

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PORTÁTIL UTILIZADO EN  
ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN A PARTIR DEL ANÁLISIS  
BIOMECÁNICO DEL CODO.**

**MARISOL JULIETH VANEGAS DUARTE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA  
2008**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PORTÁTIL UTILIZADO EN  
ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN A PARTIR DEL ANÁLISIS  
BIOMECÁNICO DEL CODO.**

**MARISOL JULIETH VANEGAS DUARTE**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Diseñadora Industrial**

**Directora**

**MARIA FERNANDA MARADEI  
Diseñadora Industrial**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA  
2008**

## RESUMEN

**Título\***: Diseño y construcción de un sistema portátil utilizado en alternativas de rehabilitación a partir del análisis biomecánico del codo.

**Autor:** Marisol Julieth Vanegas Duarte\*\*

**Palabras clave:** Articulación, medición, ángulo, codo, electrónica, traumatismo, Biomecánica, paciente

Cada día los mecanismos de medición que utilizan parámetros característicos de los movimientos en las articulaciones van ingresando al mercado actual como una herramienta profesional que facilita un plan de recuperación exitoso.

Es así, como el desarrollo en el presente trabajo de grado comprende el estudio de un sistema hombre - máquina - entorno, en el que se fusiona el diseño, la electrónica y la medicina, alrededor de la articulación del codo. La intervención del diseño industrial en este proyecto nos da una clara idea de la importancia del diseño como factor diferenciador y como este se ve reflejado en el desarrollo de productos de alta calidad, dirigidos hacia un mercado meta, en donde siempre esta presente el usuario.

De esta manera, ARCO se ubica como un sistema portátil de medición angular en la rehabilitación de pacientes con traumatismos de codo, ofreciendo la posibilidad de un registro y control del tratamiento a través del comportamiento de la articulación, permitiendo conocer el progreso en la terapia y a la vez tecnificando el proceso de medición angular.

Finalmente, cuando se logra una óptima relación entre los factores determinantes y las cualidades formales, funcionales, ergonómicas, productivas, económicas, entre otras, se logra una ayuda técnica que permite al paciente tener una rehabilitación más llevadera y controlada, que a su vez favorece la investigación en biomecánica, ergonomía e ingeniería médica. Luego, se busca entonces documentar el proceso de diseño en una

---

\* Proyecto de grado

\*\*Facultad de ciencias Físico – Mecánicas, Escuela de Diseño Industrial.  
Directora: D.I. María Fernanda Maradei

## ABSTRACT

**Title\***: Design and construction of a portable system used in treatment choices from the biomechanical elbow analysis.

**Author:** Marisol Julieth Vanegas Duarte\*\*

**Keywords:** Articulation, measurement, angle, elbow, electronic, trauma, biomechanical, patient.

Each day the measurement devices uses several parameters of the movement in the articulation, these devices come into the current market like a professional tool to make easy the successful treatment plan.

According to this, the development in this degree work includes a man-machine-environment system study, which it's integrated the medicine, electronic and design areas, around the elbow articulation. The intervention of industrial design in this project gives us a clear idea of the importance of design as a differentiating factor and as this is reflected in the development of high quality products, directed towards a target market, where the user is always present.

By the way, "ARCO" is defined like an angle measurement portable system used in treatment of patients with elbow trauma, it offers the treatment control and register of the treatment trough by the articulation performance, it allows to know the therapy progress and resolves possible complications at same time.

Finally, when is accomplished an optimal relationship between the determination factors and the formal, functional, ergonomic, productive and economic qualities; it's accomplished a technical help that allows to the patient to obtain a better and reliable treatment. At same time improve the biomechanical investigation in ergonomics and medical technology. Then, it search the design process documentary into an experience which contributes to build knowledge of future investigations into the industrial design area.

---

\* Grade Proyect

\*\* Facultad de ciencias Físico – Mecánicas, Escuela de Diseño Industrial.  
Directora: D.I. María Fernanda Maradei

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
TABLA DE CONTENIDO	2
LISTA DE FIGURAS	1
LISTA DE TABLAS	1
1. ESTRUCTURACIÓN	2
1.1. RESUMEN EJECUTIVO	2
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3.1. Definición del problema	4
1.3.2. Justificación	5
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. METODOLOGÍA	6
1.5.1. Análisis	6
1.5.2. Diseño	7
1.5.3. Construcción	7
1.5.4. Informe	8
1.5.5. Presentación	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. ERGONOMÍA	9
2.1.1. Ergonomía del producto	9
2.2. ANATOMÍA	10
2.3. ANTROPOMETRÍA	11
2.4. BIOMECÁNICA Y FISIOLOGÍA	12
2.5. EL CODO	13
2.5.1. Movimientos del Codo	14
2.6. MEDICIÓN DE ÁNGULOS Y SUS APLICACIONES	16
2.6.1. Aplicaciones en la Medicina	17
2.6.2. Métodos de medición	18
2.6.2.1. Goniómetro	18
2.6.2.2. Flexsensor	19
2.6.3. Acelerómetros	19
2.6.3.1. Acelerómetros y medición angular	19
2.6.4. Sensores inalámbricos	23
3. DESARROLLO PROYECTUAL	24
3.1. INVESTIGACIÓN	24
3.1.1. ANALISIS DE PRODUCTOS EXISTENTES	24
3.1.1.1. EFMO	24
3.1.1.2. INSTITUTO TÉCNICO ORTOPÉDICO	25

3.1.1.3.	AUXIPLAST	28
3.1.1.4.	MEDI	28
3.1.1.5.	PEREZ PRIM	29
3.1.1.6.	TISS CARE	29
3.1.1.7.	FARMATOPEDIA PEÑALVER	30
3.1.1.8.	ORTOPEDIA SIMONYAN	31
3.1.2.	ANÁLISIS DE MERCADO	33
3.1.2.1.	Centros de terapia física	33
3.1.2.2.	EPS	33
3.1.2.3.	Hospitales y clínicas	33
3.1.2.4.	Universidades	33
3.1.2.5.	Profesionales y estudiantes	33
3.1.3.	ANÁLISIS DE FACTORES TÉCNICO PRODUCTIVOS	34
3.1.3.1.	Kit de desarrollo Sun Spot	35
3.1.3.2.	El Acelerómetro	37
3.1.4.	PERFIL DE USUARIO	38
3.1.4.1.	Tipo de usuario	38
3.1.4.2.	Actividad	39
3.1.5.	ANALISIS DE MATERIALES	40
3.1.5.1.	NEOPRENO:	40
3.1.5.2.	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD:	40
3.1.5.3.	POLIAMIDA:	40
3.1.5.4.	POLIMETILMETACRILATO:	41
3.1.6.	ANÁLISIS DE LA ARTICULACIÓN	42
3.1.6.1.	Examen del codo	42
3.2.	VOZ DEL CLIENTE	43
3.2.1.	Encuesta	44
3.2.2.	Los ¿Qué?	49
3.2.3.	Los ¿Cómo?	49
3.2.4.	MATRIZ DE CALIDAD	50
3.3.	REQUERIMIENTOS	51
3.3.1.	Formales	51
3.3.2.	De función y usabilidad	51
3.3.3.	Estructurales	52
3.3.4.	Técnico Productivo	52
3.3.5.	Ergonómicos	52
3.3.6.	Económicos y de mercado	53
3.4.	DESARROLLO DE ALTERNATIVAS	53
3.4.1.	Alternativa 1	54
3.4.2.	Alternativa 2	56
3.4.3.	Alternativa 3	58
3.5.	COMPROBACIONES	59
3.5.1.	Comprobación Técnica	59
3.5.2.	Experimentación y simulación ergonómica para usuario tipo B	63
3.5.3.	Secuencia de uso	72

3.6.	DESARROLLO DE INTERFAZ GRÁFICA	75
4.	OBJETO FINAL – PRODUCTO	79
4.1.	Tecnología Sun Microsystems	79
4.2.	Brazalete ARCO	82
4.3.	Interfaz gráfica	89
	BIBLIOGRAFÍA	91
	GLOSARIO	93
	ANEXO A	95
	ANEXO B	98
	ANEXO C	100
	ANEXO D	102
	ANEXO E	106
	ANEXO F	108

## AGRADECIMIENTOS A....

Dios que siempre ha sido muy bueno conmigo...  
Mi agüelita que me cuida desde el cielo...  
Mi padre por su cariño y paciencia...  
Mi madre por su entrega incondicional...  
Rafa por su apoyo y ejemplo...  
Mis tías, mis primos y familiares por quererme...  
My metal lord por ser el arquitecto de mi universo...  
Las niñas del cole por una sincera amistad...  
Los amig@s de la "U" por los grandes momentos...  
Los profes por los pocos cincos y los muchos unos...  
Maria Fda por todas sus enseñanzas...  
Profesor Homero y el Grupo RadioGis...  
Los electrónicos y médicos por su colaboración...

## LISTA DE FIGURAS

<a href="#">Figura 1. Esquema que muestra los principales términos de posición y dirección, y los principales planos de referencia del cuerpo.</a>	10
<a href="#">Figura 2. Esquema de un corte sagital a través de la porción húmero-cubital de la articulación del codo. Se hace exagerado la amplitud de la cavidad articular.</a>	13
<a href="#">Figura 3. Corte frontal a través de la articulación del codo. Se ha exagerado la amplitud de la cavidad articular.</a>	14
<a href="#">Figura 4. Ligamentos del codo derecho</a>	14
<a href="#">Figura 5. Movimiento flexión-extensión, arco de movimiento cercano a los 145°. Fuente: Autor.</a>	15
<a href="#">Figura 6. Movimiento supinación-pronación del brazo, el arco de movimiento es de aproximadamente 160°. Fuente: Autor.</a>	15
<a href="#">Figura 7. Tipo de grados de libertad en articulaciones.</a>	16
<a href="#">Figura 8. El codo.</a>	17
<a href="#">Figura 9. Goniómetro: (a) Regleta mecánica (b) Mecánico digital</a>	18
<a href="#">Figura 10. El flexsensor</a>	19
<a href="#">Figura 11. Sistema de acelerómetros ubicados alrededor del codo</a>	20
<a href="#">Figura 12. Diagrama vectorial de la aceleración y sus proyecciones. Fuente: Autor.</a>	21
<a href="#">Figura 13. De izquierda a derecha: Cubidyn, codera de hiperextensión, ortesis articulada de brazo modelo universal.</a>	24
<a href="#">Figura 14. De izquierda a derecha: Brazaletes para epicondilitis neopreno, brazaletes para epicondilitis, codera de neopreno, Elbow Ranger, Poliquen, Brace articulado.</a>	26
<a href="#">Figura 15. SLING Inmovilizador de hombro</a>	28
<a href="#">Figura 16. De izquierda a derecha: SAK, SAS 15, EPICO ROM II</a>	28
<a href="#">Figura 17. Ortesis para fractura de brazo D.R.I.</a>	29
<a href="#">Figura 18. Ortesis de codo con limitación de flexo-extensión</a>	30
<a href="#">Figura 19. De izquierda a derecha: Ortesis de articulación de codo, codera almohadillada de neopreno, codera de epicondilitis, ortesis articulada de codo con regulación flexo extensión</a>	30
<a href="#">Figura 20. Ortesis de codo - ROM</a>	31
<a href="#">Figura 21. Configuración de la tarjeta principal de un spot</a>	37
<a href="#">Figura 22. Direcciones de los ejes x, y, z del acelerómetro LIS3L02AQ3 en un SPOT.</a>	37
<a href="#">Figura 23. Articulación del codo</a>	42
<a href="#">Figura 24. Examen en el codo. Fuente: <a href="http://www.corbis.com">www.corbis.com</a></a>	42
<a href="#">Figura 25. En el brazo (acromion – epicóndilo) y del antebrazo (epicóndilo y estiloides radial). Fuente: <a href="http://www.fisiobrain.com">www.fisiobrain.com</a></a>	43
<a href="#">Figura 26. . Índice de lesiones traumáticas del codo. Fuente: Autor.</a>	45

<a href="#"><u>Figura 27. Identificación de grupo poblacional más constante con lesión en consultorios. Fuente: Autor</u></a>	46
<a href="#"><u>Figura 28. Frecuencia de lesiones en el consultorio. Fuente: Autor.</u></a>	46
<a href="#"><u>Figura 29. Duración de las terapias que realizan las fisioterapeutas. Fuente: Autor.</u></a>	46
<a href="#"><u>Figura 30. Productos similares disponibles. Fuente: Autor.</u></a>	47
<a href="#"><u>Figura 31. Posible incursión en el mercado. Fuente: Autor.</u></a>	47
<a href="#"><u>Figura 32. Posibilidades de adaptación. Fuente: Autor.</u></a>	48
<a href="#"><u>Figura 33. Importancia de Características físicas. Fuente: Autor.</u></a>	48
<a href="#"><u>Figura 34. Aspectos Funcionales. Fuente: Autor.</u></a>	48
<a href="#"><u>Figura 35. Alternativa 1. Fuente: Autor.</u></a>	54
<a href="#"><u>Figura 36. Alternativa 1, en moviendo de flexo – extensión. Fuente: Autor</u></a>	55
<a href="#"><u>Figura 37. Alternativa 2. Fuente: Autor.</u></a>	56
<a href="#"><u>Figura 38. Alternativa 2 en movimiento de flexo extensión. Fuente: Autor.</u></a>	57
<a href="#"><u>Figura 39. Alternativa 3. Fuente: Autor</u></a>	58
<a href="#"><u>Figura 40. Componentes utilizados en la comprobación. Fuente: Autor</u></a>	59
<a href="#"><u>Figura 41. Disposiciones de spots para mediciones de ángulos. Fuente: Autor.</u></a>	59
<a href="#"><u>Figura 42. Ubicación de los spots en el brazo. Fuente: Autor</u></a>	60
<a href="#"><u>Figura 43. Movimiento de Flexión. Fuente: Autor.</u></a>	60
<a href="#"><u>Figura 44. Pantalla de visualización del software de la aplicación. Fuente: Autor</u></a>	61
<a href="#"><u>Figura 45. Gráficas de movimientos de flexo – extensión. Fuente: Autor</u></a>	62
<a href="#"><u>Figura 46. Fotografías de los modelos 1 y 2. Fuente: Autor</u></a>	64
<a href="#"><u>Figura 47. Fotografía modelo 3. Fuente: Autor</u></a>	65
<a href="#"><u>Figura 48. Movimiento de flexo- extensión modelo 1</u></a>	67
<a href="#"><u>Figura 49. Movimiento de flexión en modelo 2</u></a>	68
<a href="#"><u>Figura 50. Esquematización de secuencia de uso. Fuente: Autor</u></a>	73
<a href="#"><u>Figura 51. Esquematización de secuencia de uso. Fuente: Autor</u></a>	74
<a href="#"><u>Figura 52. Propuesta de entorno 1. Fuente: Autor</u></a>	77
<a href="#"><u>Figura 53. Propuesta de entorno No. 2. Fuente: Autor.</u></a>	77
<a href="#"><u>Figura 54. Propuesta de entorno tipo 3. Fuente: Autor.</u></a>	78
<a href="#"><u>Figura 55. Propuesta de entorno tipo 4. Fuente: Autor</u></a>	78
<a href="#"><u>Figura 56. Ventana principal del programa Netbeans</u></a>	80
<a href="#"><u>Figura 57. Ventana del Netbeans para abrir y cargar proyectos</u></a>	80
<a href="#"><u>Figura 58. Ventanas de carga y ejecución del programa, anteriormente cargado en el netbeans.</u></a>	81
<a href="#"><u>Figura 59. Interfaz gráfica activada en recolección de datos</u></a>	81
<a href="#"><u>Figura 60. Propuesta final ARCO: 1) Bandas 2) Distancias 3) Contenedor 4) y 5) Sujeción</u></a>	82
<a href="#"><u>Figura 61. Fracturas supra-condíleas del húmero:</u></a>	103
<a href="#"><u>Figura 62. Tríceps braquial</u></a>	104
<a href="#"><u>Figura 63. Valoración de la extensión del codo, de izquierda a derecha en la figura: normal y buena, regular, mala y vestigios – cero.</u></a>	104
<a href="#"><u>Figura 64. Flexión del codo: 1) Bíceps braquial, 2) Braquial anterior</u></a>	105

Figura 65. Valoración de la Flexión en el codo: de izquierda a derecha en la figura: normal y buena, regular, mala y vestigios – cero. 105

## LISTA DE TABLAS

<u>Tabla 1. Movimientos existentes en los planos y ejes del cuerpo humano</u>	11
<u>Tabla 2. Parámetros antropométricos femeninos dimensiones del codo[30]</u>	12
<u>Tabla 3. Parámetros antropométricos masculinos para el codo[30]</u>	12
<u>Tabla 4. Resultado de aplicación de fórmula para mediciones reales</u>	22
<u>Tabla 5. Perfil de usuario primario tipo A</u>	39
<u>Tabla 6. Perfil de usuario primario tipo B</u>	39
<b>Tabla 7. Características del objeto</b>	49
<u>Tabla 8. Parámetros de diseño a trabajar</u>	49
<u>Tabla 9. Matriz de calidad. Fuente: Autor.</u>	50
<u>Tabla 10. Cédula Antropométrica y observaciones</u>	65
<u>Tabla 11. Esquema de programación en JAVA.</u>	79



# 1. ESTRUCTURACIÓN

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

Uno de los campos de desempeño del Diseñador Industrial es desarrollar nuevos productos como coordinador o participante de grupos interdisciplinarios; la idea al emprender este proyecto es demostrar como en un esfuerzo conjunto el diseño y la electrónica se pueden fusionar para obtener grandes resultados en Ergonomía, Bioingeniería e Ingeniería médica.

El proceso creativo en el proyecto permite diseñar y construir un sistema portátil que ha de utilizarse en alternativas de rehabilitación partiendo del análisis biomecánico del codo. Este sistema, determinará el ángulo de la articulación, donde los dispositivos (sensores) se encuentran sobre el objeto de estudio y la información viaja de forma inalámbrica para ser procesada y analizada en un terminal móvil, el cual puede ser una PDA o un computador portátil.

En la primera parte, se realiza una definición del problema, un planteamiento de objetivos, una investigación técnica y teórica sobre las soluciones existentes y una recopilación de datos por medio de entrevistas y encuestas. Luego, inicia el proceso de diseño con la aplicación del QFD para obtener los argumentos de diseño, y poder crear los bocetos, alternativas y modelos. Posteriormente, vendrá la elección de la alternativa, el desarrollo del modelo funcional y los planos técnicos. Finalmente, la construcción del modelo permitirá el estudio, análisis y evaluación del comportamiento para así llegar a una propuesta final funcional mejorada.

## 2. ANTECEDENTES

En la rehabilitación de articulaciones se utilizan ortesis, para corregir una deformidad, implementar funcionalidad o inmovilizar el miembro afectado. Dependiendo de esto puede ser una ortesis dinámica o estática. Así mismo, existen dos tipos de rehabilitación por parte del paciente, la activa y la pasiva.

