora, ya que la misión principal de ella es albergar el sistema y evitar que su exposición a golpes y al medio ambiente pueda ocasionar alguna falla. En la Figura 44 se muestra la caja contenedora vacía y como se vería con la tarjeta controladora en su interior.

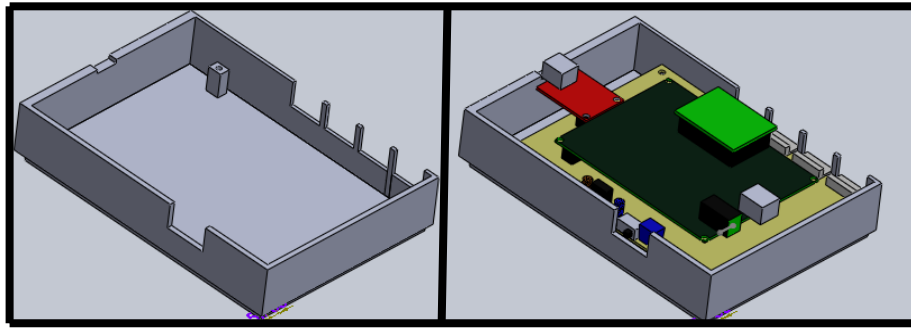


Figura 44. Caja contenedora de la tarjeta
Fuente: Elaboración propia

El último elemento de esta caja contenedora, es la tapa, la cual también posee un diseño sencillo. Esta se sujeta a la base inferior mediante 3 tornillos pequeños. En la Figura 45 puede observarse el diseño de la tapa y como quedaría el sistema completo mediante una vista traslúcida del ensamble.

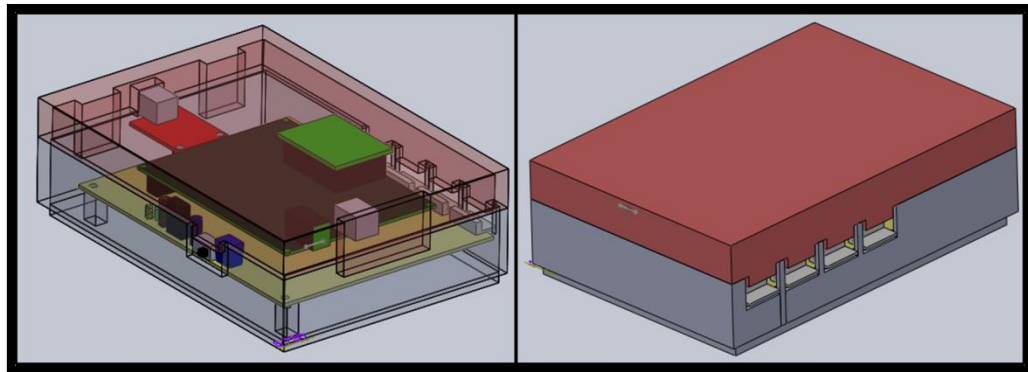


Figura 45. Diseño completo de la caja contenedora
Fuente: Elaboración propia

Antes de la validación del prototipo, se realizó un análisis del diseño y se identificaron unas primeras oportunidades de mejora, las cuales se explican a continuación:

1. Se realizó un circuito impreso con la finalidad de disminuir las posibles fallas ocasionadas por la manufactura del dispositivo. Para la realización de este se siguieron una serie de pasos los cuales están descritos en el Anexo1.
2. Se identificó una condición la cual consiste en que el valor de inclinación del eje de la rodilla debe ser cero, para esto se tenían dos sensores los cuales debían colocarse y nivelarse, pero al realizar unas pruebas preliminares con los ortopedistas, se pudo determinar que esta condición se podía lograr realizando la prueba con el paciente sentado, demostrando así que los dos sensores de la rodilla no eran necesarios.

En la Figura 46 se muestran las dos mejoras llevadas a cabo.

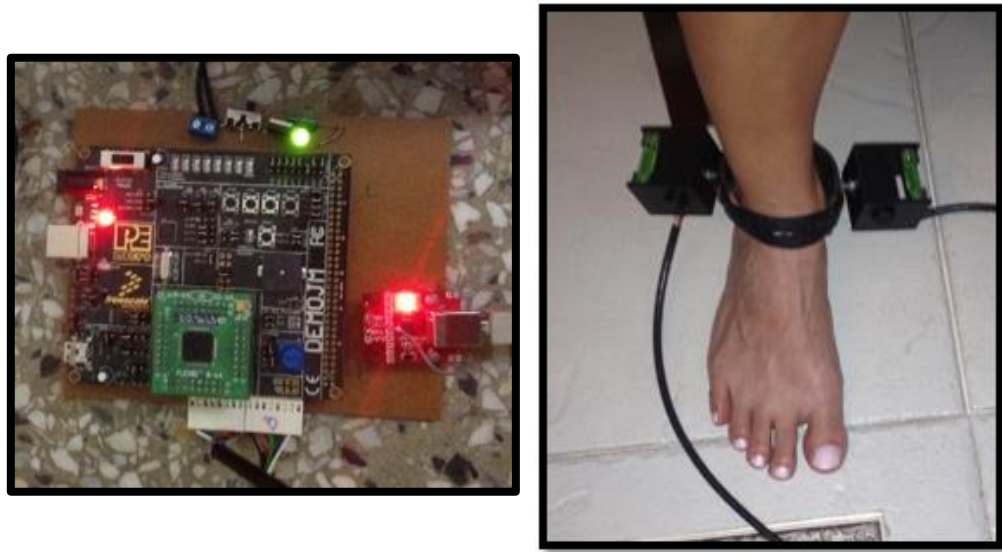


Figura 46 Mejoras realizadas
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos, luego de la realización de unas pruebas pilotos para así validar el dispositivo y conocer su factibilidad operativa.

5.1 Validación

La validación fue utilizada como herramienta para indicar que el prototipo fue sujeto a un escrutinio y que como resultado del mismo se obtuvo un producto que arroja los resultados esperados. El proceso de validación estableció una evidencia documental de un resultado acorde a necesidades a satisfacer.

Dichas necesidades son:

- Efectividad y eficiencia en la toma de datos y en la respuesta de los resultados.
- Facilidad de instalación y uso.
- Económico, tanto para el desarrollo y construcción, como para la adquisición por parte de los doctores.
- Cómodo y poco invasivo al paciente.

Mediante las pruebas clínicas se pudo obtener, la evidencia objetiva que demuestra que el equipo funciona de acuerdo al uso previsto en condiciones lo más cercano a la realidad, además de que determina la viabilidad del producto en su parte clínica.

Para el proceso de validación se seleccionaron aleatoriamente 6 pacientes, mayores de edad del Centro de Salud Santa Inés, los cuales fueron dirigidos primero a la realización de la tomografía, realizada por un técnico con las especificaciones de

un ortopedista calificado que guiaba el proceso y posteriormente se realizaron los exámenes físicos y la prueba con el dispositivo.

A continuación se muestran los resultados obtenidos mediante la ejecución de la tomografía, los dos exámenes físicos y por el uso del prototipo.

Tabla 7. Resultados obtenidos de la torsión tibial, por los diferentes métodos

Fuente: Elaboración propia

	Resultados de los ángulos de torsión obtenidos por el Método Muslo Pie (°)	Resultados de los ángulos de torsión obtenidos por el Método de Staheli (°)	Resultados de los ángulos de torsión obtenidos por la Tomografía (°)	Resultados de los ángulos de torsión obtenidos por el Prototipo (°)
Paciente 1	20,00	17,40	20,50	20,77
Paciente 2	18,00	15,10	18,50	15,26
Paciente 3	12,00	12,20	11,80	12,41
Paciente 4	14,00	13,70	13,50	14,67
Paciente 5	8,00	6,60	9,10	8,88
Paciente 6	9,00	11,30	11,10	9,45

Si se analiza la tabla anterior, se puede observar que los resultados obtenidos por paciente están en un rango de $\pm 3^\circ$, lo cual es aceptado por los expertos ortopedistas consultados. A partir de esto se realizaron pruebas de hipótesis con muestras pareadas para comparar los resultados de cada método, con los arrojados por el prototipo, las cuales se muestran a continuación.

- Prueba de hipótesis con muestras pareadas, para la comparación de los resultados obtenidos por el método muslo pie y el arrojado por el prototipo.

$$H_0: \mu_1 - \mu_4 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_4 \neq 0$$

Siendo:

μ_1 = Ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al método “Muslo Pie”

μ_4 = Ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al “Prototipo”

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula. Véase anexo 14

Conclusión: No existen evidencias muestrales significativas al 5%, que permitan afirmar que el ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al método Muslo Pie difiere del ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al prototipo.

- Prueba de hipótesis con muestras pareadas, para la comparación de los resultados obtenidos por el método de Staheli y el arrojado por el prototipo.

$$H_0: \mu_2 - \mu_4 = 0$$

$$H_1: \mu_2 - \mu_4 \neq 0$$

Siendo:

μ_2 = Ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al método “Staheli”

μ_4 = Ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al “Prototipo”

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula. Véase anexo 15

Conclusión: No existen evidencias muestrales significativas al 5%, que permitan afirmar que el ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al método de Staheli difiere del ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al prototipo.

- Prueba de hipótesis con muestras pareadas, para la comparación de los resultados obtenidos por la tomografía y el arrojado por el prototipo.

$$H_0: \mu_3 - \mu_4 = 0$$

$$H_1: \mu_3 - \mu_4 \neq 0$$

Siendo:

μ_3 = Ángulo de torsión tibial promedio correspondiente a la “Tomografía”

μ_4 = Ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al “Prototipo”

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula. Véase anexo 16

Conclusión: No existen evidencias muestrales significativas al 5%, que permitan afirmar que el ángulo de torsión tibial promedio correspondiente a la tomografía difiere del ángulo de torsión tibial promedio correspondiente al prototipo.

5.2 Factibilidad Operativa

Cuando se desarrolla una nueva técnica para la realización de un procedimiento, lo idóneo es que este se use como se supone, para eso consideraremos ciertos aspectos que permita identificar que tan factible será este.

Complejidad, si la nueva técnica es muy compleja para los ortopedistas, estos pueden ignorarlo o utilizarlo de tal forma que cause errores o fallas en el sistema. En este caso en particular esto no es un problema, ya que, como se describió en capítulos

anteriores en comparación con las técnicas existentes el prototipo es muy fácil de usar.

Resistencia al cambio, un nuevo procedimiento puede hacer que los ortopedistas se resistan a él, pero al demostrar que el prototipo funciona y esta validado además de ser más sencillo, más rápido y que trae beneficios con la optimización de tiempo, los ortopedistas podrían dar la oportunidad de probar con algo nuevo .

Probabilidad de obsolescencia, con lo rápido que avanza la tecnología es indispensable siempre estar a la vanguardia, en este caso la tecnología que ha sido utilizada está actualizada y disponible además de eso se tienen diferentes alternativas para elegir a la hora de realizar algún cambio.

Para corroborar si el dispositivo cumple con los aspectos mencionados anteriormente, se le solicitó a seis ortopedistas que hicieran uso del dispositivo y luego se procedió a la aplicación de un cuestionario (ver Anexo2-7) para conocer que pensaban sobre él. Se tomó en cuenta que la cantidad de ortopedistas entrevistados no es una muestra significativa y que los resultados arrojados no tienen un porcentaje alto de confiabilidad, pero esto se hizo como una prueba piloto con la finalidad de poder tener conocimiento de la opinión que tenían el grupo de ortopedistas con el que se trabajó, y así en pruebas futuras realizar el cuestionario a una muestra más significativa. A continuación se presentan los resultados:

En el Gráfico 1 se puede observar que del 100% de la muestra piloto, que representa 6 ortopedistas, un 83% de esta, que representa 5 ortopedistas, considera que al utilizar el dispositivo por primera vez, su manejo fue sencillo al ubicarlo en la parte del cuerpo a tratar, mientras que un 17% de la muestra piloto, que representa 1 ortopedista, no lo consideró sencillo.