La rehabilitación pasiva consiste en la realización de movimientos de las articulaciones afectadas donde no interviene la acción del paciente pero sí la del profesional. Con ello, se trata de reducir la generación de una atrofia muscular y evitar problemas mayores en las articulaciones. Las técnicas de rehabilitación pasiva sólo se deben utilizar como auxiliares y nunca como sustitutas del tratamiento activo. Así mismo, la rehabilitación activa es una

serie de ejercicios que el paciente debe hacer sin que exista algún tipo de ayuda por parte de una persona o máquina.[9]

Paralelamente, se han desarrollado dispositivos para rehabilitación activa combinada. Por ejemplo, en la conferencia internacional de rehabilitación robótica del año 2005 se presentó un mecanismo de compensación de gravedad motorizada para rehabilitación activa en miembro superior, el cual consiste en un sistema a través de un juego virtual, en donde el paciente debe mover el brazo de acuerdo a las instrucciones del programa y un aparato mecánico equipado con servomotores le ayudan a empujar el brazo para cumplir la tarea según la exigencia y controlado por un lazo de realimentación.

Del mismo modo, en Colombia se han utilizado instrumentos como el fijador externo articulado para traumas severos de codo, con el cual se obtuvieron resultados que evitan los problemas que causan los yesos o los fijadores no articulados.[2]

Adicionalmente, se han realizado esfuerzos por crear mecanismos de medición de parámetros que caractericen el movimiento de la articulación. El procedimiento básico de toma de medidas se centra en la obtención del ángulo para el arco de movimiento. El elemento más sencillo empleado para medir manualmente el ángulo es el goniómetro. Sin embargo, este instrumento no cumple con todas las necesidades de precisión y funcionalidad. Por esta razón, se han realizando investigaciones en la implementación de nuevas herramientas electromecánicas. Así como, en el desarrollo de algoritmos y planteamientos matemáticos para la tecnificación en el proceso de medición angular en la articulación.[9]

Un método empleado para obtener el ángulo de arco en movimiento es a través de dos acelerómetros ubicados cerca de la articulación, donde el planteamiento matemático se hace a través de ecuaciones matriciales y trigonométricas. Esta técnica, sirvió de soporte para desarrollar trabajos más avanzados. Paralelamente, se desarrollaron técnicas que combinaban acelerómetros con giroscopios y posteriormente en algunos estudios se implementó el uso del flexsensor.

Las técnicas que usan acelerómetros, favorecen el desarrollo, la investigación y la aplicación en personas con parálisis por apoplejía, enfermedades de Parkinson, análisis de marcha, desordenes musculares y en general, llevar un seguimiento al progreso de rehabilitación. La mayoría de estos proyectos buscan crear dispositivos portátiles con resultados cuantitativos precisos y exactos, los cuales permitan comprobar hipótesis o realizar estudios estadísticos de patrones de movimiento normales. Por ejemplo, para la medición de los ángulos de las tres articulaciones del miembro inferior se emplearon acelerómetros en un sistema portátil de análisis cinemático. El cual representa gráficamente el ciclo de marcha.[16],[17].

Llevando la aplicación a un entorno más avanzado, se tienen estudios realizados sobre acelerómetros y cinemática humana dentro de un marco de

red de sensores inalámbricos. Cuyo objetivo es realizar una investigación, donde se propone utilizar las ventajas de la red de sensores inalámbricos en el campo del registro del movimiento humano, abordando temas como rehabilitación médica y realidad virtual[5]. Del mismo modo, se implementó una red de sensores livianos y portátiles con transmisión bluetooth dentro de los que se destacan sensores de análisis de movimiento para enfermedades como el Parkinson y debilidad causada por derrame cerebral[6].

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1. Definición del problema**

El codo después del hombro es la articulación con mayor incidencia de luxaciones; en gran número de ocasiones las fracturas, adquieren una extrema gravedad, creando problemas terapéuticos muy difíciles de resolver. La razón de esto, es que el codo, entre todas las articulaciones es una de las más sensibles a los efectos de los traumatismos; aun la contusión más simple lleva en sí el inminente riesgo de una rigidez incapacitante, si el tratamiento no es el correcto.

Es de vital importancia el seguimiento y control del profesional en cuanto al tratamiento dado a la lesión, pues es ahí donde se ve el progreso del paciente y actualmente, solo se tiene el goniómetro como elemento de medición angular. Entre los principales inconvenientes se observan:

- La falta de precisión en el ángulo
- La toma de datos de forma estática
- Lentitud en el proceso de medición

Adicionalmente, la falta de motivación del paciente para cumplir una terapia hace de éste un proceso lento y difícil.

El codo es una articulación poco agradecida a la rehabilitación sobre todo cuando esta se inicia en una fase tardía, pues presenta tendencias a fibrosis y rigideces.

Luego no es fácil establecer la duración de la fase de recuperación en una lesión determinada, pero la interpretación de los resultados debe ser cautelosa, y hoy en día los pocos métodos de valoración comprensivos en la artroplastia u ortesis de codo no han sido aplicados en los traumatismos.

Las lesiones traumáticas en el codo suponen el 11.3% de todas las lesiones producidas en el ámbito laboral y del accidental, se pueden presentar tanto en adolescentes, en adultos jóvenes o en niños, teniendo en cuenta que a mayor edad, el proceso de recuperación será progresivamente más difícil.

Finalmente, el tratamiento en estas lesiones va desde una inmovilización corta de siete (7) días con inicio rápido de fisioterapia, o inmovilización con férula de tres (3), cuatro (4) o seis (6) semanas.

## **2. Justificación**

La idea es diseñar y construir un sistema portátil de medición que permita un ejercicio de rehabilitación continuo, que facilite realizar con mayor frecuencia la rutina recomendada por el especialista para obtener un registro acumulado del comportamiento de la articulación que posibilite un posterior análisis.

El proyecto aquí propuesto busca ayudar al paciente a tener una rehabilitación más llevadera y agradable, buscando la posibilidad de ejecutarla desde su entorno familiar.

De esta manera, el sistema propuesto minimiza costos y tiempo en lo referente al transporte (en algunos casos). El ser portátil y práctico permite desarrollar una buena interfaz paciente – dispositivo, además de convertirse en una herramienta del profesional.

El codo se encuentra entre las más desfavorecidas en cuanto a la moderna tecnología reparadora quirúrgica (artroscopias, artroplastias, etc.). Así mismo, las mediciones de los resultados en traumatismos del codo, carecen de la sofisticación que presentan los sistemas de valoración que han sido desarrollados para algunas técnicas ortopédicas en cadera o rodilla.

Para terminar, la idea es ofrecer un sistema de medición para la rehabilitación de pacientes con lesiones en el codo que permita un plan de recuperación funcional inteligente, planificado, ejecutado y controlado para obtener un tratamiento exitoso en presencia del profesional o en la ausencia de este.

## **4. OBJETIVOS**

### **1. Objetivo general**

Diseñar y construir una ayuda técnica para la rehabilitación durante el período postraumático de lesiones en el codo, que permita el seguimiento del plan de recuperación o dado el caso mantener el tratamiento aún en ausencia del profesional (Fisioterapeuta).

### **2. Objetivos específicos**

- Desarrollar una propuesta (paciente- dispositivo-entorno) que se integre en la estrategia de tratamiento.
- Construir e implementar en el modelo un esquema de medición que permita una valoración fiable
- Proponer una interfaz adecuada para que el dispositivo pueda ser utilizado por Ortopedista, Fisiatra, Fisioterapeuta, paciente o el usuario casual
- Seleccionar el acelerómetro adecuado para la toma de mediciones y el método adecuado para el procesamiento de la señal
- Generar un producto para el sector salud que se ubique dentro del mercado como una ayuda técnica para el profesional

## **5. METODOLOGÍA**

### **1. Análisis**

Se establecerá la necesidad para definir el problema, plantear los objetivos y el nivel de innovación; partiendo de una investigación técnica y teórica de las soluciones existentes, esto permitirá tener un amplio conocimiento del tema al igual que de las ventajas o falencias del mercado actual.

Teniendo en cuenta la investigación previa, el paso a seguir es la recopilación de información por medio de encuestas y entrevistas, para una posterior aplicación del *QFD* como herramienta canalizadora de la voz del cliente.

Así se obtendrán los argumentos de diseño (requerimientos y limitaciones del proyecto). Paralelamente, los estudiantes de Ingeniería Electrónica elegirán los parámetros de medición. Luego, solucionada esta parte, proseguiremos con la fase de diseño.

### **2. Diseño**

Es la etapa creativa en el proceso en la cual los requerimientos y parámetros anteriormente establecidos son protagonistas al igual que los conceptos de diseño. Comienza el desarrollo de bocetos, alternativas y modelos básicos.

Las propuestas que se acerquen más a la solución, serán las alternativas seleccionadas para definir a profundidad sus características y detalles para posterior construcción.

La construcción de los modelos permite la realización de simulaciones de uso, al igual que comprobaciones técnicas. Las simulaciones arrojarán datos que facilitaran la retroalimentación en pro del mejoramiento de las propuestas. De esta manera, se obtendrá la alternativa a desarrollar.

### **3. Construcción**

Concretada la alternativa, se desarrolla el modelo funcional con sus respectivos planos técnicos, con materiales aproximados y serán definidas algunas de las características técnico-productivas.

El modelo es evaluado y de acuerdo a los resultados arrojados se hacen las correcciones pertinentes, para la construcción de un modelo funcional.

El modelo funcional es a escala 1:1 con las características del objeto final-producto. Este modelo final sirve como comprobación del resultado logrado en todo el proceso de diseño y será el utilizado en la sustentación ante el comité de evaluación.

### **4. Informe**

Desde el inicio del proyecto se lleva un registro del proceso, luego se irán entregando informes escritos para revisión y corrección.

### **5. Presentación**

El material audiovisual será necesario para dar a conocer y explicar de forma clara y concisa el proceso del proyecto.

## **2. MARCO TEÓRICO**

La actividad de investigación se apoya en la anatomía, antropometría, fisiología, biomecánica, ingeniería y psicología del trabajo, entre otras.

### **1. *ERGONOMÍA***

La ergonomía como conjunto de conocimientos sobre el funcionamiento del hombre en actividad[11], permite concebir la idea de ARCO como una ayuda técnica profesional que permita confort para el paciente, seguridad en el proceso de evaluación o toma de datos en lo referente a la medición del

ángulo en el movimiento de flexo-extensión, además de eficiencia en el proceso de terapia física.

Entre los aspectos más importantes que la ergonomía involucra en su estudio están:

- El ser humano con todo lo que el implica, en nuestro caso características de la articulación y sus movimientos.
- El mundo material transformado por el ser humano como lo es ARCO como un sistema conjunto de spots y la estación base.
- Las interacciones establecidas entre los dos anteriores.

La intervención de la ergonomía dentro del proceso de diseño da la prioridad al usuario, ver (3.1.4. PERFIL DE USUARIO), esto permite obtener soluciones en las que los productos se adaptan a las personas y no al revés. Los principios ergonómicos se fundamentan en que el diseño de productos deben enfocarse a partir del conocimiento de cuáles son las reacciones, capacidades y habilidades de las personas (fisioterapeutas y pacientes). Así, la ergonomía participa durante el diseño y la evaluación de equipos, luego se realiza una evaluación ergonómica; su aporte es utilizado como base conceptos y datos obtenidos en mediciones antropométricas, evaluaciones biomecánicas, características sociológicas y costumbres de la población a la que está dirigida el diseño (ver numeral 3.1.4) [10].

## **1. Ergonomía del producto**

Es aquí donde el usuario es protagonista y los productos que se crean, se adaptan a las características de las personas que los van a usar. Es decir, las encuestas (ver numeral 3.2.1) realizadas permiten tener un mayor acercamiento de la población objetiva.

Luego, el diseño ergonómico de ARCO busca satisfacer las necesidades del usuario, todas ellas recopiladas a través de la voz del cliente por medio de encuestas y entrevistas, así se ofrecen beneficios de diseño , en cuanto a seguridad por medio de la obtención de datos confiables, una buena interfaz paciente - dispositivo, entre otras. Todo esto, gracias a la intervención de las disciplinas, técnicas y métodos en los que se apoya la ergonomía durante la planificación, diseño y evaluación de la propuesta.

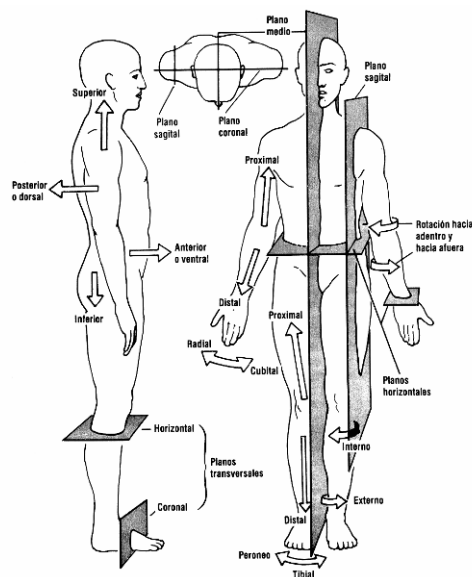
## **2. ANATOMÍA**

Todas las descripciones en anatomía humana se hacen con relación a la llamada posición anatómica, posición convencional en que el cuerpo esta erecto con la cabeza, los ojos y los dedos de los pies dirigidos hacia adelante. A continuación, en la Figura 1 se pueden observar los planos en el cuerpo, el

plano medio y sagital son de vital importancia en el movimiento de flexo - extensión (Tabla 1, Pág. 11), movimiento a evaluar en la medición del ángulo del codo.

*Plano medio:* es un plano de corte vertical imaginario que pasa longitudinalmente a través del cuerpo y lo divide en mitades de derecha e izquierda. Este plano corta las superficies frontal y dorsal del cuerpo para determinar las líneas medias anterior y posterior.

*Plano sagital:* Cualquier plano vertical que pasa a través del cuerpo y es paralelo al plano medio. Los planos sagitales se llaman así por la sutura sagital del cráneo, a la que son paralelos.[7]



**Figura 1.** Esquema que muestra los principales términos de posición y dirección, y los principales planos de referencia del cuerpo.

En la tabla a continuación, podemos observar la relación entre los planos anteriormente mencionados y visualizados, con los ejes y los respectivos movimientos del cuerpo.

Plano	Eje	Movimientos
Medio o Sagital	Transversal	Flexión y extensión
Frontal	Antero posterior	Abducción y aducción
Horizontal	Céfalo podal	Movimiento de rotación

**Tabla 1.** Movimientos existentes en los planos y ejes del cuerpo humano

La anatomía trabaja con la estructura morfológica y descriptiva (mediciones del cuerpo); es por lo tanto, uno de los pilares para la definición de la capacidad física, así como para establecer la antropometría y la biomecánica

[12]. Luego en los puntos a continuación se hace un análisis completo de la articulación del codo.

### 3. ANTROPOMETRÍA

En la ergonomía, los datos antropométricos son utilizados para diseñar los espacios de trabajo, herramientas, equipo de seguridad y protección personal, considerando las diferencias entre las características, capacidades y límites físicos del cuerpo humano[12].

Los estudios antropométricos que se han realizado se refieren a una población específica, como lo puede ser hombres o mujeres, y en diferentes rangos de edad. Los datos utilizados para el diseño fueron tomados de una investigación cuyo objetivo general consistió en caracterizar antropométricamente la población laboral colombiana, mediante tablas organizadas por edad y sexo.

La investigación resultante es un estudio descriptivo en una muestra poblacional de 2100 trabajadores colombianos, hombres y mujeres, en edades entre los 20 y los 59 años de edad[30].

La tolerancia de medición para los perímetros de la extremidad del brazo: Perímetro Brazo flexionado y tenso, Perímetro Brazo medio y relajado, Perímetro Antebrazo, con 0,3cm de tolerancia.

Se determina que las medidas para el sexo femenino son:

<b>VARIABLE</b>	<b>P5</b>	<b>P10</b>	<b>P25</b>	<b>P50</b>	<b>P75</b>	<b>P90</b>	<b>P95</b>
Perímetro del Brazo en Flexión - Tenso	23,5	24,4	26,0	27,7	29,9	30,0	33,8
Perímetro del brazo medio y relajado	23,3	24,2	25,9	27,8	30,1	32,3	33,6
Perímetro antebrazo	20,9	21,3	22,2	23,4	24,5	26,0	26,9
Anchura de codo	5,5	5,6	5,7	6,0	6,2	6,5	6,7

**Tabla 2.** Parámetros antropométricos femeninos dimensiones del codo[30]

Las medidas para el sexo masculino son:

<b>VARIABLE</b>	<b>P5</b>	<b>P10</b>	<b>P25</b>	<b>P50</b>	<b>P75</b>	<b>P90</b>	<b>P95</b>
Perímetro del Brazo en Flexión - Tenso	27	27,8	29,4	31,1	32,9	34,4	35,6
Perímetro del brazo medio y relajado	25,2	26,3	27,8	29,6	31,3	33,0	34,2

Perímetro antebrazo	24,0	24,6	25,6	26,8	28,0	29,1	29,9
Anchura de codo	6,2	6,3	6,6	6,0	6,2	6,5	6,7

**Tabla 3.** Parámetros antropométricos masculinos para el codo[30]

#### **4. BIOMECÁNICA Y FISIOLOGÍA**

Las clasificaciones de la biomecánica que veremos a continuación influyen en el desarrollo proyectual de la propuesta, se puede ver desde el ámbito médico, ocupacional o deportivo.

*Medica:* ARCO como ayuda técnica permite un control en la terapia, pues evita que las deficiencias de movimiento del codo se conviertan en deficiencias de la extremidad superior. Así la fase de rehabilitación será óptima resolviendo posibles complicaciones, esto a través de la recopilación de datos.

*Deportiva:* analiza la práctica deportiva para lograr mejorar el rendimiento, así como el desarrollo de técnicas de entrenamiento capaces de imitar a otros organismos que en la naturaleza son superiores al hombre, desarrollar nuevos materiales para que tanto uniformes como equipos, la propuesta permite evaluar el funcionamiento de las máquinas de los gimnasios en cuanto a movimientos de flexo- extensión y el rendimiento de los deportistas.

*Ocupacional:* Analizando la relación mecánica que el cuerpo humano sostiene con los elementos con que interactúa en distintos ambientes; el laboral (Centro de salud y/o rehabilitación), el docente (universidades y corporaciones), el domestico (visitas domiciliarias de terapia física), con el único fin de adaptarlo a sus necesidades y capacidades para lograr una vida mejor.