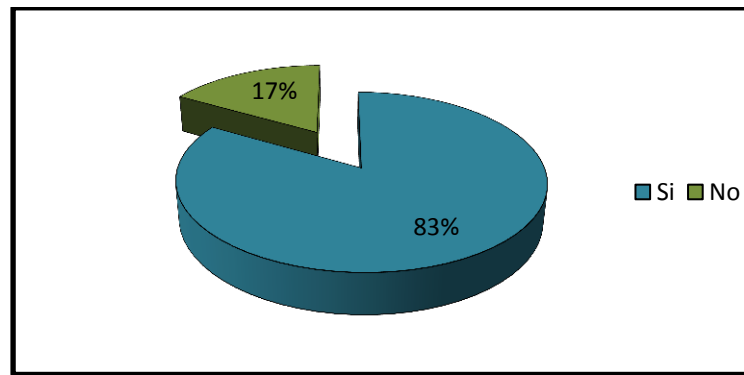


Gráfico 1. Porcentaje obtenido en la pregunta 1
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 2 se puede observar que del 100% de la muestra piloto, que representa 6 ortopedistas, el 100% estaría dispuesto a probar el dispositivo en sus pacientes, a la hora de realizar un diagnóstico.

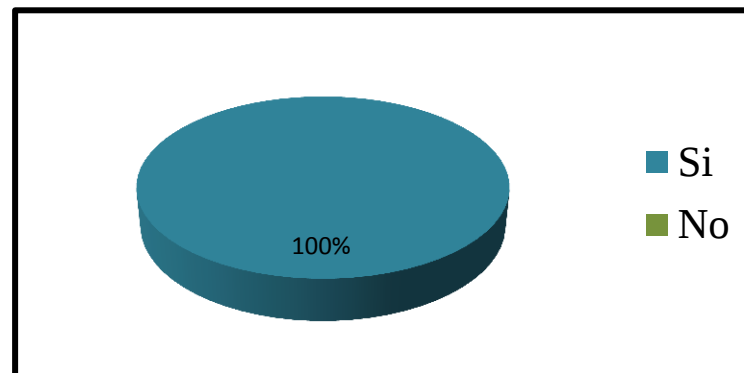


Gráfico 2. Porcentaje obtenido en la pregunta 2
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 3 se puede observar que del 100% de la muestra piloto, que representa 6 ortopedistas, un 83% de esta, que representa 5 ortopedistas, considera que la tecnología utilizada en el dispositivo (digital) es de fácil alcance y está actualizada mientras que un 17% de la muestra piloto, que representa 1 ortopedista, no lo consideró de esa manera.

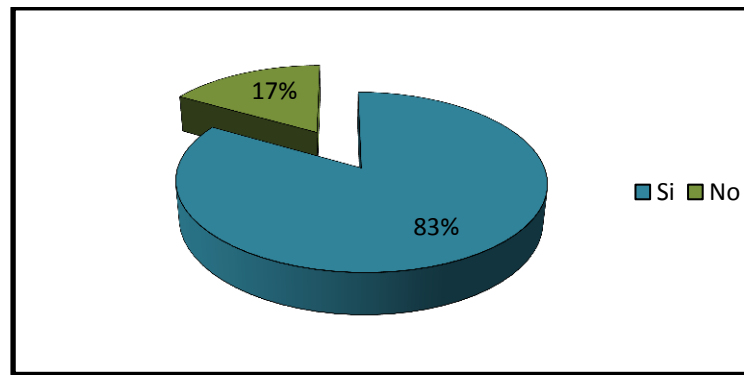


Gráfico 3. Porcentaje obtenido en la pregunta 3
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 4 se puede observar que del 100% de la muestra piloto, que representa 6 ortopedistas, el 100% consideró que los resultados arrojados por el dispositivo fueron sencillos de leer y de interpretar.

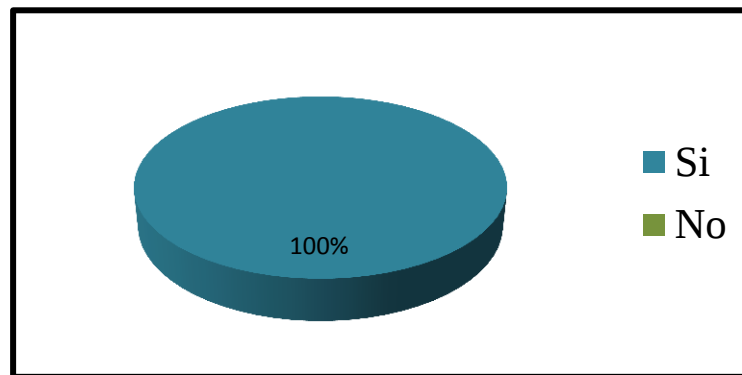


Gráfico 4. Porcentaje obtenido en la pregunta 4
Fuente: Elaboración propia

Otros aspectos importantes para determinar la factibilidad operativa del dispositivo fueron la duración de la evaluación y costos asociados (construcción de un prototipo y evaluación por tomografía). Para esto se compaginó contra su similar en la situación actual, es decir, se tomó en cuenta la duración de la evaluación física y del examen en el tomógrafo, así como el costo de ambos estudios contra el costo de construcción del dispositivo.

La duración de la evaluación física realizada por el ortopedista tiene un tiempo estimado de 15 minutos. La evaluación por tomografía, (sin tomar en cuenta el tiempo que el paciente debe esperar para ser atendido, ni el tiempo que debe esperar por los resultados), tiene una duración aproximada de 20 minutos.

Por otro lado conservando el tiempo estimado de la evaluación física, se tiene que desde que se comienza la instalación del prototipo, se realizan los ajustes pertinentes y hasta que se tiene el resultado del ángulo de torsión, transcurre un tiempo aproximado de 10 minutos. Esto implica que realizando la evaluación con el prototipo, se está ahorrando un 28% del tiempo, en comparación con la realización del examen físico y de la tomografía.

Además de lo mencionado anteriormente, otra diferencia importante está en que con el prototipo, el paciente realiza todo el proceso en el consultorio del médico especialista, bajo su mirada y obtiene el resultado en sitio, sin tener que aguardar en una sala de espera para ser atendido y luego varios días para la entrega de los resultados de su evaluación, además de que existe la posibilidad de que el técnico que realice el examen no lo haga de manera correcta, incurriendo así en gastos adicionales y pérdida de tiempo para el paciente.

Con base en lo antes expuesto se analizó la siguiente variable, costo. En la Tabla 8 se presenta los costos asociados a la fabricación de un dispositivo de medición completo.