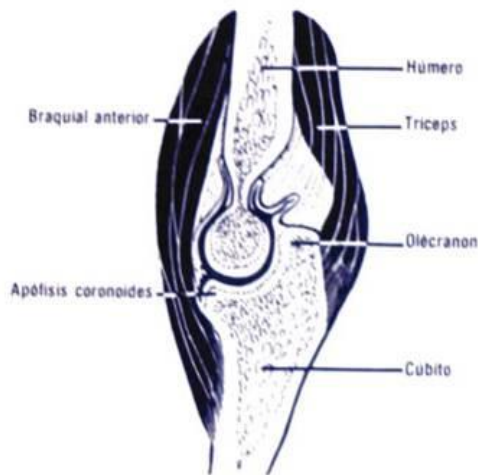
Esto confirma que la biomecánica es el área a través de la cual se tiene una mejor comprensión de las actividades y ejercicios, así mismo interviene en la prevención de lesiones, mejora del rendimiento, describe y mejora la técnica deportiva, además de desarrollar nuevos materiales para la rehabilitación. Luego, las posibilidades que la biomecánica ofrece al plantear y resolver problemas relacionados con la mejora de la salud y de la calidad de vida, la han consolidado como un campo de conocimientos en continua expansión capaz de aportar soluciones de índole científica y tecnológica[14].

#### **5. EL CODO**

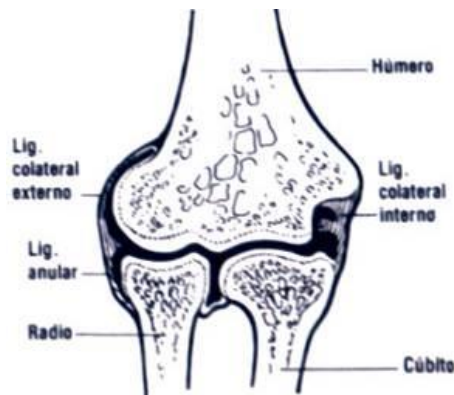
El propósito de las articulaciones es mantener conectados los huesos, los cuales permanecen juntos por medio de los ligamentos (detallados en la Figura 4, página 14) y los músculos. Por otra parte, la dirección y el grado de

movimiento dependen de forma de las superficies de la articulación, por ejemplo, las articulaciones con función de bisagra simple o movimiento en un solo plano (dedos, codo, rodillas). Las articulaciones que permiten efectuar movimientos en dos planos (muñeca o tobillo), las articulaciones tipo esfera y cuenca, que permiten un gran rango de movimientos (cadera y hombro).

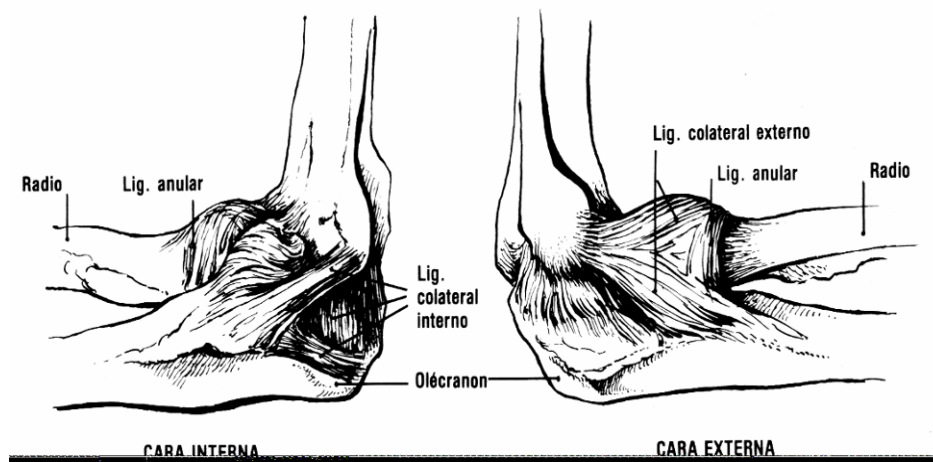
El codo es la articulación entre el húmero y los huesos del antebrazo, y está señalada de manera aproximada por una línea horizontal que pasa a unos 2 ó 3 cm por abajo del epicóndilo y la epitroclea. Esto se observa en la Figura 2 y en la Figura 3.



**Figura 2.** Esquema de un corte sagital a través de la porción húmero-cubital de la articulación del codo. Se hace exagerado la amplitud de la cavidad articular.



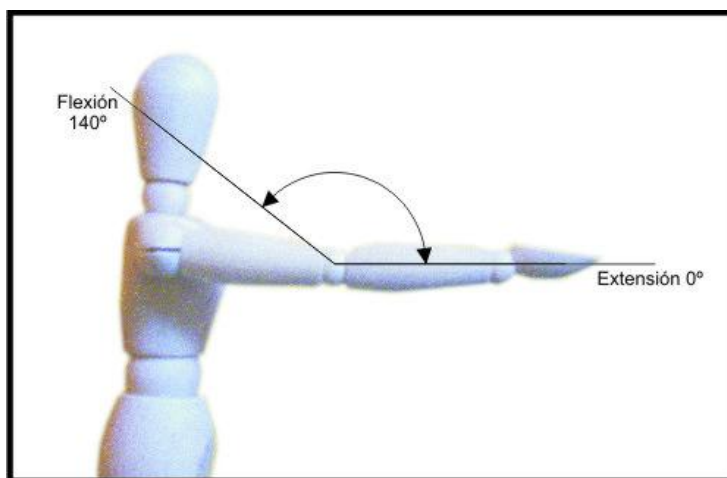
**Figura 3.** Corte frontal a través de la articulación del codo. Se ha exagerado la amplitud de la cavidad articular.



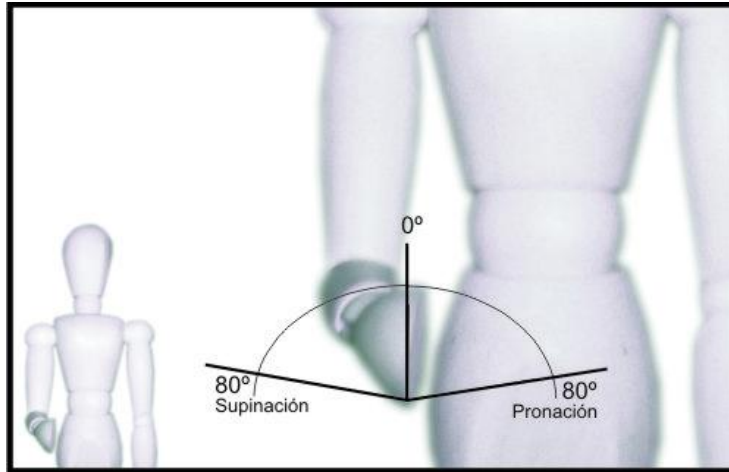
**Figura 4.** Ligamentos del codo derecho

### 1. Movimientos del Codo

El codo es una articulación troclear y el movimiento voluntario se limita a la flexión y a la extensión. Sin embargo, no se comporta precisamente como una troclear. Las curvaturas de las superficies articulares, en particular la de la parte interna de la tróclea, son tales que durante la extensión se hace evidente el ángulo que el antebrazo en supinación forma con el brazo (“ángulo de soporte”). El grado de curvatura de la tróclea se modifica de la parte anterior a la posterior. Esto altera el ángulo que forma el cúbito con el húmero y, en consecuencia, la extremidad inferior del cúbito se desplaza hacia fuera durante la extensión y hacia adentro durante la flexión. El ángulo de soporte desaparece cuando se flexiona el antebrazo.[7]



**Figura 5.** Movimiento flexión-extensión, arco de movimiento cercano a los 145°. Fuente: Autor.



**Figura 6.** Movimiento supinación-pronación del brazo, el arco de movimiento es de aproximadamente 160°. Fuente: Autor.

Los movimientos en la articulación del codo son flexión y extensión (Figura 5) y entre el radio y el cúbito, supinación y pronación (Figura 6). La flexión es controlada por fibras provenientes de los segmentos C5 y C6 de la médula espinal, la extensión por fibras de C7 y C8, y la pronación por fibras de C6.

## **6. MEDICIÓN DE ÁNGULOS Y SUS APLICACIONES**

Es incontable el número de aplicaciones que se pueden obtener de una buena medición de ángulo y partiendo de esta premisa surge la inspiración del presente trabajo.

Cuando se presentó la posibilidad de crear un método portátil e inalámbrico como una ayuda técnica en la medición del ángulo en las articulaciones, se buscó que beneficiaría a:

- Pacientes en rehabilitación
- Profesionales: Ortopedista, Fisiatra o Fisioterapeuta
- Centros Profesionales: Academia, Centros de investigación en biomecánica, marcha y lesiones deportivas, Clínicas de rehabilitación, entre otros.

Con esto, se concluyó que al monitorear de forma dinámica mientras el paciente realiza las actividades programadas por el profesional para el

tratamiento de su lesión, se mejora el proceso de rehabilitación ya que se tiene un control directo sobre el mismo, además de optimizar el servicio prestado por la entidad de salud y el equipo responsable.

Para el adecuado desarrollo de la idea se pensó en la articulación del codo, ya que esta tiene un plano de movimiento (flexión - extensión), diferente a otras articulaciones como la rodilla y el hombro que tienen 2 y 3 respectivamente (ver Figura 7). Además, la lesión del codo después de la lesión de hombro y rodilla, es la más común en adolescentes y adultos jóvenes.

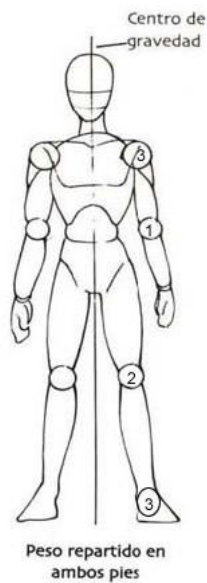


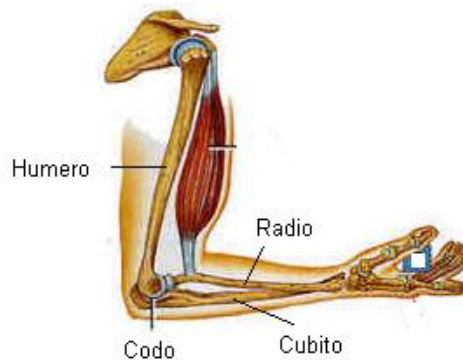
Figura 7. Tipo de grados de libertad en articulaciones.

## 1. Aplicaciones en la Medicina

El cuerpo humano tiene un gran número de articulaciones que se pueden agrupar según su función y anatomía, como se vio en numerales anteriores, en este caso nos interesa conocer la articulación del codo, formado por tres huesos el humero, el cubito y el radio (Figura 8). En este caso, el extremo del cubito llamado olécranon, se articula en una cavidad a modo de gancho óseo, la fosa olecraniana del humero. El radio también se articula con el humero, conformando la cara esférica de un hueso y uniéndose en la cavidad ósea de otro, en este caso el extremo del humero es esférico y se articula en el cóndilo del radio, que es cóncavo.

La biomecánica de las articulaciones y en general de todo el sistema músculo esquelético es usado para evaluar la integridad de todo el conjunto motor de

un ser vivo, se sabe, después de estudios a través de la historia y la estandarización de valores, cuales son las medidas adecuadas o los valores que se esperan para cada caso. Para esto, se toma en cuenta el sexo, altura y longitud del miembro. El codo tienen un rango de movimiento en un solo plano de flexión (disminuir el ángulo de la articulación) entre 145 – 160 grados y de extensión (aumentar el ángulo de la articulación) de 0° grados (ver Figura 5, página 15). En una lesión del codo, estos valores se alteran, y dependiendo de esto, el paciente requiere tratamiento quirúrgico o no quirúrgico. Luego, se procede a la rehabilitación y el progreso o avance es evaluado e interpretando de qué forma, a través del tiempo y la terapia instaurada, estos valores se normalizan.



**Figura 8.** El codo.

La ventaja de contar con un dispositivo automático, portátil e inalámbrico, es que el profesional y algunos casos el mismo paciente según la aplicación que se le de al dispositivo, vea mientras hace su terapia, el avance en su rehabilitación en tiempo real, se podrá monitorizar la realización óptima de los esquemas de ejercicios y esto se traducirá en un corto plazo en cuanto a la obtención de resultados se refiere, además de la optimización del trabajo del profesional.

Teniendo en cuenta que en la rehabilitación de una articulación, se trabaja en metas semanales, donde no alcanzarlas puede ser tan perjudicial como el hecho de sobrepasarlas, es tan necesario conocer de manera dinámica el progreso y desempeño del paciente y más aun, que el mismo paciente las conozca en caso de realizar ejercicios en su propio hogar.

## **2. Métodos de medición**

Actualmente encontramos diversos instrumentos con los que especialistas en el área de la salud miden los ángulos en las extremidades durante las terapias físicas. Entre los que se encuentran los clásicos elementos de

medición, que van desde una regleta o un goniómetro, hasta mecanismos más sofisticados como el flexsensor.

A continuación una muestra de las soluciones existentes en lo que a mediciones de ángulos se refiere.

## 1. Goniómetro

El goniómetro tal como su nombre indica es un instrumento para medir ángulos. Consta básicamente de dos regletas las cuales se interceptan en un punto fijo giratorio en donde se encuentran las marcas de ángulo, de esta forma se va rotando una de las regletas hasta quedar paralelo al eje de medición y en este se observa el ángulo correspondiente en el círculo central.

Existen goniómetros tanto digitales como analógicos, tal como se observan en la Figura 9. Es de los elementos más usados por las fisioterapeutas para la medición del ángulo en las articulaciones.

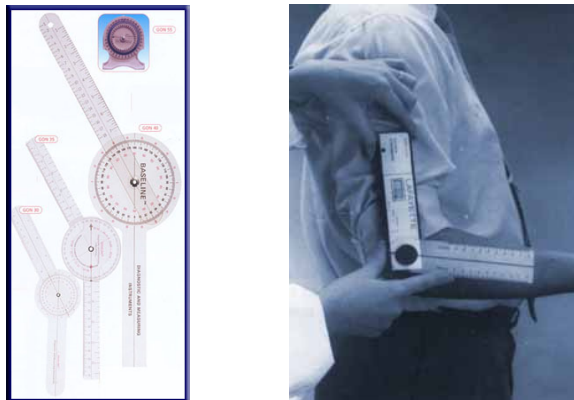


Figura 9. Goniómetro: (a) Regleta mecánica (b) Mecánico digital

## 2. Flexsensor

Son tiras de plástico flexible recubiertas con tinta semiconductor. El empleo de este sensor es sumamente sencillo, se trata de una resistencia variable o potenciómetro que varía su valor según lo flexionemos más o menos como se observa en la Figura 10. En reposo, es decir horizontal, posee una resistencia mínima de 10K, mientras que al doblarlo incrementa su valor, y al llegar a aproximadamente 90° con una resistencia máxima de 40 K. Es importante decir que este tipo de sensor solo tiene un sentido de funcionamiento con lo que si lo doblamos hacia el lado opuesto, la resistencia casi no varía.[9]

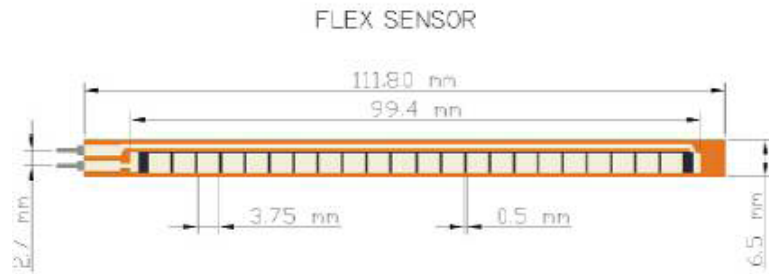


Figura 10. El flexsensor

### 3. Acelerómetros

La estrategia utilizada para la medición angular en este trabajo esta basada en acelerómetros. Utilizar acelerómetros para obtener medidas angulares es tan solo una aplicación de estos dispositivos.

#### 1. Acelerómetros y medición angular

El método empleado en este proyecto está basado en la relación de los ejes de dos acelerómetros y se sustenta en los trabajos de investigación de Kurata y colaboradores [8]. La forma en que el método se aplica depende de los grados de libertad de la articulación. Puesto que en el presente trabajo la medición angular está enfocada en el arco de movimiento de flexo extensión producido por el codo, se explicara la obtención del ángulo para articulaciones con un grado de libertad.

En la Figura 11(pág. 20) se puede observar la forma en que deben ser ubicados los dos acelerómetros.

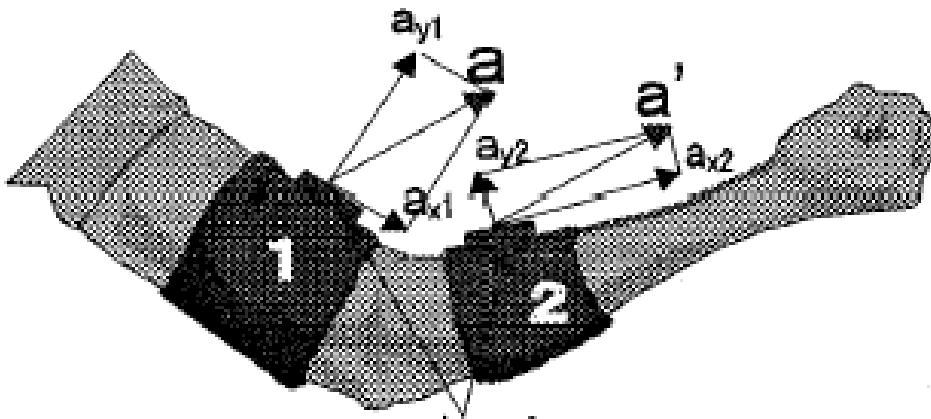


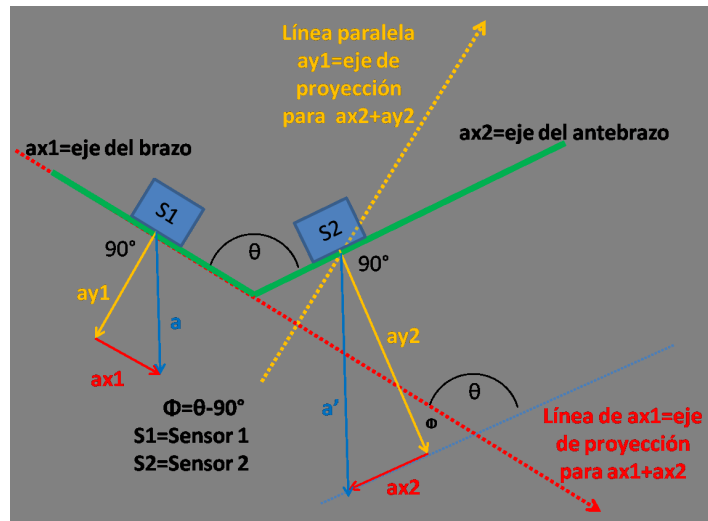
Figura 11. Sistema de acelerómetros ubicados alrededor del codo

Primero que todo, se debe ubicar el equipo de medición, que contiene un par de acelerómetros, alrededor del brazo muy cerca al codo, entre más cercanos estén los acelerómetros, mejor será la obtención del ángulo.

En la Figura 11 es posible observar el montaje de los dos acelerómetros, la magnitud de aceleración registrada por el acelerómetro 1 es aproximadamente la misma aceleración percibida por el acelerómetro 2 ( $a \sim a'$ ), por las siguientes razones: El vector radial de rotación alrededor de la articulación es pequeño, además la fuerza centrífuga y la fuerza de giro alrededor del codo percibida por los sensores es prácticamente nula; si se toma en cuenta la rotación alrededor del hombro u otro movimiento del cuerpo, resulta en que los dos sensores por estar cercanos, percibirán la misma magnitud de aceleración. Las componentes de aceleración del eje 'x' y eje 'y' en el acelerómetro 1 son definidas respectivamente como  $(a_{x1}, a_{y1})$ , y las componentes del otro acelerómetro están definidas como  $(a_{x2}, a_{y2})$ . El ángulo de unión es definido como  $\theta$ . Usando la matriz de rotación de  $\theta$ , la relación entre  $(a_{x1}, a_{y1})$  y  $(a_{x2}, a_{y2})$  puede ser descrito así:

$$(2.4)$$

Esta ecuación matricial fue el resultado del siguiente análisis:



**Figura 12.** Diagrama vectorial de la aceleración y sus proyecciones. Fuente: Autor.

El procedimiento para encontrar las ecuaciones que relacionan las aceleraciones en los diferentes ejes, consiste en unificar un par de ejes base

de referencia para ambos acelerómetros, entonces los ejes escogidos son los vectores de las componentes en 'x' y en 'y' del acelerómetro 1, por lo tanto se deben proyectar los vectores  $a_{x2}$  y  $a_{y2}$  sobre la línea de la componente de aceleración  $a_{x1}$  y sobre la línea de la componente de aceleración  $a_{y1}$ . Con lo que define una ubicación relativa en el espacio del acelerómetro 2 con respecto al acelerómetro 1.

Por lo tanto. Observando la Figura 12, se puede extraer fácilmente el siguiente par de ecuaciones:

$$a_{x1} = a_{x2} * \cos(\theta) + a_{y2} * \sin(\theta)$$

Por identidades trigonométricas resulta:

$$a_{x1} = a_{x2} * \cos(\theta) + a_{y2} * \sin(\theta) \quad (2.5)$$

$$a_{y1} = a_{x2} * \sin(\theta) - a_{y2} * \cos(\theta)$$

Por identidades trigonométricas resulta:

$$a_{y1} = a_{x2} * \sin(\theta) - a_{y2} * \cos(\theta) \quad (2.6)$$

Demostrando finalmente con estas dos ecuaciones (2.5) y (2.6), la forma en que se obtuvo la ecuación matricial (2.4).

Finalmente, se puede obtener el ángulo  $\theta$  resolviendo el sistema de ecuaciones expuesto anteriormente de la siguiente forma:

$$(2.7)$$

Entonces:

$$(2.8)$$

Teniendo ya resuelto el problema, cabe resaltar que la función tangente inversa de cualquier número Real, produce un valor en grados entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ , por lo tanto al momento de implementar la fórmula matemática, es necesario adicionarle  $180^\circ$  al resultado dependiendo del signo que se esté obteniendo en el denominador y en el numerador. De esta forma, para la situación que se está trabajando, es posible obtener el ángulo verdadero del codo sin importar que la extremidad esté rotando alrededor de otro punto por

ejemplo con el hombro como eje de rotación. En la práctica se observó que cuando el denominador resulta negativo, se le debe sumar 180° al resultado de la ecuación (2.8). Aunque para este ejemplo de aplicación no es necesario determinar ángulos mayores a 270°, vale la pena decir que para un ángulo mayor a este valor, se debe sumar 360° al resultado obtenido en esta misma ecuación cuando el numerador es negativo y el denominador positivo[9].

Como ejemplo se plantea la siguiente situación:

Se tienen dos acelerómetros biaxiales acomodados como en la Figura 12 cuyos ejes arrojan las siguientes salidas:

$$(a_{x1}, a_{y1}) = (0.0297, -0.9706)$$

$$(a_{x2}, a_{y2}) = (0.0241, -0.9706)$$

Aplicando la fórmula 2.8 se tiene:

$$\Theta = 183.18$$

	$\Theta^{\circ}1$	$\Theta^{\circ}2$	$\Theta^{\circ}3$	$\Theta^{\circ}4$	$\Theta^{\circ}5$	$\Theta^{\circ}6$
<b>Angulo</b>	183.17	183.18	184.42	63.01	51.3921	36.2429
<b>a<sub>x1</sub></b>	0.0189	0.0297	0.0350	-0.5449	-0.5986	-0.7704
<b>a<sub>y1</sub></b>	-0.9760	-0.9706	-0.9760	-0.8901	-0.8579	-0.6162
<b>a<sub>x2</sub></b>	0.0349	0.0241	0.0402	-0.8727	-1.0177	-0.9264
<b>a<sub>y2</sub></b>	-0.9706	-0.9706	-0.9760	-0.0684	0.0658	0.0389

Fuente: Proyecto de grado de John Batista y Celso Forero[9]

**Tabla 4.** Resultado de aplicación de fórmula para mediciones reales

#### 4. Sensores inalámbricos

En los últimos años se ha producido un revolucionario desarrollo de sistemas de comunicación inalámbrica en los más diversos campos. Así, los sensores que operan inalámbricamente van ganando terreno. Siendo una novedad tecnológica en un campo nuevo su uso es limitado aún en investigación.

Actualmente, ya existen en el mercado sensores inalámbricos que son capaces de obtener medidas de temperatura, luz, movimiento entre otras aplicaciones. Sus innumerables beneficios en la industria los han posicionado dentro del mercado. Pues el manejo en cuando ingeniería y la notable reducción en costo de materiales; ofrecen un aumento en la productividad por la introducción del concepto de movilidad, flexibilidad y rápido acceso a las redes de comunicación; además, de interfaces hombre-máquina portátiles que facilitan diagnósticos, controles e intervenciones sobre el proceso al mismo tiempo que brindan la posibilidad de monitoreo y seguimiento por parte del cliente. Sus aplicaciones van desde industriales hasta las militares;

detectar defectos de manufacturación en una fábrica; monitorear el movimiento de un paciente en un hospital entre muchas otras aplicaciones. Es así como la aplicación dada en nuestro proyecto, esta dirigida a la rama de la salud y propone un sistema de medición de ángulos en una de las articulaciones con mayor incidencia de luxaciones, después del hombro.

Sin embargo, el elemento más revolucionario del desarrollo inalámbrico es la posibilidad de integrar muchos sensores inalámbricos para formar una red de sensores inalámbricos (Wireless sensor Networks)[9]. Esto permitiría ubicar nuestro sistema en un grupo de pacientes, recopilando datos simultáneamente entre ellos (Ver ANEXO C).

### **3. DESARROLLO PROYECTUAL**

#### ***1. INVESTIGACIÓN***

Esta investigación permite conocer a fondo las diferentes variables que influirán en el planteamiento de hipótesis y posibles soluciones, teniendo en cuenta que en los procesos dialécticos todo está sometido a constantes cambios, y es esta la etapa donde el diseñador se nutre de conocimientos de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis realizados.

## 1. ANALISIS DE PRODUCTOS EXISTENTES

Los productos existentes en el mercado que permiten un acercamiento del dispositivo por realizar, presentan diferentes ventajas y desventajas. Esto, dirige el diseño hacia los aspectos por mejorar en un sistema que optimice la relación Hombre-Máquina-Entorno.

Por esta razón, el conocimiento de mercado actual es un punto de referencia que facilita el desarrollo de las alternativas, pues se descubren las falencias que existen en los productos y se puede ofrecer una opción mejorada que establezca una solución al balance muscular, articular y funcional.

A continuación, se encuentra el análisis de las empresas con sus respectivos productos, donde se evidencia los aciertos y errores que determinan los puntos estratégicos en donde se trabajara.

### 1. EFMO

Catorce años de experiencia en el Sector Ortopédico español, ofrecen nuevos productos adaptados a las necesidades del mercado y de los clientes, aportando verdaderas soluciones a los problemas de ortopedicos y pacientes. [19]



**Figura 13.** De izquierda a derecha: Cubidin, codera de hiperextensión, ortesis articulada de brazo modelo universal.

- **Cubidin:** Grapa de epicondilitis indicada para el tratamiento post-operatorio y para epicondilopatías.  
Disponibles en dos tallas:
  1. Hasta 22cm
  2. Mayor a 22cm
- **Codera de Hiperextensión:** Impide la hiperextensión de la articulación del codo consiguiendo estabilizar la articulación y controlando la rotación indeseada.
- **Ortesis articulada de brazo modelo universal:** Ortesis de brazo, con la cual se consigue un perfecto control de la flexo-extensión del codo. Esta no guarda lado puesto que no se prolonga ni al hombro ni a la mano. Indicado especialmente en artroplastias del codo, en procesos

postquirúrgicos y en cualquier traumatismo en el que sea necesario limitar el movimiento. Incluye manguitos de confort.

Disponibles en tallas:

S: Cont. Húmero (20-25) Cont. Antebrazo (18-23)

M: Cont. Húmero (25-30) Cont. Antebrazo (23-28)

L: Cont. Húmero (30-36) Cont. Antebrazo (28-33)

XL: Cont. Húmero (36-40) Cont. Antebrazo (33-38)

<b>Producto</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Cubidin	- Dos tipos de tallas	- No tiene sistema de medición - Solo protege el antebrazo
Codera de Hiperextensión	- Controla la rotación - Limita el movimiento	- No viene por tallas - No tiene sistema de medición
Ortesis articulada de brazo modelo universal	- Control de movimiento - Posibilidades de adaptación por tallas - Lateralidad no definida - Incluye manguitos de confort	- No tiene sistema de medición de variables en cuanto a la flexo extensión.

## **2. INSTITUTO TÉCNICO ORTOPÉDICO**

El Instituto Técnico Ortopédico (ITO) fue fundado en 1968 por el Sr. Oriol Cohí, continuador de una familia de ortoprotesistas de prestigio internacional desde los años 1930. ITO, tiene su sede central, consultorio, oficinas y talleres de fabricación en Barcelona, y cuenta además con tiendas de atención al público en Barcelona, Sabadell, Cornellà, Granollers, La Seu d'Urgell y Plana de Mallorca.

Las ortesis de mano, antebrazo y brazo han logrado en los últimos tiempos grandes progresos en cuanto a su funcionalidad, comodidad y aplicación. Estos progresos se deben al trabajo en equipo de ingenieros biomecánicas, médicos y, en este caso, de los técnicos ortopédicos del Instituto.[20]



**Figura 14.** De izquierda a derecha: Brazaletes para epicondilitis neopreno, brazaletes para epicondilitis, codera de neopreno, Elbow Ranger, Poliquen, Brace articulado.

- **Brazaletes para epicondilitis neopreno:** Banda en neopreno de 3 mm reforzada con una cincha de velcro y una almohadilla ajustable en plastazote. Colores: Azul o beige.  
Efectos: Termocompresión, descarga y protección.  
Indicaciones: Prevención de lesiones deportivas y laborales, Epicondilitis (codo de tenista) y Epitrocleitis (codo de golfista).  
Tallas: Universal. Precio: 12,00 €
- **Brazaletes para epicondilitis:** Ortesis muy confortable, de larga duración, con un amplio rango de regulación y que se adapta perfectamente a las diferentes morfologías del antebrazo. Talla: Universal. Precio: 28,03 €  
Efectos: Descarga, compresión y protección.  
Indicaciones: Prevención de lesiones deportivas y laborales, Epicondilitis (codo de tenista) y Epitrocleitis (codo de golfista).
- **Codera de neopreno:** La codera de talla única permite controlar la tensión mediante unas bandas de ajuste que favorecen una perfecta adaptación. Está confeccionada en neopreno astracán de 2 mm que facilita la circulación sanguínea, aliviando al mismo tiempo el dolor y favoreciendo así mismo la recuperación y el mantenimiento de la flexibilidad de las articulaciones. Es ligera y cómoda para su uso diario.  
Talla: Universal. Precio: 22,00 €  
Efectos: Termocompresión, descarga, protección y soporte. Color: Azul.
- **Elbow Ranger:** Para condiciones no quirúrgicas, esguinces y roturas de ligamentos colaterales, y transposición del nervio cubital. Se puede

emplear tras una retirada temprana del yeso para estabilizar las fracturas y para la inmovilización post-operatoria. La empuñadura de mano desmontable ayuda a prevenir la pronación y la supinación. Articulaciones bilaterales R.O.M. de aluminio que permiten ajustes en incrementos de 30° con valvas moldeadas Kydex®. Diseño universal para brazos derecho e izquierdo. Precio: 201,33 €

Tallas & Medidas: Medir la longitud del antebrazo desde el pliegue de flexión de los dedos al pliegue de flexión del codo.

S (20 - 29 cm), M (29 - 37 cm), L (37- 48 cm).

- **Poliquen:** Esta férula sirve para mantener el hombro elevado en aquellas lesiones en las que se fracture el húmero por su porción proximal. Mantendrá el hombro inmovilizado en abducción.
- **Brace Articulado:** Para inmovilizar extremidad superior en casos de fracturas óseas y/o esguinces de codo. Mucho más cómodo que un yeso puesto que pesa menos y además se puede retirar para realizar la higiene personal.

Producto	Ventajas	Desventajas
Brazaletes 1	- Actua como sistema de prevención de lesiones - Ejerce termocompresión - Talla universal - Dos colores	- Es solo para el antebrazo. - Carencia de sistema de medición
Brazaletes 2	- Ejerce compresión y protección	- No posee sistema de medición
Codera	- Termocompresión, descarga, protección y soporte -Facilita la circulación y alivia el dolor	- Talla única - No tiene sistema de medición
Elbow ranger	- Inmoviliza al brazo - Tallas: S,M, L, XL - Limita los movimientos	- No tiene mecanismo de medición
Poliquen	- Limita el movimiento del hombro en lesiones de húmero	- No tiene sistema de medición
B r a c e articulado	- Funciona como yeso - Mas liviano - Unidad desmontable	- No tiene sistema de medición

### 3. AUXIPLAST

Auxiplast posee una experiencia de más de 20 años en el sector de la ortopedia.[21]



**Figura 15.** SLING Inmovilizador de hombro

**Ventajas:** Sistema universal para inmovilizador de hombro, confeccionado en un tejido especial acolchado que permite la adherencia del velcro en toda la superficie del soporte. De fabricación en medida única, su sólida construcción le hace ser un soporte seguro y confortable para el paciente. Versátil por su adaptabilidad puede utilizarse en pacientes de cualquier edad, así como en el miembro derecho o izquierdo. Su sistema de sujeción por velcro, hace que sea un soporte de fácil y rápida colocación. Talla Universal

**Desventajas:** No tiene un sistema de medición de ángulo de la articulación, solo funciona como soporte.

#### 4. MEDI

Durante más de 50 años, MEDI ha sido líder, aportando al mercado, productos terapéuticos innovadores enfocados a mejorar la calidad de vida.[22]



**Figura 16.** De izquierda a derecha: SAK, SAS 15, EPICO ROM II

- **SAK:** Almohadillas abductoras de la articulación del hombro. Hasta 70° de abducción.
- **SAS 15:** Almohadillas abductoras de la articulación del hombro. 15° de abducción.
- **EPICO ROM II:** Ortesis de codo con control de movimiento.

Producto	Ventajas	Desventajas
SAK	-Control de movimiento - Innovación a través de	- Movimientos del hombro

	almohadillas	- Dispositivo aparatoso y fácil de cargar
SAS 15	- Almohadillas abductoras del movimiento a 15°	- Movimientos del hombro
EPICO ROM II	- Control de movimiento por medio de ángulos	- Elemento de fijación

## 5. PEREZ PRIM

Desde su fundación, ha ofrecido a sus clientes la utilización de técnicas avanzadas y materiales para confeccionar sus productos a medida. [23]



**Figura 17.** Ortesis para fractura de brazo D.R.I.

Fabricada en polietileno hipoalérgico de baja densidad con cinchas elásticas ajustables al contorno del brazo. Articulación policéntrica para el codo con posibilidad de limitar la extensión. Prolongaciones con ranuras que permiten una alineación fácil y precisa del eje articular. Indicada para fracturas inestables del antebrazo y tercio distal del brazo o cualquier otro proceso que requiera una inmovilización rotacional y/o la limitación de la flexo-extensión del codo. Talla Universal. Distinta para cada lado. Incluye dos calcetas de tejido elástico antiedema.

### **Ventajas:**

- Uso de materiales poliméricos antialérgicos
- Limitación de movimiento
- Ajuste con respecto al eje auricular
- Talla universal

### **Desventajas:**

- Lateralidad, derecho e izquierdo
- No existe medición de ángulo.

## 6. TISS CARE

TISSCARE distribuye y comercializa en el mercado nacional, productos y soluciones para discapacitados y personas de la tercera edad [24].



TALLAS circunferencia antebrazo Derecha - Izquierda	S	M	L
CM	20-25	25-30	30-35

**Figura 18.** Ortesis de codo con limitación de flexo-extensión

Estabilización del Codo, Fijación del codo en fases de pre-operación y post-operación. Tallas (circunferencia antebrazo, izquierda a derecha) Talla S (20-25) M (25-30) L (30-35)

**Ventajas:**

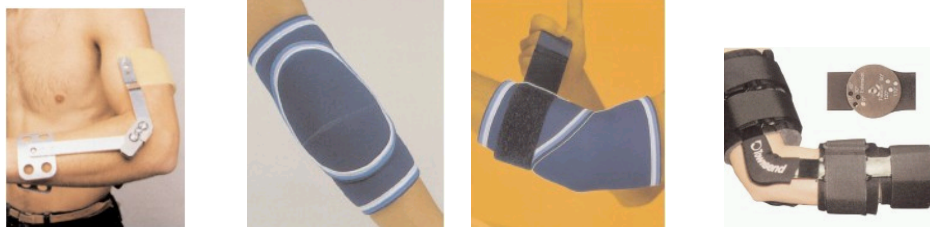
- La variedad de tallas
- Ajuste de ángulos por fases
- Limita el movimiento

**Desventajas:**

- Es una estructura de sostén y fijación, mas no de control de movimiento.

**7. FARMATOPEDIA PEÑALVER**

FARMATOPEDIA PEÑALVER pone a su disposición este catálogo y su experiencia de muchos años en el mundo de la ortopedia.



**Figura 19.** De izquierda a derecha: Ortesis de articulación de codo, codera almohadillada de neopreno, codera de epicondilitis, ortesis articulada de codo con regulación flexo extensión

- **Ortesis de articulación de codo:** Ortesis articulada para estabilización de codo. Talla universal.
- **Codera almohadillada de neopreno:** Previene de golpes en la zona. Indicada para la práctica deportiva. Perímetro de centro de codo. Tallas 1-5

- **Codera de epicondilitis:** Proporciona calor y compresión. Dispone de una cinta de velcro para el tratamiento de la epicondilitis (codo de tenista).
- **Ortesis articulada de codo con regulación flexoextensión:** Ortesis estabilizadora de brazo para postoperatorios con regulación flexoextensión. Talla universal.