Adicional a los componentes que se usaron, se encuentra el costo de impresión de la máquina de prototipado rápido. El costo ubicado en el mercado es de Bs. 5,00 por cada gramo de material (Julio, 2013). El material usado es plástico ABS.

En la Tabla 9 se muestra el costo asociado a la impresión de las piezas en plástico ABS.

Tabla 8. Costo de materiales por dispositivos. (2013)
Fuente: Electrónica Venezuela, Spark Fun Electronics y DigiKey

Descripción	Cantidad	Costo Unidad (\$)	Costo Total (\$)	Costo Unidad (Bs)	Costo Total (Bs)
DemoJM	1	99,00	99,00	N/A	623,70
Ultrasonic Range Finder	4	49,95	199,80	N/A	314,69
Break Away Headers	2	1,50	3,00	N/A	9,45
Tornillos 1/4" (10 pack)	1	1,50	1,50	N/A	9,45
Standoffs Plástico 3/8" (10 pack)	1	2,95	2,95	N/A	18,59
Standoffs Metal 3/8" (10 pack)	1	2,95	2,95	N/A	18,59
Cable control Negro 22AWGxMetro	4	N/A	N/A	8,00	32,00
Cable control Rojo 22AWGxMetro	4	N/A	N/A	8,00	32,00
Lamina Baquelita Perforada Grande	1	N/A	N/A	65,00	65,00
Switch Slide 90 Grados PCB	1	N/A	N/A	7,00	7,00
Condensador 0.33 UF	1	N/A	N/A	1,00	1,00
Condensador 0.1 UF	1	N/A	N/A	1,00	1,00
Regulador Voltaje 5V	1	N/A	N/A	8,00	8,00
Led Verde	1	N/A	N/A	1,00	1,00
Conector Pin 40X1	1	N/A	N/A	6,00	6,00
Pines CWT 0,1	40	N/A	N/A	0,80	32,00
Conector WM8L 90 Grados 8 pines	4	N/A	N/A	6,00	24,00
Conector WF8	8	N/A	N/A	5,00	40,00
Modulo Tarjeta CP2102 USB-Serial	1	N/A	N/A	700,00	700,00
Adaptador de Corriente 12V 1A	1			75,00	75,00
Sub TOTAL					2.018,46

Tabla 9. Costos asociados al uso del rapid prototyping. (2013)
Fuente: Mercado Libre

	Cantidad	Peso (gr) por unidad	Costo por Gramo (Bs/gr)	Costo Total (Bs)
Base Caja	1	142,93	5,00	714,65
Tapa Caja	1	106,61	5,00	533,05
Porta Sensor	4	24,78	5,00	495,60
Sub TOTAL				1.743,30

En la tabla número 10 mostrada a continuación se presenta el costo de materiales y accesorios adicionales necesario para completar el dispositivo.

Tabla 10. Costo de materiales y accesorios adicionales. (2013)

Fuente: Mercadolibre y Electrónica Venezuela,

	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Velcro por metro	4	20,00	80,00
Nivel	4	30,00	120,00
Estaño por rollo	1	65,00	65,00
Tornillos	4	5,00	20,00
Termoencogible por metro	6	15,00	90,00
Total			375,00

Finalmente, en la Tabla 11 se presenta el costo total involucrado en la construcción del prototipo, pero hay que tener en cuenta que para una producción de mayor escala, se pueden lograr ahorros en los mismos.

Tabla 11. Costo totales elaboración dispositivo. (2013)

Fuente: Elaboracion Propia.

	Costo (Bs)
Costo Componentes	2.018,46
Costo Impresión 3D	1.743,30
Costo Materiales	375,00
Total	4.136,76

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Las áreas involucradas en el cálculo de la torsión tibial son la rodilla, y el tobillo ya que son los ejes a partir de los cuales se origina la rotación, y la tibia por ser la que presenta la patología.
- Existen diferentes maneras de realizar el cálculo de la torsión tibial como lo son: los exámenes de imagenología y las pruebas físicas, se llegó a la conclusión de que todas ellas son seguras para la salud, pero que el problema radica en que son muy dependiente de quien realice el examen y con respecto a sus costos, aquellas más precisas son las que poseen un precio más elevado, y no todos los pacientes pueden tener acceso a ellas.
- Se determinó que el dispositivo debía ser efectivo y eficiente al momento de realizar la medición y arrojar los resultados, económico, de fácil instalación y uso para el ortopedista, además de cómodo y poco invasivo para el paciente.
- Para el diseño del dispositivo, se tuvieron en cuenta dos tipos de sensores, y se estudiaron sus características para así obtener varias opciones a la hora de generar el prototipo, los dos diseños preliminares se diferenciaban en que uno utilizaba un sensor ultrasónico, mientras que el otro un sensor láser.
- Se seleccionó el prototipo que utilizaba un sensor ultrasónico debido a que sus características se ajustaban más a lo que buscaban los

ortopedistas, ya que los exámenes debían poder hacerse en diferentes ambientes, y este diseño así lo permitía.

- Se puede concluir con un 95 % de confiabilidad, que el resultado arrojado por el prototipo no difiere de los resultados arrojados por las técnicas ya existentes en el área de medicina, para el cálculo de la torsión tibial.
- El dispositivo a la hora de la realización de las pruebas funcionó de la manera prevista, y el grupo de expertos ortopedistas con los que se trabajó y a los cuales se les aplicó un cuestionario piloto, estuvieron de acuerdo con dicha afirmación.
- Al realizar las pruebas de diagnóstico con el prototipo, en vez de utilizar los exámenes convencionales por imagenología, se puede obtener un ahorro del tiempo de consulta del 28% y esto sin tomar en cuenta el tiempo que el paciente debe esperar para ser atendido, ni el tiempo que debe esperar por los resultados de los exámenes.

6.2 Recomendaciones

6.2.1 Recomendaciones de los autores

- Realizar una validación con una mayor cantidad de pacientes.
- Entrevistar a una mayor cantidad de ortopedistas sobre su opinión respecto al dispositivo.
- Adaptar baterías al dispositivo para evitar la dependencia de electricidad mediante una toma de corriente externa.

- Adaptar una pantalla LCD al dispositivo para evitar la dependencia de una computadora a la hora de visualizar los resultados.
- Utilizar un velcro más fino, para tener mayor visibilidad.
- Utilizar componentes disponibles en el mercado Venezolano.
- Proteger las versiones posteriores del prototipo usando una caja universal y evitar reimpresiones en rapid prototyping, dado el costo que esto implica.
- Usar circuitos dedicados ya que son de menor tamaño y menor costo.
- Realizar los cambios o mejoras propuestas.

Gracias a al cuestionario aplicado a los ortopedistas fue posible, obtener de ellos algunas recomendaciones.

6.2.2 Recomendaciones de los ortopedistas

- Utilizar un sistema que realiza la nivelación del sensor de manera automática.
- Utilizar otro tipo de porta sensores como adhesivos que se puedan colocar en la parte del cuerpo a tratar y estos se enganchen al sensor.
- Utilizar equipos inalámbricos que transmitan la información mediante bluetooth.
- Realizar una breve inducción al ortopedistas sobre cómo funciona el dispositivo y como se debe colocar.
- Estandarizar la distancia a la cual debe estar el paciente con respecto a la superficie contra la cual rebota la señal.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, K. (19 de Junio de 2012). *Instituto Diagnóstico Venecia*. Recuperado el 17 de Octubre de 2012, de <http://idvenecia.com/index.php/component/k2/item/11-%C2%BFqu%C3%A9-es-una-tomograf%C3%ADa?>
- Anónimo. (s.f.). Recuperado el 13 de Abril de 2013, de <http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S0302Medicion.pdf>
- Anónimo. (2007). *The Oncology Institute of Hope and Innovation*. Retrieved 2013 йил 1-Junio from <http://www.theoncologyinstitute.com/?pgid=331&parid=109&rid=109&lang=2>
- Anónimo. (2012 de Abril de 2012). *MedlinePlus*. Recuperado el 17 de Octubre de 2012, de <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/diagnosticimaging.html>
- Anónimo. (10 de Marzo de 2013). *WIKITRÓNICA*. Recuperado el 11 de Enero de 2013, de http://wikitronica.labc.usb.ve/index.php/Freescale_Codewarrior_6.3
- Anónimo. (s.f.). *Anatomia Humana*. Recuperado el 25 de Febrero de 2013, de <http://www.anatomiahumana.ucv.cl/efi/modulo5.html>
- Anónimo. (n.d.). *Definiciones Médicas*. Retrieved 2013 йил 5-Agosto from <http://www.definicionesdemedicina.com/>
- Anónimo. (n.d.). *Doctissimo*. Retrieved 2013 йил 1-Agosto from <http://salud.doctissimo.es/enciclopedia-medica/>

Anónimo. (s.f.). *EcuRed*. Recuperado el 17 de Octubre de 2012, de http://www.ecured.cu/index.php/T%C3%A9cnicas_de_diagn%C3%B3stico_por_imagen

Anónimo. (s.f.). *El Blog de ABR Hispano*. Recuperado el 25 de Enero de 2013

Anónimo. (s.f.). *Espaço da Radiologia*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2012, de <http://leonardoflor.blogspot.com/2011/10/tomografia-computadorizada-helicoidal.html>

Anónimo. (n.d.). *fisicaradiologica.wikispaces*. Retrieved 2012 йил 13-Diciembre from <http://fisicaradiologica.wikispaces.com/HAZ+DE+RAYOS+X+Y+FORMACION+DE+LA+IMAGEN>

Anónimo. (s.f.). *Siemens_México*. Recuperado el 20 de Febrero de 2013, de http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cae.shtml

Asisa. (n.d.). *Atlas del Cuerpo Humano*. Retrieved 2013 йил 5-Junio from <http://asisa.saludalia.es/atlas.aspx>

Balcells, R. (1997). *Autómatas Programables*. Barcelona, España: MARCOMBO, S.A.

Biblioteca Nacional de Medicina de E.E.U.U. (29 de Octubre de 2012). *MedlinePlus*. Recuperado el 1 de Marzo de 2013, de <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/hipinjuriesanddisorders.html>

Bouchet, A., & Cuilleret, J. (1998). *ANATOMÍA descriptiva, topográfica y funcional*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana S.A.

Capuz Rizo, S. (2001). *Introducción al Proyecto de Producción* (Primera edición ed.). México, D.F: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A.

- Celtz, C. (2013). *Artroscopia y Reemplazo Articular*. Recuperado el 25 de Enero de 2013, de <http://www.artroscopia-reemplazoarticular.com/acerca.html>
- Cerrolaza, & Muller. (Noviembre de 2001). *SciELO*. Recuperado el 1 de Febrero de 2013, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0376-723X2001000300003&script=sci_arttext
- Colegio Americano de Radiología y La Asociación de Radiología de Norteamérica . (24 de Abril de 2012). *RadiologyInfo.org*. Recuperado el 17 de Octubre de 2012, de <http://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=bonerad>
- Cuilleret, J. (s.f.). *Jhon Hopkins Medicine*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2012, de <http://www.hopkinschildrens.org/internal-tibial-torsion.aspx>
- Eric. (27 de Febrero de 2008). *Society of Robots*. Recuperado el 15 de Marzo de 2013, de http://www.societyofrobots.com/member_tutorials/node/71
- Field, D. (2004). *ANATOMÍA. Palpación y localización superficial* . Barcelona: Paidotribo.
- Fonseca, X. (1994). *Las medidas de una casa*. Árbol Editorial.
- Gascó, P. J. (s.f.). *Deformidades axiales y rotacionales de los miembros inferiores*. Recuperado el 13 de Abril de 2013, de <http://centros.uv.es/web/departamentos/D40/data/informacion/E125/PDF784.pdf>
- Gutiérrez, M. A. (2000). *Biomecánica: la física y la fisiología*. Madrid: EBCOMP, S.A.
- Hernández, A. (2006). *Diseño de dispositivos médicos*. Retrieved 2013 йил 25- Agosto from http://www.elhospital.com/eh/secciones/EH/ES/MAIN/IN/ESTUDIOS_CAS/O/doc_90832_HTML.html?idDocumento=90832