Producto	Ventajas	Desventajas
Ortesis	- Talla universal - Sistema articulado de estabilización	- No mide ángulos
Codera con almohadilla	- Prevención de lesiones - 5 tallas disponibles	- no mide ángulos
Codera para epicondilitis	- Proporciona calor y compresión	- no mide ángulos
Ortesis de codo	- Regula la flexo extensión - Estabiliza el brazo	- no tiene sistema de medición solo estructura de soporte y control

## 8. ORTOPEDIA SIMONYAN

Esta empresa desarrolla ayudas técnicas que buscan eliminar barreras físicas para discapacitados brindándoles comodidad y seguridad[25].



**Figura 20.** Ortesis de codo - ROM

Soporte de rango de movimiento cada 10°. Permite la inmovilización del codo con control de movimiento en flexo-extensión. Indicada en tratamientos de luxaciones y dislocaciones de codo, y de fracturas estables en húmero distal. Adecuada para procesos post-quirúrgicos seguidos a la implantación de prótesis, cuidados funcionales y fracturas estables de húmero distal e inmovilización temporal después de artólisis de codo.

### **Ventaja:**

- Ángulo graduable con control de movimiento.
- Sistema ajustable.

### **Desventaja:**

- No mide los ángulos sino cada 10 grados, y es de estructura fija. Para inmovilizar.

## **ANÁLISIS GENERAL DE PRODUCTOS EXISTENTES**

Los productos anteriormente mencionados muestran el mercado actual y a partir de este se descubren que las herramientas de monitorización de variables biomecánicas, están limitadas al ambiente del laboratorio y los sistemas de adquisición más utilizados se basan en dispositivos de alto costo. Además, existe incompatibilidad entre sistemas de análisis de valoración del daño corporal en la articulación del codo y tampoco existen herramientas destinadas a la ortoprotésica que monitoricen el confort en la interfaz dispositivo-hombre.

Luego, la mayoría de productos permiten una inmovilización o protección, pero no ofrecen la medición de variables como guía base en el seguimiento de la rehabilitación.

Es así, como se observa que el mercado se ha enfocado en realizar productos para facilitar el control en cuanto a movimiento, al igual que la regulación de aspectos como la disminución de dolor e hinchazón. También, en ofrecer la posibilidad de adaptación, pues la mayoría viene por tallas.

## 2. ANÁLISIS DE MERCADO



Inicialmente el mercado objetivo está dirigido a la ciudad de Bucaramanga, pero el mercado puede llegar a ser de tipo nacional con calidad para exportación.

En el área metropolitana de la ciudad hay 52 registros de empresas que ofrecen el servicio de terapia física, en las cuales hay 32 profesionales vinculados

### 1. Centros de terapia física

Son todas las unidades de Rehabilitación Integral que existen en la ciudad de tipo independiente y ofrecen sus servicios a pacientes particulares como a los que son remitidos por EPS mediante convenios.

### 2. EPS

Las diferentes entidades que ofrecen servicios de salud y que cuentan dentro de su plataforma de servicios con un grupo de profesionales en Fisioterapia.

### 3. Hospitales y clínicas

Aquellos centros de salud en los que su equipo de profesionales en Terapia física atiende a los afiliados remitidos de algunas entidades o EPS.

### 4. Universidades

Las universidades y corporaciones que tengan dentro de su Facultad de Salud el programa de Fisioterapia, entre los que se encuentran la UIS, la UCC, UDES, UMB y otras corporaciones.

### 5. Profesionales y estudiantes

Fisioterapeutas, Fisiatras y Ortopedistas tipo independientes que realicen consultas o terapias a domicilio y de carácter particular. En la universidad industrial de Santander hay aproximadamente 191 estudiantes matriculados al iniciar el período académico . En un estudio realizado en la Universidad del Cauca en el que se maneja un número similar de ingreso de estudiantes de pregrado en fisioterapia, en el primer semestre del año (193 estudiantes matriculados), calcula aproximadamente 115 egresados en el transcurso de 3

años (2003 -2005) esto para universidades públicas, en cuanto a instituciones privadas se gradúan en un periodo de tres años 108 fisioterapeutas.[31]

A nivel nacional según estadísticas tomadas del observatorio laboral para la Educación: en el 2006 se graduaron 1404 colombianos en el núcleo básico de conocimiento en terapias. De los cuales 135 son hombres y 1269 mujeres[32].

Las encuestas realizadas en la ciudad se hicieron a Fisioterapeutas del área metropolitana que laboran actualmente tanto en instituciones públicas como privadas. Se puede ver el análisis de las encuestas en el numeral 3.2.1.

### 3. ANÁLISIS DE FACTORES TÉCNICO PRODUCTIVOS

La propuesta **ARCO** es un sistema portátil de medición para el análisis biomecánico del codo, siendo un dispositivo médico con materiales de nueva generación.

La parte electrónica se compone de un paquete de acelerómetros (ver pág. 19) que tienen por finalidad percibir el movimiento y convertirlo en señales eléctricas de tensión y corriente quienes percibirán el movimiento y lo transformaran en una señal representativa que permita el monitoreo.

La idea es construir un dispositivo que cumpla con las funciones de un goniómetro digital que facilite conocer el ángulo del arco de movimiento en la flexo extensión (Figura 5, página 15) del brazo. De modo que más adelante, se complemente el sistema, con alternativas que acoplen otros sistemas que permitan la medición de otras variables, buscando así una descripción más detallada del movimiento del codo.

El dispositivo sirve para hacer redes de sensores, es decir usar varios sensores y recibir información de varios de ellos, ver ANEXO C (Red Zigbee).

De esta manera se puede complementar el sistema en proyectos posteriores con la implementación de otras características de medición, luego, existe la opción de llegar a tomar datos de manera simultánea en varios pacientes.

Para el procesamiento de los datos adquiridos, se desarrolla una plataforma software capaz de comunicarse con el dispositivo, de manera inalámbrica o por medio del registro de datos manualmente, para ingresar la información. Esta plataforma estaría desarrollada para el entorno de Windows [9].

Por otra parte, hay cuatro aspectos para tener en cuenta en la evaluación:

- **El usuario:** En esta etapa se tiene la identificación del paciente.
- **Monitor de Actividades:** Se muestra la información recopilada inalámbricamente (ver 2.6.4), con su respectiva hora, fecha, ejercicios, actividades.
- **Configuración:** Se fusionan el dispositivo, el sistema de control, y la adquisición de datos, acomodando la frecuencia de muestreo y el tipo de interfaz dispositivo-usuario dependiendo de la variable que se desea adquirir.
- **Monitorización en tiempo real:** Muestra la información recibida, para facilitar el análisis por parte del especialista.

De ésta manera, el sistema de ARCO incluye una base de datos donde se administra la información del usuario y el historial de los datos muestreados, con la versatilidad de poderse procesar en bases de datos en Excel o se pueda compartir la información con otras aplicaciones.

## 1. Kit de desarrollo Sun Spot

La herramienta tecnológica con la que hemos trabajado en esta tesis [9], recibe el nombre de *Sun Spot* diseñado y desarrollado por SunMicrosystems en USA. Como sus siglas lo indican es una tecnología de pequeños objetos programables, en donde cada unidad de dispositivo es un conjunto integrado de microprocesador, modulo de radio y sensores, el cual se comunica con los demás dispositivos de forma inalámbrica mediante el protocolo IEEE 802.15.4 a una frecuencia de 2.4 GHz.

La programación de este dispositivo se realiza mediante lenguaje Java y su ejecución de software se realiza sobre una plataforma de aplicación llamada Squawk, la cual se define como 'Maquina Virtual' en términos de Java, pero adicionalmente también hace las funciones de un sistema operativo.

Sunmicrosystem es una empresa con buen prestigio en la construcción de mini dispositivos, a bajo costo, además de cumplir con los requerimientos del proyecto [9].

Sus competidores fuerte son Texas instrument y Analog pero por la relación costo/beneficio que ofrece Sunmicrosystem se convirtió en una excelente opción; a nivel técnico su programación es mas sencilla que la que ofrecen otros fabricantes, luego, sus prestaciones superan las expectativas permitiendo adaptaciones para trabajos futuros(ver ANEXO C), en este campo los otros presentan limitaciones pues deben realizar mas hardware para obtener los beneficios que el dispositivo escogido ofrece en un solo chip, a continuación, veremos de manera más detalla el funcionamiento de los

nodos spots junto a la estación base.

### Configuración

La configuración del SPOT contiene un procesador principal, el cual ejecuta el Squawk y sirve como un nodo de red inalámbrica IEEE 802.15.4. Contiene un administrador de consumo de potencia pudiendo operar en diferentes modos según las necesidades de tal forma que se pueda tener ahorro de batería. Se puede alimentar mediante una batería recargable incluida, usando el puerto USB o algún otro suministro externo de energía. [9]

Para el sistema completo de la aplicación, se cuentan con dos tipos de dispositivos: La estación base y los Spot nodos con board de sensores, los datos a continuación están tomados de la tesis de John Batista y Celso Forero, en el capítulo 4.[9]

### Estación base

Es un Spot pero sin la batería y sin la tarjeta *hija* de sensores. La energía es suministrada a través del puerto USB mientras está conectada a un Laptop, Desktop u otro terminal de trabajo. Este dispositivo tiene la función de servir como puerta de enlace para comunicarse con los demás dispositivos Spots mediante señal de radio standard IEEE 802.15.4.

### Spot – Nodo sensor

Está compuesto por 2 tarjetas impresas: una board principal alimentada por una batería recargable prismática LI-ION, y una board *hija* que contiene los sensores, botones pulsadores, leds, conectores auxiliares de entrada y salida. A continuación se describe en detalle, en la Figura 21

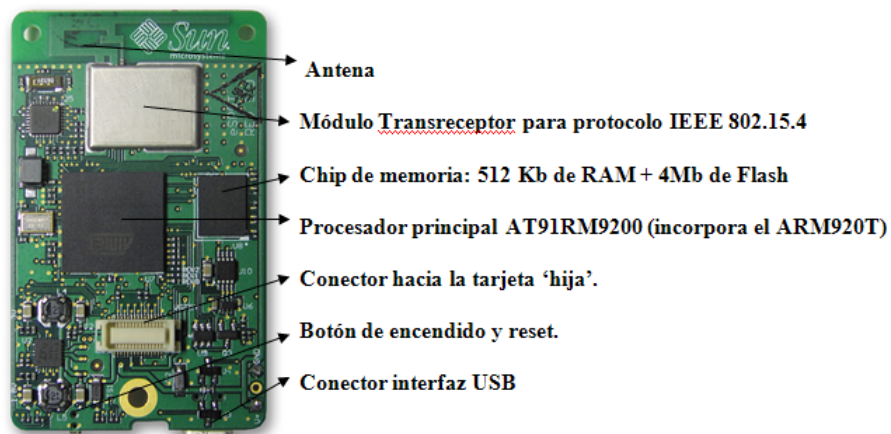
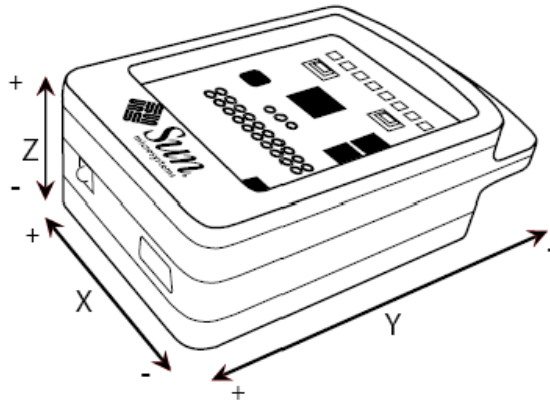


Figura 21. Configuración de la tarjeta principal de un spot

## 2. El Acelerómetro

En la tarjeta hija va montado el acelerómetro LIS3L02AQ3, el cual es un sensor inercial de 3 ejes fabricado por ST Electronics. Puede ser configurado para escoger rango máximo de  $\pm 2g$  o  $\pm 6g$ .

La forma como van ubicados sus ejes con respecto al Spot se puede observar en la siguiente figura:



**Figura 22.** Direcciones de los ejes x, y,z del acelerómetro LIS3L02AQ3 en un SPOT.

El acelerómetro tiene 3 voltajes de salida:  $V_{out\_x}$ ,  $V_{out\_y}$  y  $V_{out\_z}$ , representando así aceleración en 3 ejes a través de estas señales analógicas que luego son digitalizadas[9].

El Spot está alimentado con una batería Litio – ion de 3.7 V aislada con un empaquetado plástico lo que hace seguro para su uso haciendo contacto sobre el cuerpo humano.

El Spot transmite a una frecuencia de 2.4 GHz y se puede configurar para transmitir a una potencia entre -25 dBm y 0 dBm, lo que equivale a una potencia máxima de 1 mW. La antena queda ubicada sobre el paciente a 2 cm de la piel del brazo, aproximadamente a 20 cm del corazón y con una distancia aún mayor del cerebro.

Cabe aclarar que el tiempo promedio que el paciente va a estar en contacto continuo con este aparato de medición, es de 10 minutos.

En consecuencia de lo anterior se tiene que el SunSpot es un dispositivo de baja potencia no perjudicial para la salud, comparable con los teléfonos inalámbricos comunes usados en el hogar.

En el ANEXO B se muestran los límites aceptables para la exposición humana a los campos electromagnéticos.

## **4. PERFIL DE USUARIO**

El grupo poblacional al cual se dirige ARCO, se ha determinado por observación directa, investigación, encuestas y entrevistas. Ver tablas 5 y 6 (página 39). Entre los tipos de usuario se tienen:

### **1. Tipo de usuario**

Al agrupar la cantidad de usuarios teniendo en cuenta la función (medición del ángulo en el movimiento de flexo extensión), complejidad del sistema (manejo del software, estación base, nodos spots), tecnología del dispositivo (Sun Spot ver numeral 3.1.3.1) y el entorno (Centros de rehabilitación, salas de fisioterapia de clínicas y hospitales, laboratorios de pruebas de centros educativos), se pueden establecer dos tipos de relaciones ergonómicas, es decir ARCO es usado por varios tipos de personas definiéndose dos tipos de usuario.

- Usuario Primario:

Este tipo de usuario se divide en dos A y B; el tipo A es el profesional (Fisioterapeuta, Fisiatra, Ortopedista) quien experimenta la necesidad directa en cuanto a la medición de variables, es el quien realiza la medición en grados del movimiento de flexo - extensión y evalúa los resultados durante las sesiones de terapia. El tipo B es usuario líder pues es quien tiene contacto directo con el dispositivo, y es así como establece una relación ergonómica directa con ARCO, pues sobre su brazo se colocan los nodos spots, y este inicia la rutina de ejercicios asignada por el profesional.

- Usuario Secundario:

Es la persona que por casualidad interactúa con el producto, esto quiere decir que a través de actividades esporádicas puede o coayudar al usuario líder. Puede ser un auxiliar de laboratorio o un familiar.

### **2. Actividad**

Los usuarios realizan actividades primarias y secundarias, el usuario primario tipo A, tiene como actividad primaria la medición del ángulo, y dentro de las secundarias tiene: el montaje del dispositivo, manejo del software, la limpieza, el almacenaje y el transporte.

La actividad primaria del usuario tipo B es el movimiento de flexo-extensión, sus actividades secundarias pueden ser coayudar en algunas actividades secundarias al usuario A.

PERFIL DE USUARIO – tipo A				
<b>Tipo de usuario</b>	<b>Directo</b>	<b>x</b>	<b>Indirecto</b>	
<b>Actividad</b>	Toma de la medición del ángulo del codo			
<b>Ocupación</b>	Fisioterapeutas			
<b>Sexo</b>	<b>Masculino</b>		<b>Femenino</b>	<b>x</b>
<b>Edad</b>	20 – 35 años			
<b>Características Físicas Generales</b>	<b>Discapacidad</b>	Ninguna		
	<b>Enfermedad</b>	Ninguna		
	<b>Otra</b>	-		
<b>Observaciones</b>	La ocupación puede variar			

Tabla 5. Perfil de usuario primario tipo A

PERFIL DE USUARIO – tipo B				
<b>Tipo de usuario</b>	<b>Directo</b>	<b>x</b>	<b>Indirecto</b>	
<b>Actividad</b>	Movimiento de flexo - extensión del codo			
<b>Ocupación</b>	No hay gremio definido			
<b>Sexo</b>	<b>Masculino</b>	<b>x</b>	<b>Femenino</b>	<b>x</b>
<b>Edad</b>	20 - 59 años			
<b>Características Físicas Generales</b>	<b>Discapacidad</b>	Limitación del movimiento en el codo		
	<b>Enfermedad</b>	Ninguna		
	<b>Otra</b>	Lesiones o fracturas		
<b>Observaciones</b>	El sexo, el gremio y la edad varía para cada paciente			

Tabla 6. Perfil de usuario primario tipo B

## 5. ANALISIS DE MATERIALES

Las posibilidades de materiales en cuanto al diseño estructural y formal, se inclina a materiales de naturaleza ortopédica como son los polímeros, todo teniendo en cuenta las posibilidades de encontrarlos en el mercado local.

### 1. NEOPRENO:

El neopreno, conocido originalmente como dupreno (duprene en inglés), fue la primera goma sintética producida a escala industrial. Se usa en una gran cantidad de entornos, como trajes húmedos de submarinismo, aislamiento eléctrico y correas para ventiladores de automóviles. Su inercia química lo hace útil en aplicaciones como sellos (o juntas) y mangueras, así como en recubrimientos resistentes a la corrosión. También puede usarse como base

para adhesivos. Sus propiedades lo hacen útil como aislante acústico en transformadores.

## **2. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD:**

Desarrollado industrialmente en Inglaterra hace cerca de medio siglo, es una de las materias plásticas más conocidas y más extendidas en el mundo. Varios procedimientos que varían esencialmente en función de la presión aplicada permiten fabricar polietilenos cuyas características son diferentes. Estos plásticos se encuentran en muchos sectores (artículos domésticos, juguetes, botellas, películas para envases, revestimientos de cables, tubos, etc.). Fácil de maquinar, por lo que se reducen los tiempos muertos por reposición de partes de equipo al ser fabricadas en este material. Se trabaja tan fácil como la madera. Es Dieléctrico luego es ideal para piezas que van en equipos eléctricos o electromecánicos.