- Jara, J. (n.d.). *Deformidades Torsionales en Miembros Inferiores*. Retrieved 2013 йил 17-Febrero from <http://es.scribd.com/doc/79047969/TRABAJO-DE-POSTURALES>
- Kalpakkian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Mexico: Prentice_Halls Inc.
- Londeau, R. (2007). *Elaboracion de Trabajo de Investigacion*. Caracas: ALFA.
- Marrero, R., & Rull, I. (2005). *Biomecánica clínica de los tejidos y las articulaciones del aparato locomotor* (Segunda edición ed.). Barcelona: Masson, S.A.
- Massa, G. L. (s.f.). *enplenitud.com*. Recuperado el 13 de Febrero de 2013, de <http://www.enplenitud.com/crm-como-identificar-y-satisfacer-las-necesidades-de-los-clientes.html>
- Mioni, R. (10 de Febrero de 2012). *Sistemas de engenharia*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2012, de <http://sistemasdeengenharia.com.br/2012/02/voce-sabe-o-que-e-cad-cae-cam/>
- Mohammad, T. (2009). *World Academy of Science, Engineering and Technology*. Recuperado el 25 de Marzo de 2013, de <http://www.waset.org/journals/waset/v27/v27-51.pdf>
- Moncayo, D. R. (2010-2013). *Centro de Ecografías ECOMEDICA*. Recuperado el 17 de Octubre de 2012, de <http://www.ecomedica.med.ec/para-pacientes/estudios-ecograficos/3-que-es-la-ecografia>
- Mooere, K., & Agur, A. (2002). *Fundamentos de anatomía: con orientación clínica* (Segunda edición ed.). Montevideo: Editorial Médica Panamericana.
- Moore, K., & Dalley, A. (2006). *Anatomía: con orientación clínica* (Quinta edición ed.). Madrid: Editorial Medica panamericana.

Muñoz, C. (1998). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Edo de México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

PTC, C. P. (2006). *Verificacuión y Validación*. Retrieved 2013 йил 1-Septiembre from http://es.ptc.com/WCMS/files/43562/es/2089_VV_RM_TS_ES.pdf

Quiñones, I. (n.d.). *La Validación de equipos médicos una demostración se seguridad y eficacia*. Retrieved 2013 йил 23-Agosto from <http://www.uh.cu/centros/biomaat/Congresos/biomaat99/PIRA1.pdf>

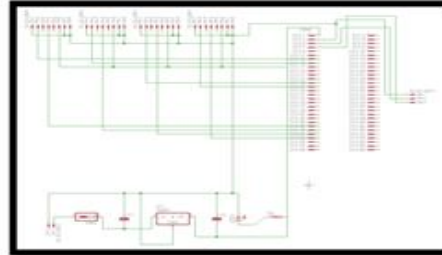
RAE. (n.d.). *Real Academia Española*. Retrieved 2013 йил 13-Julio from <http://www.rae.es/RAE/Noticias.nsf/Home?ReadForm>

Romeva, C. R. (2002). *Diseño Concurrente* (Primera edición ed.). Barcelona: CPET.

Schottelius, B. (1975). *Fisiología*. D.F México: iNTERAMERICANA.

ANEXOS

Haciendo uso de un programa CAD (Eagle), se realizó el esquemático del circuito, de igual manera también se rediseñó el layout de los componentes de forma tal que se pudiera minimizar lo más posible el tamaño del mismo.



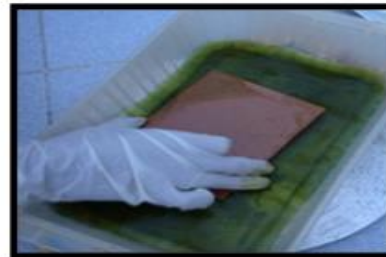
Una vez finalizado el diseño en CAD, se procedió a realizar la impresión del mismo con una impresora de tóner en una hoja transfer, con la finalidad de realizar la transferencia de este a la baquelita.



Para realizar la transferencia se requirió del uso de una plancha casera. Se calentó durante un par de minutos la superficie del papel transfer mientras se hacía presión sobre la baquelita. Esto permitió que la tinta se desplazara desde el papel transfer hacia la baquelita.



Una vez finalizado el proceso de transferencia, se procedió a realizar la quema del circuito. Esto implica realizar un ataque químico a la baquelita en una solución constituida por ácido clorhídrico y agua oxigenada. La finalidad de esto es remover el cobre excedente, y que solo quede el cobre necesario.



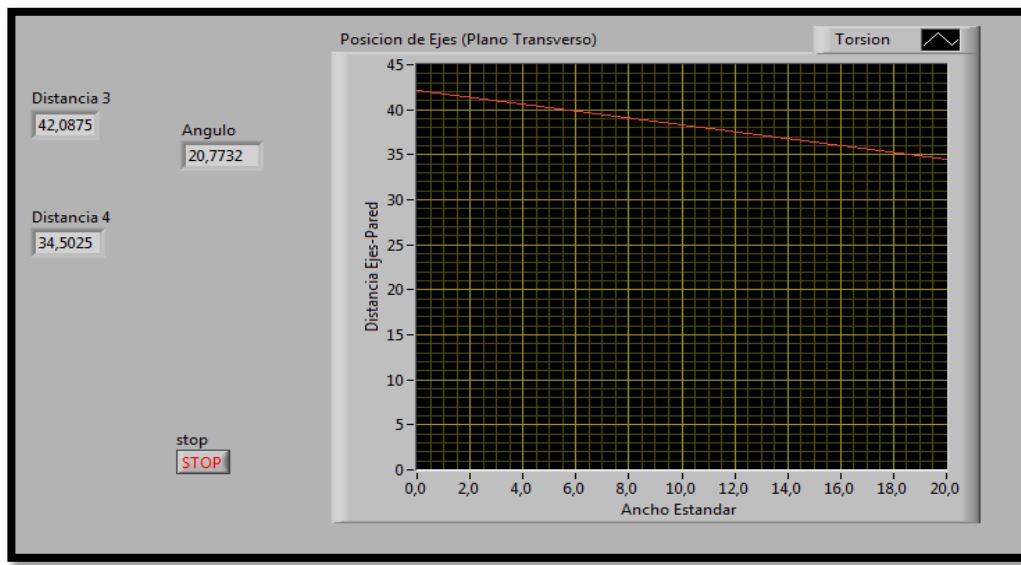
Por último, se lija la superficie para descubrir el cobre restante que vendrá a convertirse en las pistas del circuito eléctrico final.



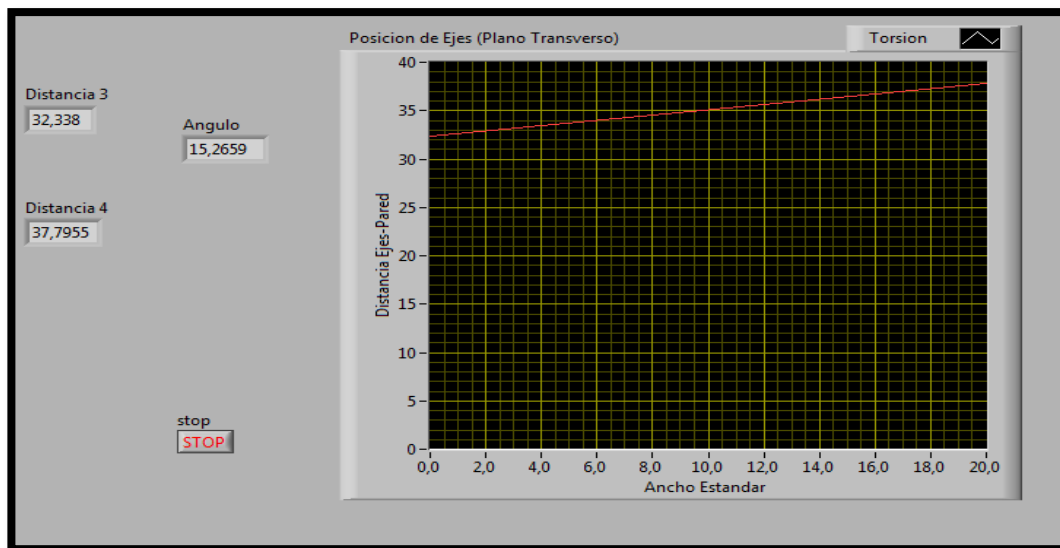
Anexo 1. Pasos para la creación de un circuito impreso
Fuente: Elaboración propia

	Ortopedista 1	Ortopedista 2	Ortopedista 3	Ortopedista 4	Ortopedista 5	Ortopedista 6
¿Considera usted que al utilizar el dispositivo por primera vez, su manejo fue sencillo al ubicarlo en la parte del cuerpo a tratar?	Si	Si	Si	No	Si	Si
¿Estaría usted dispuesto a probar el dispositivo en sus pacientes, a la hora de realizar un diagnóstico?	Si	Si	Si	Si	Si	Si
¿Considera usted que la tecnología utilizada en el dispositivo (digital) es de fácil alcance y está actualizada?	Si	Si	Si	No	Si	Si
¿Considera usted que los resultados arrojados por el dispositivo fueron sencillos de leer y de interpretar?	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Recomendaciones	Utilizar equipos inalámbricos para transmitir los datos del sensor	Utilizar un nivelador automático	Utilizar chupones como sistema de ajuste al tobillo	Le faltan detalles para convencer a los demás ortopedistas	Realizar una pequeña inducción a los ortopedistas	Estandarizar la distancia a la que estará la superficie

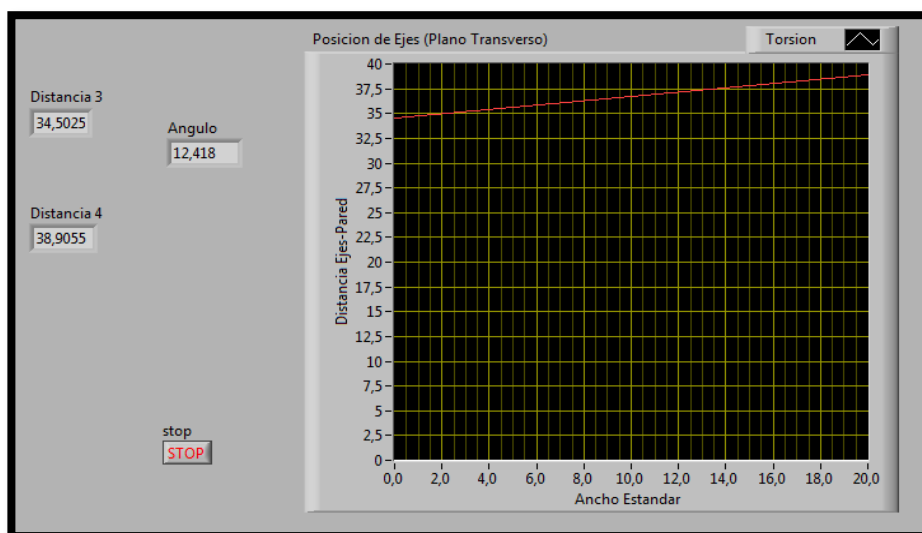
Anexo 2. Resultado del cuestionario realizado a los ortopedistas
 Fuente: Según expertos ortopedistas



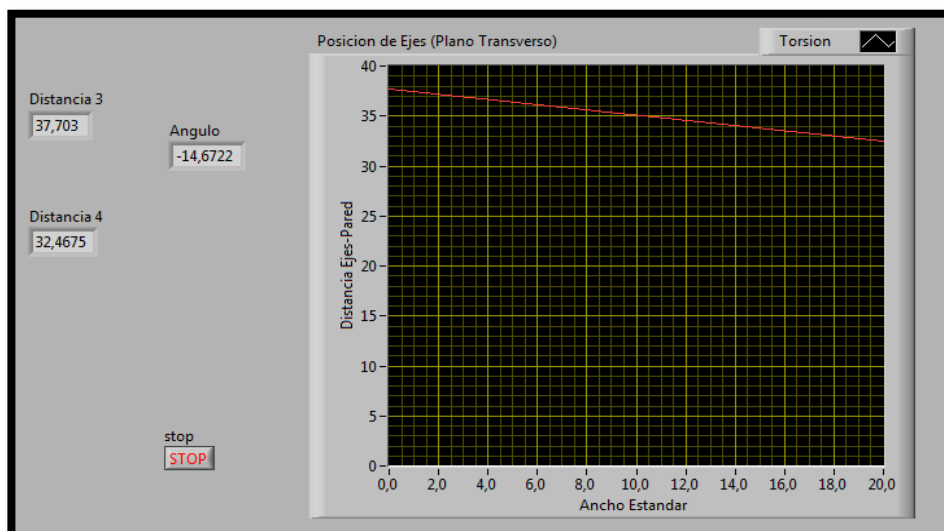
Anexo 3. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 1
Fuente: Elaboración propia