## **3. POLIAMIDA:**

Una poliamida es un tipo de polímero que contiene enlaces de tipo amida. Las poliamidas se pueden encontrar en la naturaleza, como la lana o la seda, y también ser sintéticas, como el nailon o el Kevlar. Se denomina velcro a un sistema de apertura y cierre rápido. Cuenta en un lado con unos ganchos más o menos deformables que se agarran a una tira de fibras enmarañadas. La palabra proviene del francés velours (terciopelo) y crochet (gancho). Velcro® es una marca registrada. Los cierres de poliamida marca VELCRO® están compuestos por dos partes: gancho y bucle. La cinta tejida de gancho "hook" consiste en unos diminutos y flexibles ganchos que se agarran a la cinta compuesta de pequeños y suaves bucles "loop". Al presionar la una con la otra, se consigue un cierre ajustable, altamente seguro y disponible en una variedad de características de fuerza y requerimientos diversos de ciclos de v i d a .

Las empresas Velcro disponemos de una amplia variedad de cintas bucle marca VELCRO® (tanto tejidas como tejido de punto).

Las cintas bucle tejidas pueden ser perchadas y sin perchar. La cinta perchada está formada por unos bucles de poliamida tejidos que se desorientan aleatoriamente en un proceso posterior al tejerse. La cinta sin perchar es una cinta tejida de poliamida que no está perchada. [18]

## **4. POLIMETILMETACRILATO:**

El poli (metil metacrilato), llamado también PMMA, es un plástico claro, usado como material irrompible en reemplazo del cristal. El PMMA es miembro de una familia de polímeros que los químicos llaman acrilatos, pero el resto del mundo les dice acrílicos. El acrílico, es una de las tantas variantes del plástico. La gracia del acrílico, es que puede permanecer largo tiempo, en la

intemperie, sin sufrir daño alguno. Debido principalmente, a lo antes señalado, como al hecho de que es un tipo de plástico, más flexible de lo normal. Lo que lo hace aún más fácil de trabajar. El acrílico es ocupado en la protección de equipos eléctricos, para letreros luminosos, señalización, incluso en la fabricación de muchas de las bandejas que hoy en día, se utilizan en las casas.

Por otra parte, el acrílico es mucho más resistente que el vidrio. Con lo cual, no es fácil que se rompa y, de hacerlo, no se astilla. Con lo cual, uno no corre riesgos de lesiones, debido a cortes producidos por su quebradura. Por otra parte, para los más ecologistas, el acrílico es sumamente útil, ya que puede ser reciclado, en un 100%

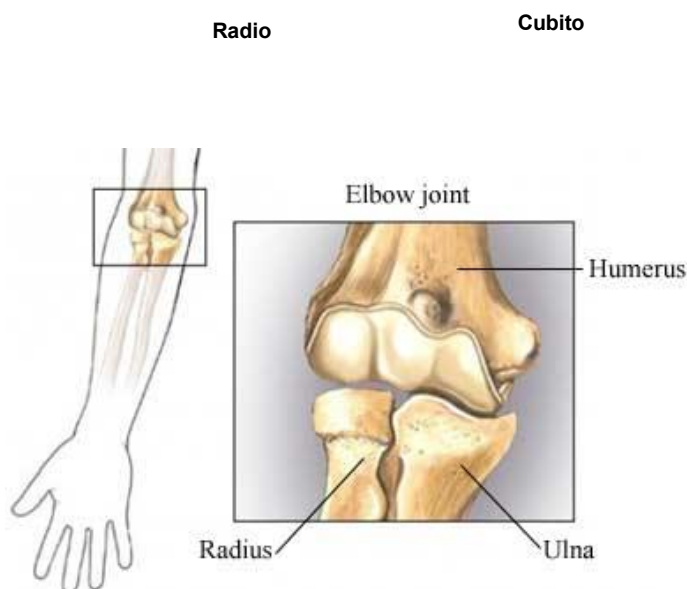
Por otra parte, el acrílico es bastamente utilizado, en el embazado de alimentos, por su alta capacidad de conservación. Estas cualidades más las mencionadas anteriormente convierten al acrílico en un material bastante popular en el mundo de hoy.

### **ANÁLISIS GENERAL DE MATERIALES**

Los materiales que se enuncian se encuentran en la ciudad, son de fácil adquisición y de manufactura rápida. La tendencia va por el neopreno, pues su flexibilidad lo hace apto para diseñar fundas que se ajusten perfectamente al objeto a proteger, al igual que la adecuación al perímetro del brazo y antebrazo, ya que este se usa comúnmente en la elaboración de trajes para buzos y en algunos casos en aplicaciones de carácter industrial. En cuanto a los elementos de adaptación el velcro o cierre ajustable, se encuentra en el mercado en una amplia variedad de cintas, es una de las opciones como elemento de cierre para poder cubrir un mayor número de usuarios entre los percentiles seleccionados.

## 6. ANÁLISIS DE LA ARTICULACIÓN

Húmero



**Figura 23.** Articulación del codo

La unidad funcional del codo representa el 70% de la función de la extremidad superior. El codo posee dos unidades funcionales de movimiento, a cada una de las cuales le corresponde un valor relativo de su función.

Las deficiencias de movimiento de codo se convierten en deficiencias de la extremidad superior multiplicando estos valores por el 70% de la siguiente forma:

Flexión y extensión: 60% de la función del codo:  $60\% \times 70\% = 42\%$  de la función de la extremidad superior.

Pronación y supinación del codo: 40% de la función del codo:  $40\% \times 70\% = 28\%$  de la función en la extremidad superior.

De ahí la vital importancia de la valoración de la articulación, luego el examen y la exploración del codo forman parte del análisis del movimiento ya que se constituyen en la herramienta fundamental para el desempeño y funcionamiento del codo [27]

## 1. Examen del codo



**Figura 24.** Examen en el codo. Fuente: [www.corbis.com](http://www.corbis.com)

- Inspección: Se observa la actitud y la forma general de la articulación ya que puede haberse modificado. ANEXO D.
- Palpación: Búsqueda de puntos de referencia óseos normales.

- Balance articular: Se parte de la posición anatómica extensión completa. Ver páginas 10 y 15.

Flexión 0 a 140°: Algunos consideran la flexión máxima hasta los 160°, lo cual es casi siempre imposible debido a la limitación provocada por el bíceps, que, al estar contraído, impedirá continuar la flexión del codo. En general no existe cifra exacta, siempre se compara con el lado sano. La flexión normal del individuo es la exploración del lado sano; lógicamente si éste no llega a los 140° no se debe obligar al lado lesionado a que lo haga.

Extensión 0°: Si la extensión completa es imposible, lo expresaremos en valores negativos. En algunos sujetos normales puede encontrarse movimientos de hiperextensión de 0 a 15°.

- Balance muscular: La atrofia muscular debe ser medida en los perímetros máximos: tercio medio del brazo y tercio superior del antebrazo. Se pueden medir la longitud del brazo (acromion – epicóndilo) y del antebrazo (epicóndilo y estiloides radial). Ver figura a continuación.



**Figura 25.** En el brazo (acromion – epicóndilo) y del antebrazo (epicóndilo y estiloides radial). Fuente: [www.fisiobrain.com](http://www.fisiobrain.com)

Imprescindible será la exploración de la acción muscular, siendo necesario el estudio analítico músculo por músculo, ya que solo ello permite un balance muscular completo, que posteriormente pueda servir como elemento de comparación. Es indispensable dar valor a cada músculo. Ver ANEXO E.

## **2. VOZ DEL CLIENTE**

La voz del cliente es toda la información que fluye de ellos, el ¿qué quiere? y depende del concepto seleccionado, de si son técnica o económicamente factibles, y de estudiar la experiencia en el ambiente de uso del producto. Luego una vez concluida la investigación, la información recopilada se fusiona en una síntesis para establecer finalmente los requerimientos de diseño

Los pasos para encontrar necesidades, siguen a continuación:

- Recopilar datos sin procesar de los clientes (encuestas)
- Interpretar los datos (traducirlos)
- Jerarquizar las ideas (requerimientos) y establecer su importancia
- Reflejar los resultados en el proceso

Se complementan los datos obtenidos de la voz del cliente con el análisis de factores objetuales, tales como: Peso, materiales, textura, acabados, controles, indicadores, tecnología, color, tamaño y forma; igualmente observaciones subjetivas en cuanto a la observación en el ambiente real.

## **1. Encuesta**

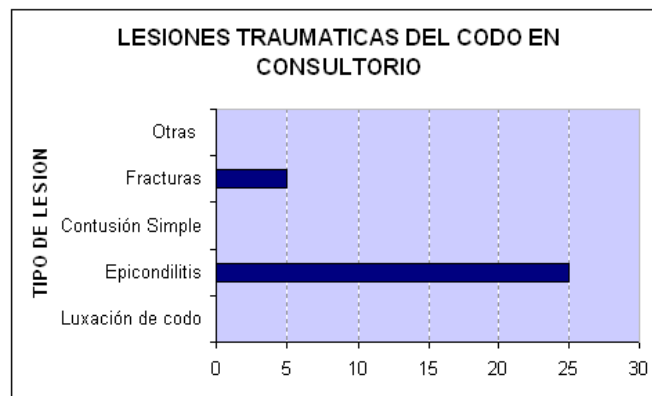
La encuesta que se realiza como herramienta de recolección de datos es decir para describir un método de obtener información de una muestra de individuos. Esta "muestra" es usualmente sólo una fracción de la población bajo estudio, luego la encuesta aplicada a continuación se realizó a Fisioterapeutas ver Tabla 5 (página 39) de la ciudad Bucaramanga. El formato de la encuesta se encuentra en el ANEXO A.

- **Objetivo de la encuesta:** Conocer la percepción del prospecto (usuario potencial), en nuestro caso las fisioterapeutas, con respecto al nuevo producto a incursionar en el mercado, además, recibir información clave sobre las características (los puntos a trabajar) de mayor importancia en el dispositivo ARCO.

- **Formulación del cuestionario:** Se construyó con las dos clases de preguntas tipo cerrada y abierta. La primera parte del cuestionario maneja los aspectos claves de la valoración de la articulación, en la segunda fase la aceptación del futuro producto en el mercado y para terminar, las características que desearían en ARCO.

- **El trabajo de campo:** consistente en la obtención de los datos. Para ello se contó con la participación de fisioterapeutas del Hospital del Norte, Coomeva, Coofioriente y particulares.
- **Obtención de resultados:** Los datos se analizan a través de gráficas y tablas que facilitan el posterior análisis.

Los resultados a continuación, se obtuvieron de las respuestas de 25 fisioterapeutas que respondieron la encuesta (número de muestra para un margen de error de 9% en una población objetiva de 32). La toma de datos se realizó en el período transcurrido de febrero 10 – marzo 2 del 2007, en los centros enunciados anteriormente (ver 3.1.2. ANÁLISIS DE MERCADO). De la ciudad de Bucaramanga en su área metropolitana, a través de encuestas personales realizadas por la autora de esta tesis.

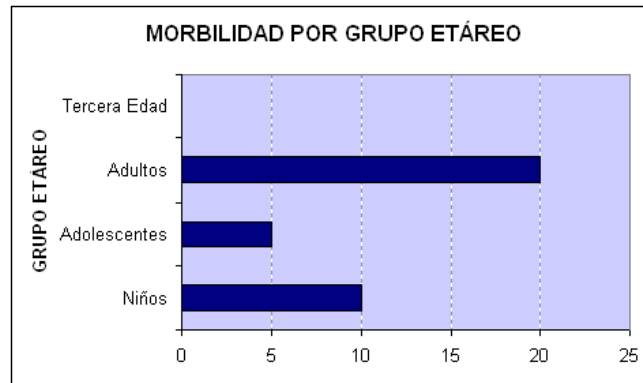


**Figura 26.** . Índice de lesiones traumáticas del codo. Fuente: Autor.

El tipo de lesión más frecuente que atienden las fisioterapeutas (como se ve en la gráfica) es la epicondilitis; la epicondilitis se presenta por sobre utilización articular (ver anexo D), luego el movimiento del brazo es doloroso y limitado, el tratamiento se realiza a través de antiinflamatorios vía oral o de forma tópica (pomadas o geles). En algunos casos se realiza inmovilización con férula de yeso con el codo flexionado tanto lo permita el edema del codo, hasta los 90°, por un plazo de 10 a 15 días, posteriormente se realiza el retiro de la férula y se inicia la terapia con movilizaciones activas, lentamente progresivas en el curso de los días, se repiten los movimientos de flexión y extensión, 4 a 6 veces al día, por 10 minutos cada vez, seguidas de aplicaciones de calor local. El paciente debe ser controlado estrechamente, ojala todos los días o dos veces a la semana. Están prohibidos los movimientos pasivos, masajes, sesiones de extensión o flexión forzada, pues, esto lleva a miositis oscificante y a la rigidez definitiva de la articulación. El control clínico debe mantenerse hasta el total restablecimiento de la movilidad angular, esto nos indica la gran importancia que tendría ARCO en el proceso

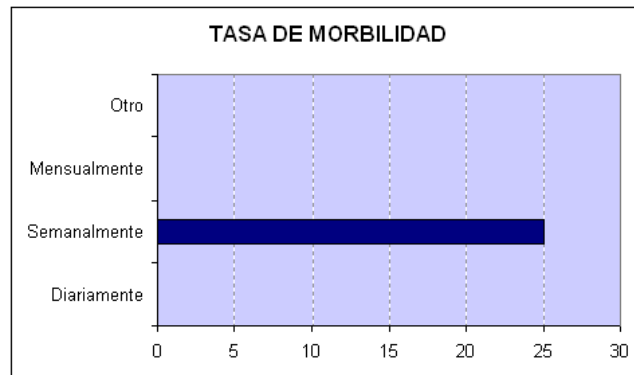
de rehabilitación. En segundo lugar se encuentran las fracturas de codo (ver ANEXO D).

Los adultos son los pacientes que generalmente atienden las fisioterapeutas con traumatismos en el codo, luego están los niños y por último los adolescentes. Luego, el grupo poblacional de ARCO esta dirigido a los adultos, ver numeral 2.3. ANTROPOMETRÍA.

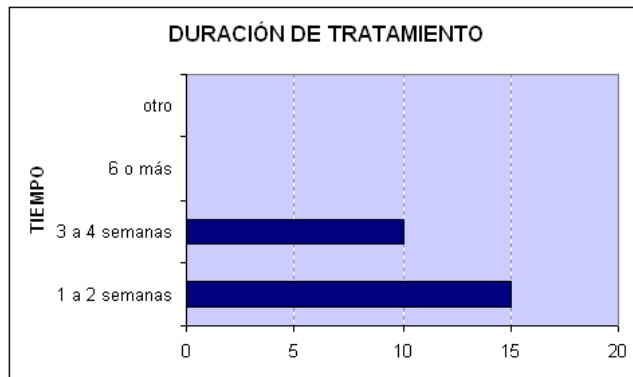


**Figura 27.** Identificación de grupo poblacional más constante con lesión en consultorios.  
Fuente: Autor

La regularidad con que se presentan en el consultorio pacientes con lesiones de codo es semanal ver Figura 28. En cuanto a la duración del tratamiento el más común es de 1 a 2 semanas, seguido de la terapia de 3 a 4 semanas ver Figura 29.



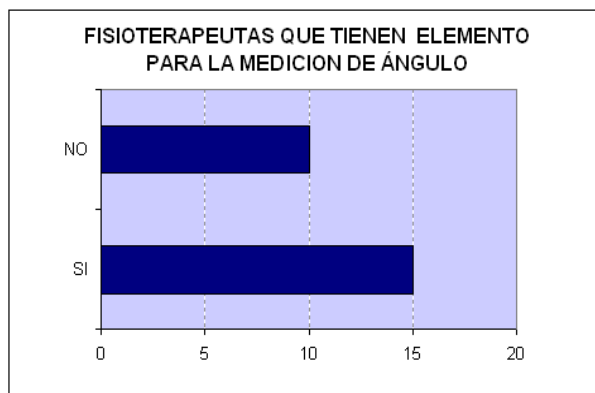
**Figura 28.** Frecuencia de lesiones en el consultorio. Fuente: Autor.



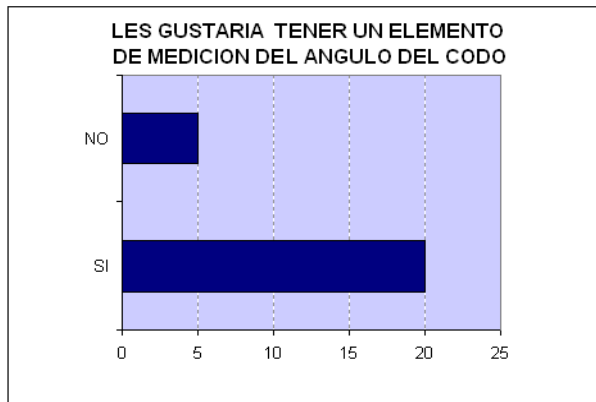
**Figura 29.** Duración de las terapias que realizan las fisioterapeutas. Fuente: Autor.

Los datos obtenidos de las gráficas anteriores muestran aspectos de gran importancia para el desarrollo de la propuesta, ya que ubican dentro del entorno de trabajo de la terapia física, y da un conocimiento acerca de las lesiones más comunes, al igual que el tipo de paciente y el tratamiento mas utilizado.

Las próximas dos figuras nos indican si el mercado objetivo quisiera tener ARCO como una ayuda técnica en el proceso de rehabilitación, y si cuentan actualmente con productos existentes similares.

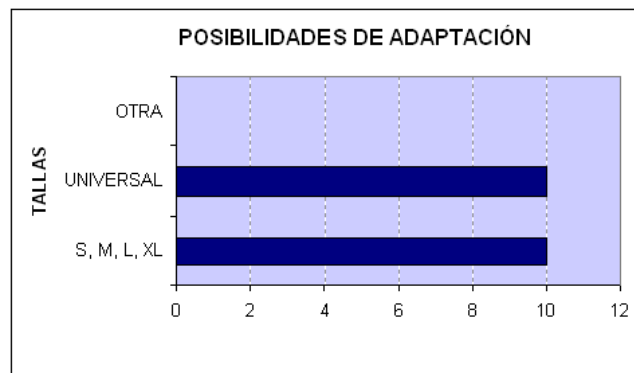


**Figura 30.** Productos similares disponibles. Fuente: Autor.

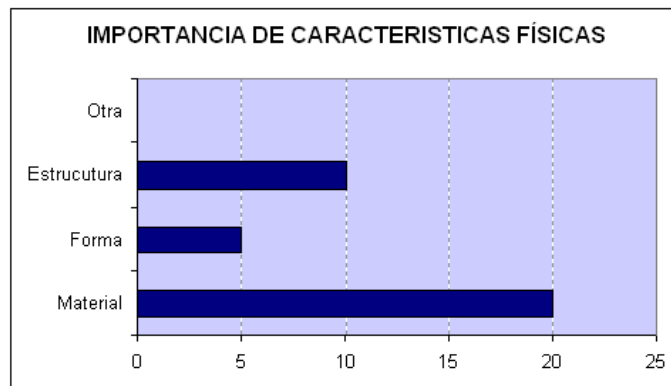


**Figura 31.** Posible incursión en el mercado. Fuente: Autor.

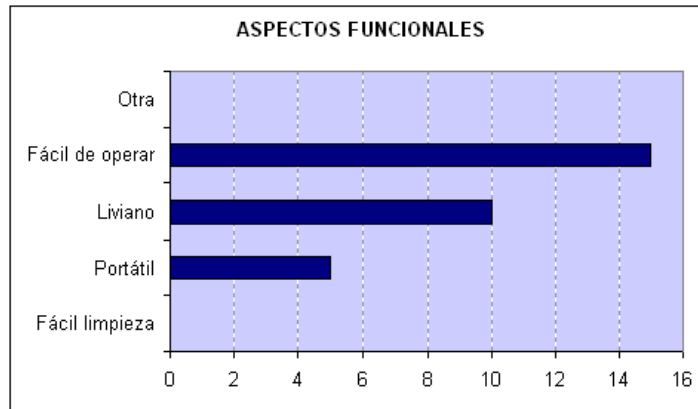
En la siguiente página tenemos las gráficas donde hay aspectos de diseño a trabajar según la voz del cliente. Está la posibilidad de adaptación, pues los pacientes no están sujetos a las mismas características antropométricas; tenemos también la importancia para el usuario en cuanto a requerimientos de tipo formal y estructural, al igual que función y usabilidad.



**Figura 32.** Posibilidades de adaptación. Fuente: Autor.



**Figura 33.** Importancia de Características físicas. Fuente: Autor.



**Figura 34.** Aspectos Funcionales. Fuente: Autor.

## 2. Los ¿Qué?

NIVEL I	NIVEL II	I
1.COMODA PARA TRANSPORTAR	1.1. Fácil de llevar por ser ligero	3
	1.2. Fácil de llevar por ser pequeño	4
	1.3. Cómodo para cargar	5
2. COMODA PARA TRABAJAR	2.1. Se ajuste al ejercicio	4
	2.2. Fácil de manejar	5
	2.3. Medición Dinámica	5
3 . B U E N A S PRESTACIONES	3.1. Puedo medir ángulos	5
	3.2. Fácil de guardar	3
	3.3. Fácil limpieza y mantenimiento	4
	3.4. Puede almacenar datos	2
	3.5. Resistente a agentes externos	3
4. EFICIENCIA	4.1. Es muy preciso	4
	4.2. Agiliza el proceso de medición	3
	4.3. Optimiza los resultados de la terapia	4
5.POSIBILIDADES DE ADAPTACIÓN	5.1. Acopla al ambiente de uso	4
	5.2. Variedad de tallas	5

**Tabla 7.** Características del objeto

### 3. Los ¿Cómo?

<b>NECESIDAD</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
Fácil de guardar	Dimensiones, forma
Ajustable	Tallas
Fácil manejo	Localización de los controles, peso
Precisión	Acelerómetro adecuado
Visibilidad	Angulo de visión
Versatilidad	Localización de controles
Tamaño	Dimensiones
Ligero	Peso, dimensiones, material
Graduables	Dimensiones, nº de posiciones
Acoplable	Forma, geometría, dimensiones
Fácil limpieza	Material, forma, geometría, textura
Fácil mantenimiento	Material, forma, textura
Rapidez de trabajo	Usabilidad, accionamiento, dimensiones, mecanismo
Transporte	Peso, dimensiones, geometría, material
Higiénico	Material, textura, dimensiones, geometría, forma
Durabilidad y Resistencia	Material

**Tabla 8.** Parámetros de diseño a trabajar

### 4. MATRIZ DE CALIDAD

Cómo	Factor Objetual							Alimentación	Ejecución			Usabilidad		
	Qué	Macroelement	Microelement	Geometría	Forma	Materiales	Textura		Producción	Practicidad	Seguridad	Antropometría	Indicadores	Accesorios
Clasificación	<b>Cómoda para transportar</b>	Fácil de llevar por ser ligero	3				5		5					
		Fácil de llevar por ser pequeño	4	4		5	5							
		Fácil de cargar	5	3		4	5	4	3		2	3		
	<b>Cómodo para trabajar</b>	Se ajuste a la guía de ejercicio	4							5	4			
		Fácil de manejar	5	3			3		2		5	3	5	4
		Medición Dinámica	5							5				
	<b>Buenas prestaciones</b>	Puedo medir ángulos	5							5	4	5	5	
		Fácil de guardar	3	4		5	4							
		Fácil limpieza -mantenimiento	4	3	4	5	5	4	4	2	5	5		2
		Puede almacenar datos	2								3	3		5
		Resistente a agentes externos	3			3	3	5	5	1	3	5		
	<b>Eficiencia</b>	Es muy preciso	4								5	5		3
		Agiliza el proceso de medición	3								5	3		3
		Optimiza los resultados de la terapia	4								4	5	3	

<b>Posibilidad de adaptación</b>	Acopla al ambiente de uso	4	3		4	4	3	3		5	5	4		
	Variedad de tallas	5	3	2						5	5	5	3	5
			97	26	100	117	78	68	11	236	196	93	96	51
			109											

**Tabla 9.** Matriz de calidad. Fuente: Autor.

El QFD (Quality Function Deployment) es una herramienta poderosa porque permite canalizar la expresión de las necesidades, afectos y experiencias, que colocan al objeto en la posición de mediador social, liberando al objeto de la función y dotándolo de comunicación.

Los datos obtenidos de la Matriz de la calidad, son las pautas referentes al punto de partida del diseño, el nivel de importancia de la casa del QFD surge de la consideración dada por los usuarios a las respuestas en las encuestas. En nuestro caso, las características de calidad, con mayor puntaje: PRACTICIDAD (236), SEGURIDAD (196), FORMA (117), son los aspectos con los que se inicia a trabajar para solucionar el mayor número de necesidades, con esto se asegura que el producto este enfocado en las necesidades latentes del cliente.

Así, ofrecer un producto que al ser utilizado por el usuario, consiga objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso determinado. Y lo que es más importante, el éxito de la propuesta está en presentar beneficios que el cliente pueda percibir y colmen su necesidad.

### **3. REQUERIMIENTOS**

Es necesario definir claramente los requerimientos de la aplicación desde diversos puntos de vista, para aprovechar las ventajas del dispositivo de tal forma que se adapte a las necesidades del usuario.

#### **1. Formales**

- Los elementos deben estar exentos de bordes filosos con el fin de evitar cortes o accidentes en su manipulación o uso.
- Formas orgánicas coherentes a la anatomía del brazo.

- Equilibrio en la disposición de los elementos (spots), proporcionando simetría.

- El manejo de color y textura adecuada con equipos médicos u ortopédicos.

## **2. De función y usabilidad**

- El número de componentes o piezas no va a ser superior a 5 y van a facilitar el ensamble, transporte y uso.

- En cuanto a las dimensiones teniendo en cuenta la ergonomía y considerando su naturaleza portátil, su diseño debe permitir el acceso total a sus componentes, de ahí que el momento de apilamiento las dimensiones son [8x3x6cm] y en el momento de uso [12 x 5 x 3cm aproximadamente por pieza].

- Se debe proponer una estructura y forma autoportante, economizando de esta manera en materia prima y en procesos de fabricación.

- Los materiales y acabados determinaran la higiene del producto, mantenimiento, limpieza, luego, existe la posibilidad de ser usado y reutilizado sin riesgo a contaminación.

- Deberán considerarse los factores de confiabilidad, higiene, toxicidad, seguridad y peso, buscando no generar efectos colaterales a los usuarios durante o después de la interacción con el objeto.

## **3. Estructurales**

- Es de vital importancia que el dispositivo sea un conjunto compacto, luego sus componentes son: 3 SunSpot (2 spots y una estación), 2 contenedores, y un estuche del equipo.

- Los Spots deben estar ubicados lo mas cercano posible al codo, máximo hasta el tercio medio del brazo. (Ver Figura 11, Página 20)

## **4. Técnico Productivo**

- Los Spots deben estar ubicados a la misma distancia y en el mismo eje ver Figura 22, para una mayor precisión en la medición.

- Los fabricantes de equipos similares aconsejan neopreno como material base del producto. En el mercado encontramos un material de la misma familia conocido como espuma trac.

- Utilizar materiales aislantes de preferencia poliméricos, luego la línea de productos que ofrece Lafayette en el mercado cumplen estas características.

## **5. Ergonómicos**

- Los herrajes o accesorios con alta superficie de contacto para un ajuste más adecuados [2 – 4cm].

- El peso de cada nodo spot 55gr, luego en el brazo estarían 110gr, ARCO tendría un peso no superior a los 125gr, teniendo en cuenta que el dispositivo no esta en el paciente mas de 10 minutos, pues los ciclos de movimiento para evaluación son sesiones cortas (Ver página 37).

- ARCO parte de la talla básica M: 29,6cm, con el perímetro del brazo relajado, percentil 50, ver Tabla 3, página 12. Así, el ajuste va de la talla S a la talla L.

## **6. Económicos y de mercado**

- El valor aproximado de ARCO es \$1.200.000, teniendo en cuenta el tipo de tecnología, la importación y los materiales (Ver numeral 3.1.3).

## **4. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS**

El desarrollo de las propuestas se ha dividido en cuatro ítems: Contenedor, Bandas, Distancias y Sujeción. La ventaja de tener estos aspectos por separado, es que permite evaluarlos de manera independiente e interrelacionarlos buscando la alternativa más óptima que llene las expectativas del usuario.

- Contenedor: este es el depósito en donde se coloca el nodo spot, son dos contenedores, uno va ubicado en el antebrazo y el otro en el brazo, deben estar a la misma distancia y en el mismo eje.
- Bandas: estas son el sistema de sujeción alrededor del brazo, están unidas al contenedor y ofrecen la posibilidad de adaptación por medio de tallas.
- Distancias: los spots deben estar a la misma distancia, tomando como punto de referencia el epicóndilo.
- Sujeción: los diferentes tipo de herrajes que permiten la unión entre los elementos.

A continuación se presentan las alternativas realizadas después de finalizada la etapa de bocetación.

1. Alternativa 1

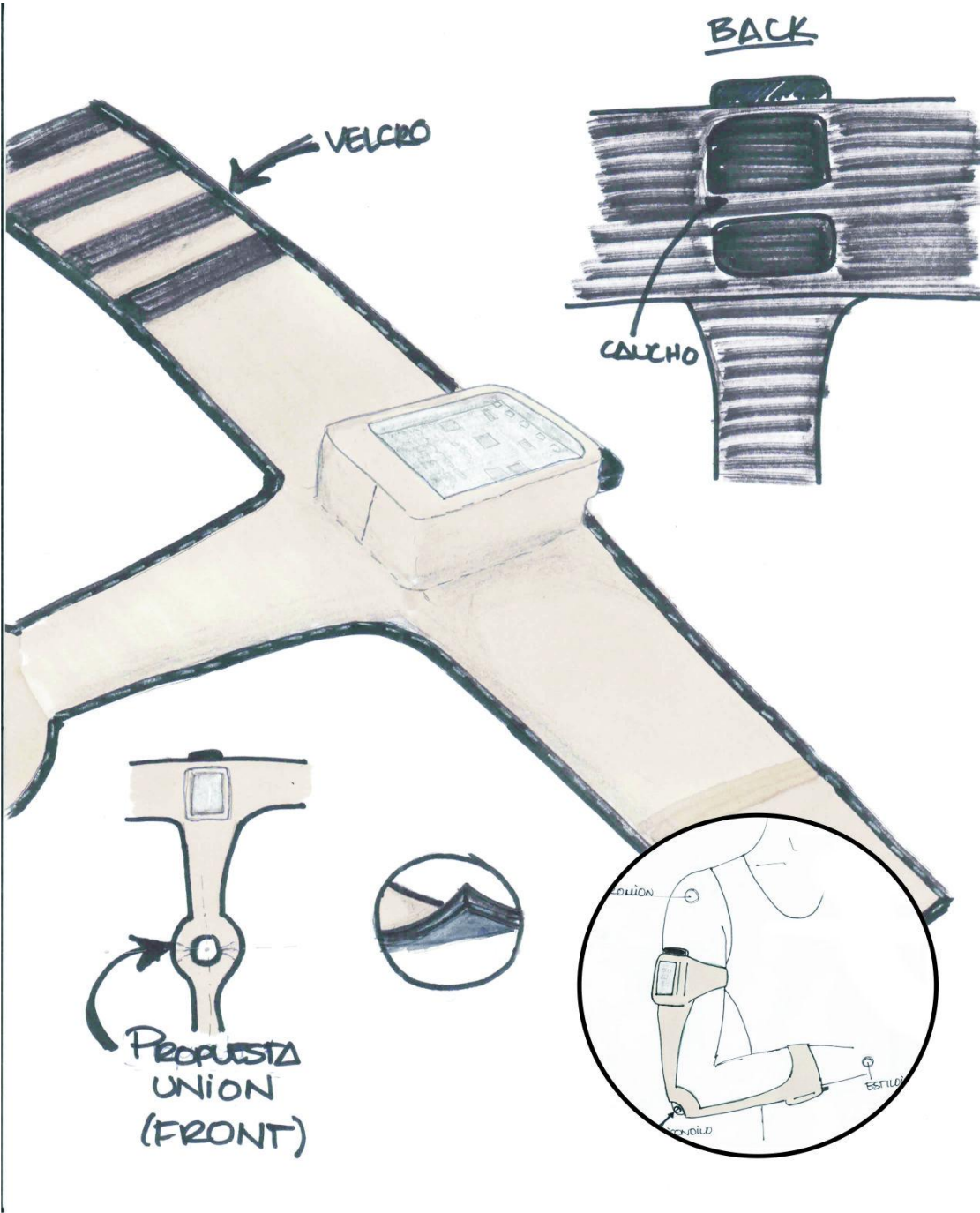
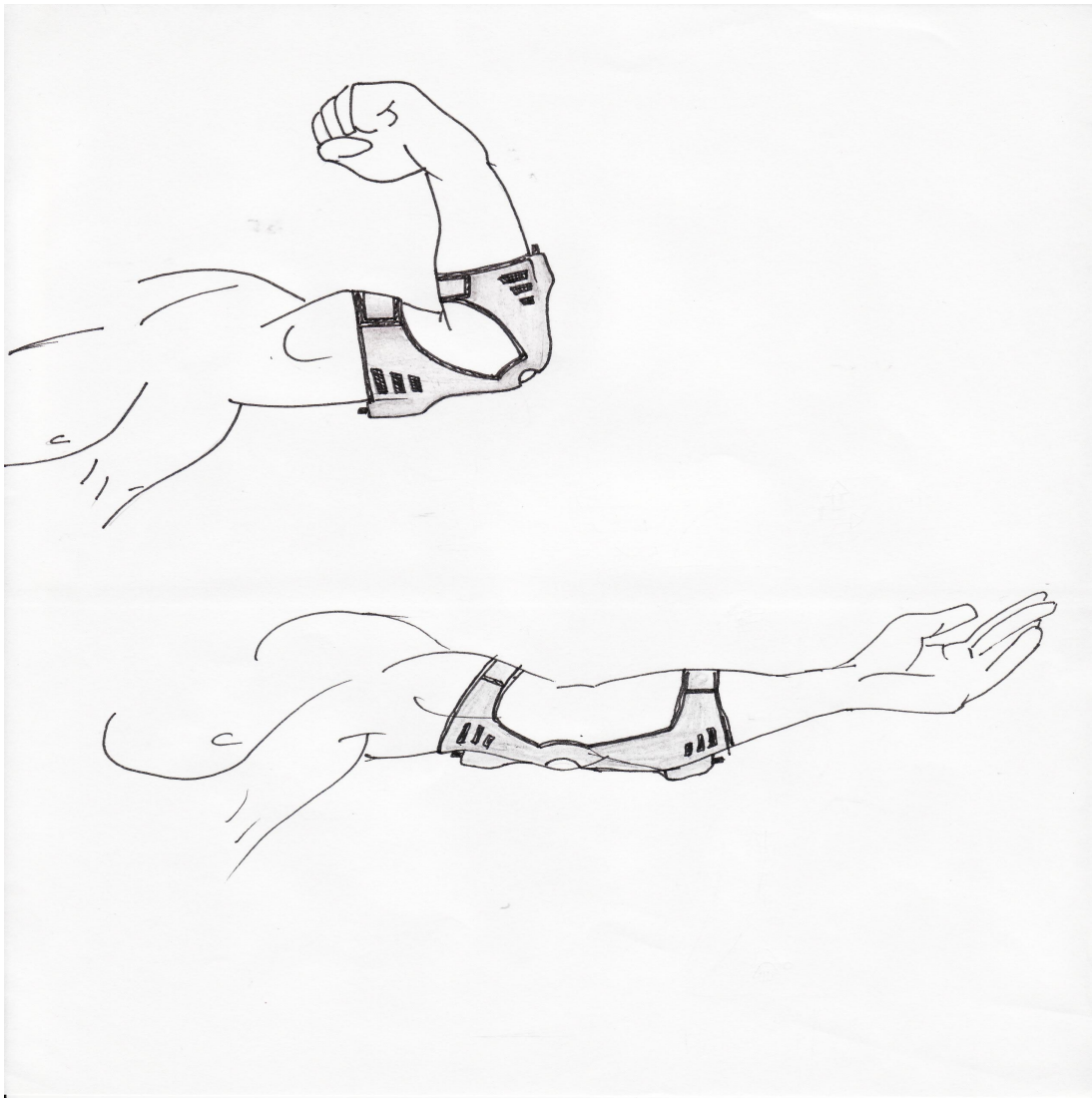


Figura 35. Alternativa 1. Fuente: Autor.

En el desarrollo de esta propuesta se busca hacer un elemento que integre todas las posibilidades como unidad, luego los 4 elementos (contenedor, bandas, distancias y sujeción) son uno solo. El contenedor rodea el spot, y tiene una abertura para la antena que a su vez sirve de ajuste, las bandas están cubiertas de espuma trac, para permitir adherencia al brazo, y el sistema de sujeción de los extremos es en velcro. Las distancias se manejan partiendo del epicóndilo como base, ya que por medio de un agujero se ubica el centro del brazo y de allí sale el spot hacia el acromion y el estiloides. Los bordes tienen sesgo para permitir la unión entre las dos capas de materiales y evitar que el material se deshilache. En la Figura 36 a continuación se ve un boceto de la propuesta en el movimiento de flexo – extensión.