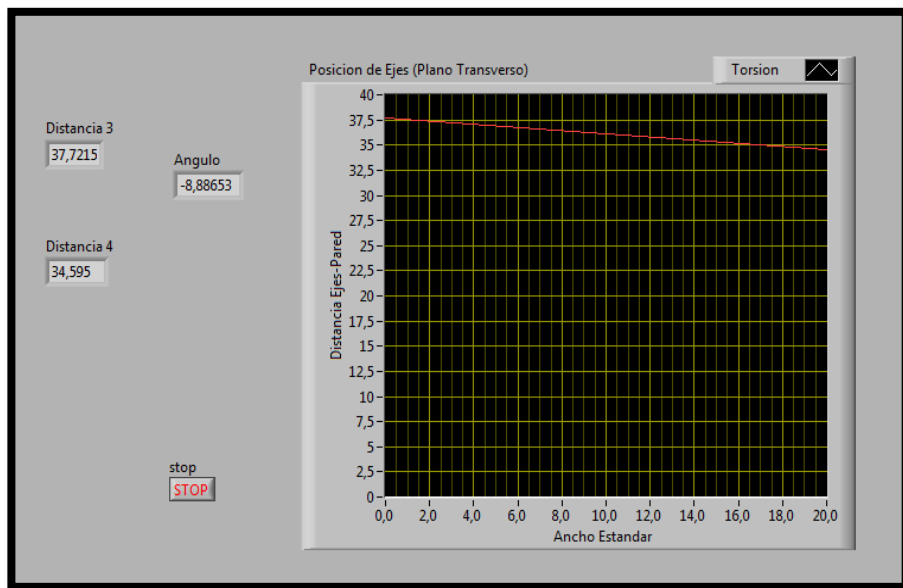
Anexo 4. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 2
Fuente: Elaboración propia



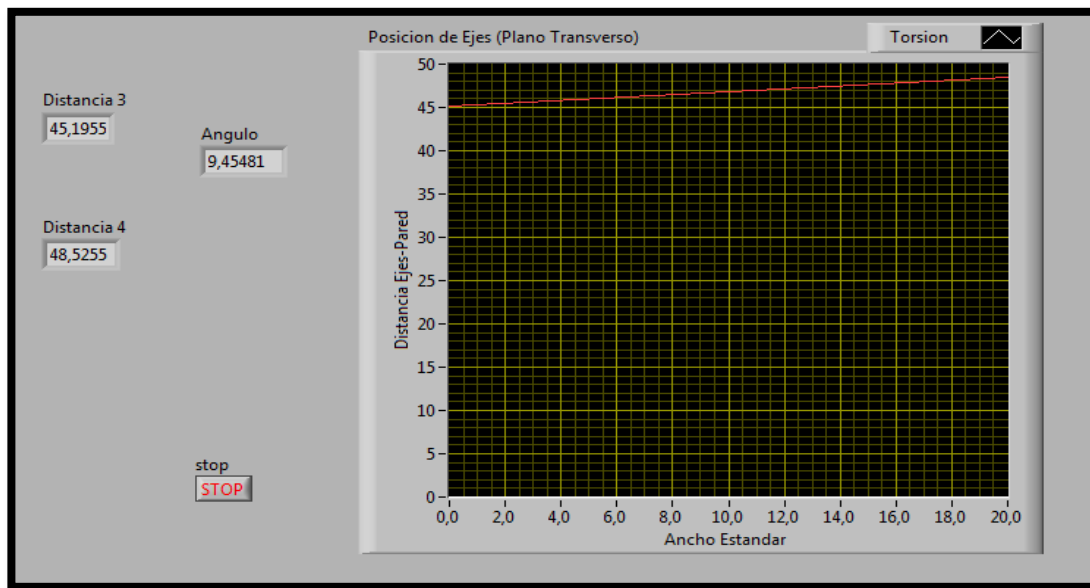
Anexo 5. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 3
Fuente: Elaboración propia



Anexo 6. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 4
Fuente: Elaboración propia



Anexo 7. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 5
Fuente: Elaboración propia



Anexo 8. Captura de pantalla del ángulo de torsión del paciente 6
Fuente: Elaboración propia

	Muslo Pie X1	Prototipo X4	Diferencia D=X1-X4
Paciente 1	20	20,77	-0,77
Paciente 2	18	15,26	2,74
Paciente 3	12	12,41	-0,41
Paciente 4	14	14,67	-0,67
Paciente 5	8	8,88	-0,88
Paciente 6	9	9,45	-0,45
Media de D	-0,073		
Cuasi Desviación	1,390		
T student	0,129		
P valor	0,902		

Anexo 9. Resultado obtenido de la prueba de hipótesis para el método muslo pie.
 Fuente: Elaboración propia

	Staheli X2	Prototipo X4	Diferencia D=X2-X4
Paciente 1	17,4	20,77	-3,37
Paciente 2	15,1	15,26	-0,16
Paciente 3	12,2	12,41	-0,21
Paciente 4	13,7	14,67	-0,97
Paciente 5	6,6	8,88	-2,28
Paciente 6	11,3	9,45	1,85
Media de D	-0,856		
Cuasi Desviación	1,821		
T student	1,152		
P valor	0,301		

Anexo 10. Resultado obtenido de la prueba de hipótesis para el método de Staheli
 Fuente: Elaboración propia

	Muslo Pie X3	Prototipo X4	Diferencia D=X3-X4
Paciente 1	20,5	20,77	-0,27
Paciente 2	18,5	15,26	3,24
Paciente 3	11,8	12,41	-0,61
Paciente 4	13,5	14,67	-1,17
Paciente 5	9,1	8,88	0,22
Paciente 6	11,1	9,45	1,65
Media de D	0,51		
Cuasi Desviación	1,644		
T student	0,759		
P valor	0,481		

Anexo 11. Resultado obtenido de la prueba de hipótesis para la tomografía
Fuente: Elaboración propia