**Figura 36.** Alternativa 1, en moviendo de flexo – extensión. Fuente: Autor

## 2. Alternativa 2

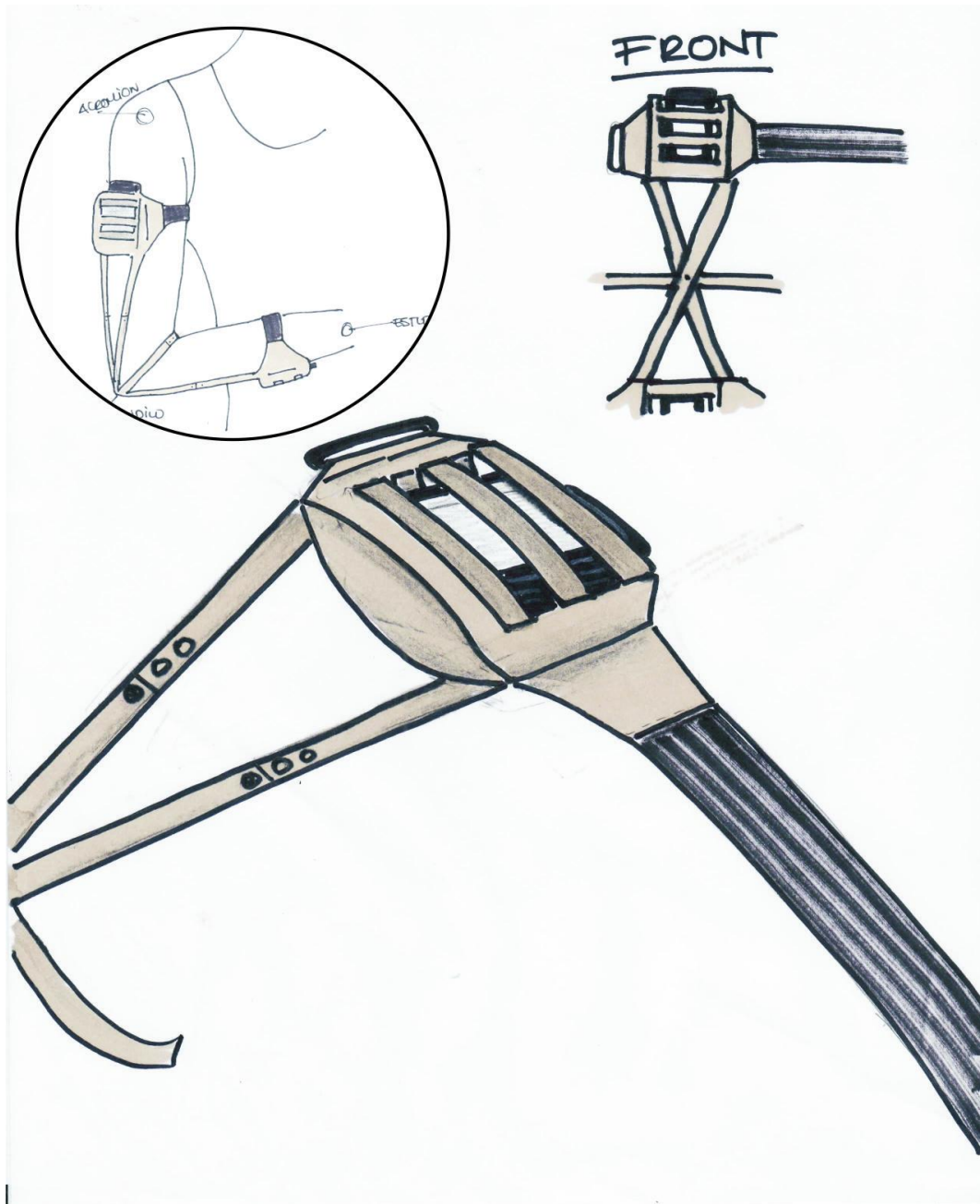
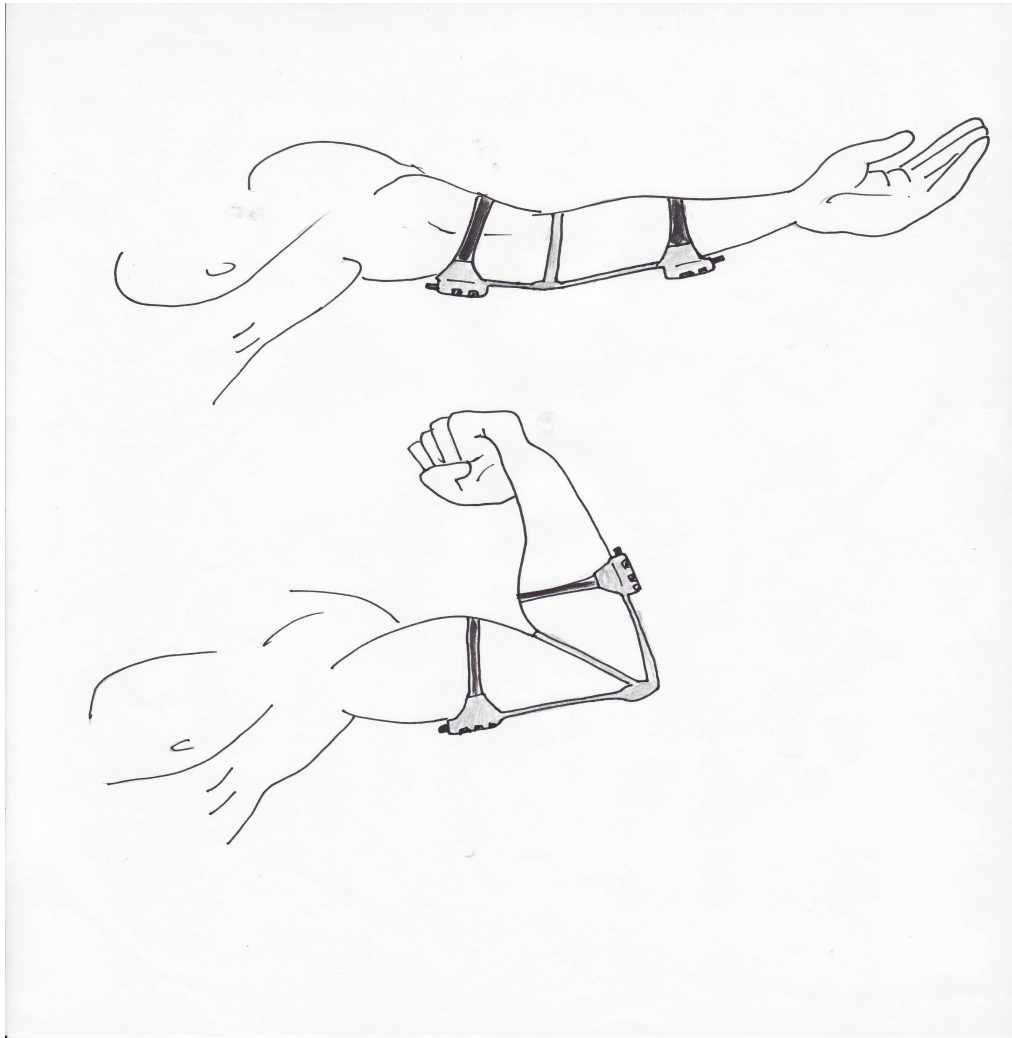


Figura 37. Alternativa 2. Fuente: Autor.

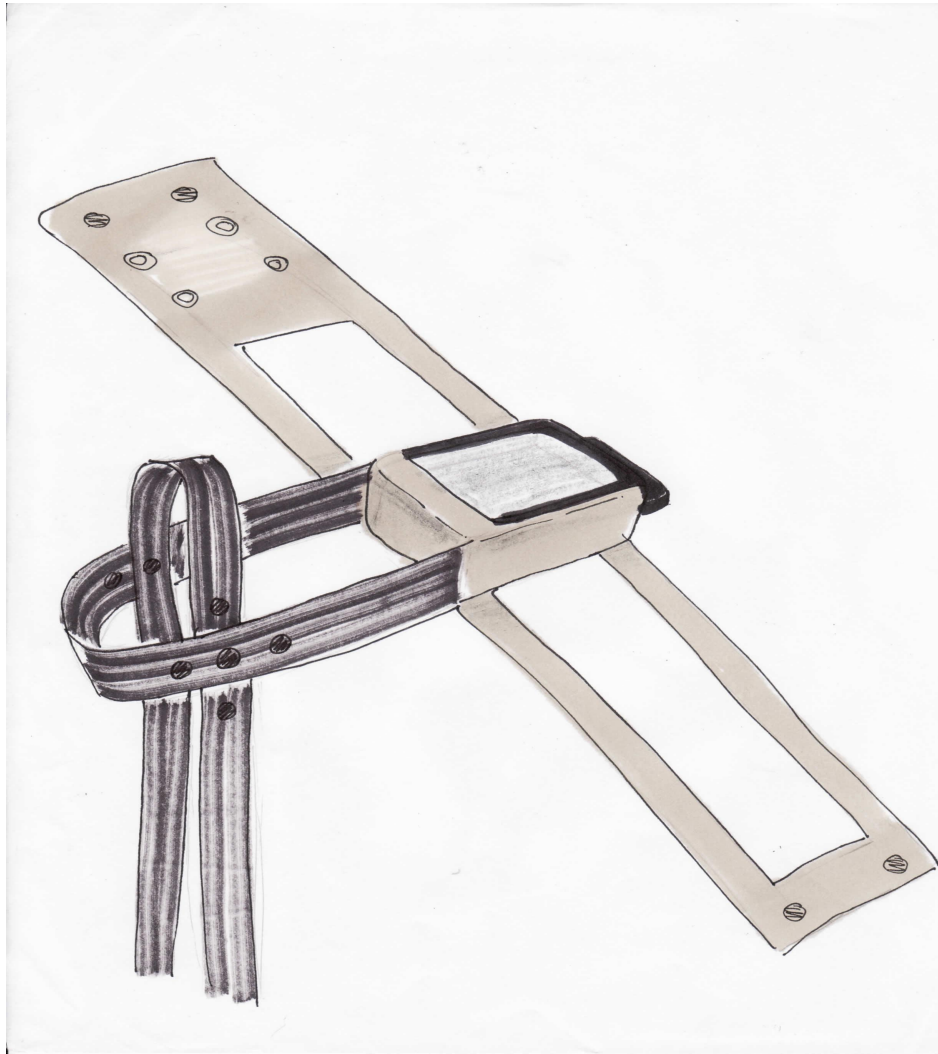
Para esta propuesta se busco eliminar material, liberando a ARCO de peso, luego, el contenedor se trabaja por medio de bandas elásticas en un ritmo de

tal forma que se intercala la ausencia de material con material, del contenedor salen las bandas a rodear el brazo las cuales son en caucho, para ajustarse al perímetro del brazo y los terminales de sujeción son herrajes de plástico (macho - hembra). Las distancias se manejan por diagonales con centro en el epicondilo y se ajustan por medio de broches de acuerdo a la medida deseada. En la Figura 38 se observa el boceto de la alternativa colocada en el brazo.



**Figura 38.** Alternativa 2 en movimiento de flexo extensión. Fuente: Autor.

### 3. Alternativa 3



**Figura 39.** Alternativa 3. Fuente: Autor

Esta propuesta consiste en tirantas, tanto para los diámetros como para las distancias en el brazo, las tirantas que permiten ubicar los spots a la misma longitud del epicóndilo en el brazo y antebrazo son en caucho, y están unidas a través de broches que permiten graduar las distancias. El contenedor del spot lo rodea y de el, salen las tirantas para los perímetros del brazo pero estas no son elásticas pero también están unidas por medio de broches de contacto.

## 5. COMPROBACIONES

Las comprobaciones permiten un acercamiento al funcionamiento del sistema hombre – máquina, luego son claves en el proceso de diseño, pues gracias a ellas se detectan deficiencias en cuanto al diseño o funcionamiento del dispositivo. Entre mas cercano este el modelo a la realidad los datos obtenidos serán mas precisos, lo que da un enfoque más directo en los aspectos por mejorar.

### 1. Comprobación Técnica



Figura 40. Componentes utilizados en la comprobación. Fuente: Autor

La comprobación técnica evalúa el aspecto funcional del dispositivo, el equipo se observa en la Figura 40.

Para iniciar el proceso se realizaron mediciones en los ejes, colocando los spots en diferentes posiciones (Figura 41), y se observaron los respectivos ángulos arrojados dependiendo de la posición, en las gráficas.

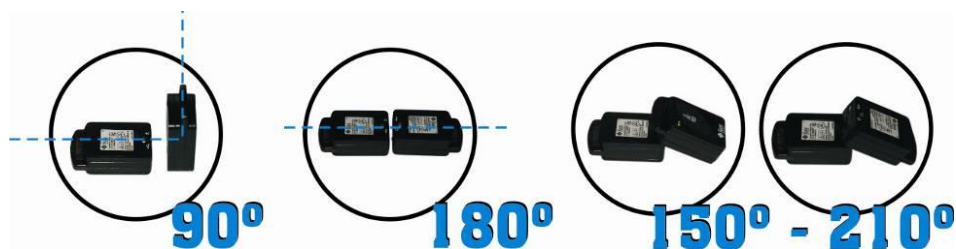


Figura 41. Disposiciones de spots para mediciones de ángulos. Fuente: Autor.

**Objetivos:**

- Medir ángulos en el codo, en movimiento de flexo – extensión con el dispositivo SunSpot.

**Procedimiento:**

Se ubican los spots en el brazo (Figura 42), en el mismo eje y a la misma distancia, quedando cercanos al codo y que el eje “y” de cada aparato quede paralelo al eje del brazo o al antebrazo según corresponda.



**Figura 42.** Ubicación de los spots en el brazo. Fuente: Autor

Luego de que estén debidamente acomodados los sensores se realiza durante 30 segundos los movimientos cíclicos por flexión y extensión, ver (Figura 43), según sea el máximo de arco que pueda lograr el paciente sin ayuda de fuerzas externas.



**Figura 43.** Movimiento de Flexión. Fuente: Autor.

**Precauciones:**

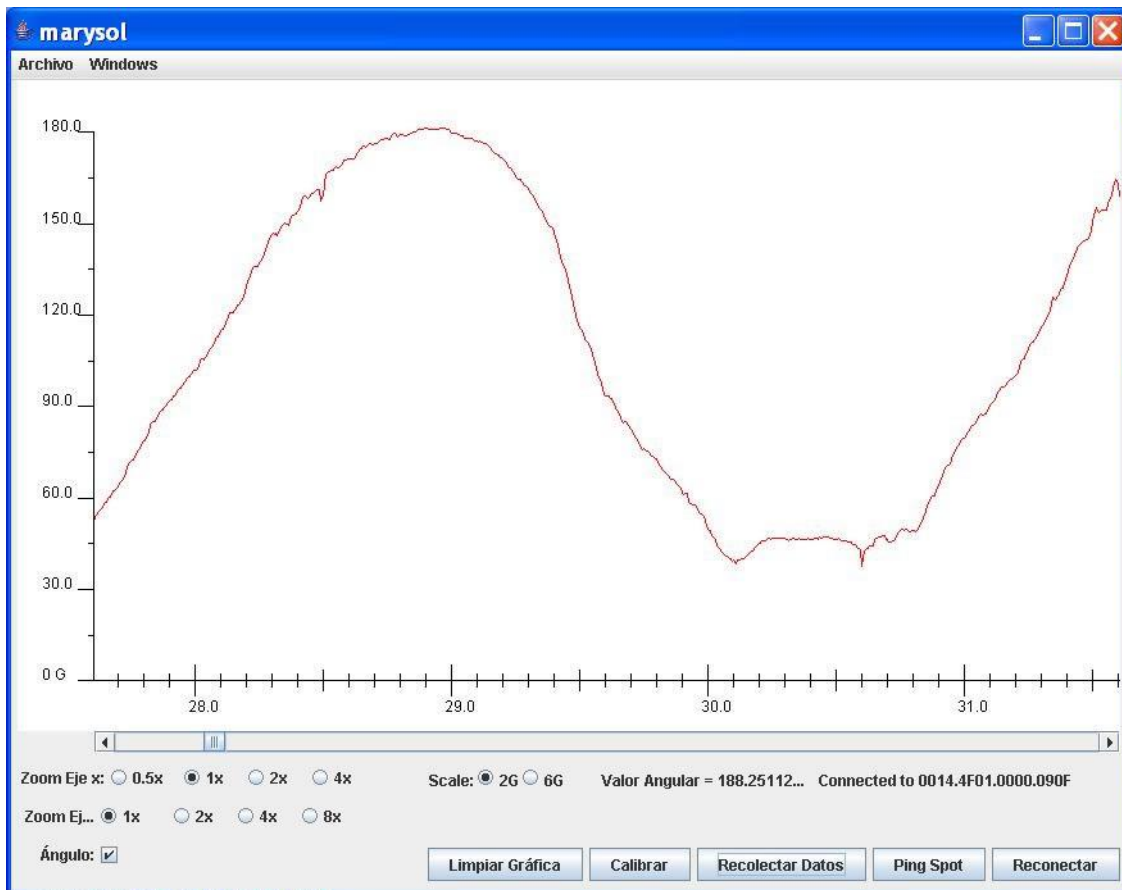
El evaluado se coloca de pie, debe mantener la palma de la mano en supinación.

**Resultado:**

Durante este periodo de tiempo quedan registrados en la grafica la cual se puede guardar para su posterior análisis y comparación con otros resultados, los datos obtenidos del movimiento realizado.

En las gráficas a continuación (ver página 62) obtenidas del software creado para la aplicación se ven las distintas mediciones de ángulo, arrojadas por el dispositivo en un brazo sin lesión en movimiento de flexo – extensión.

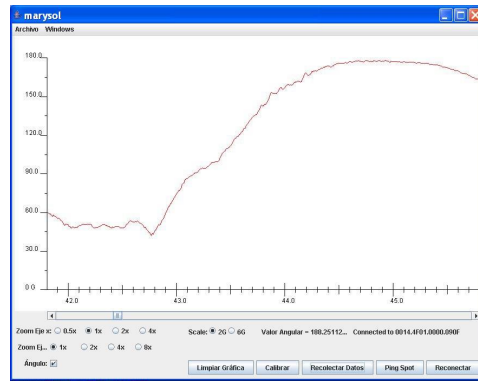
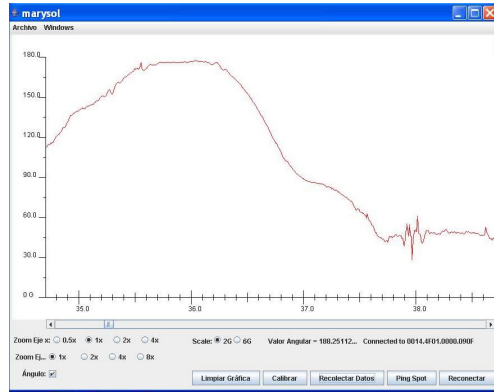
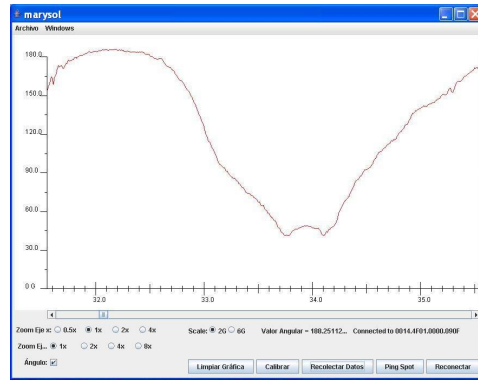
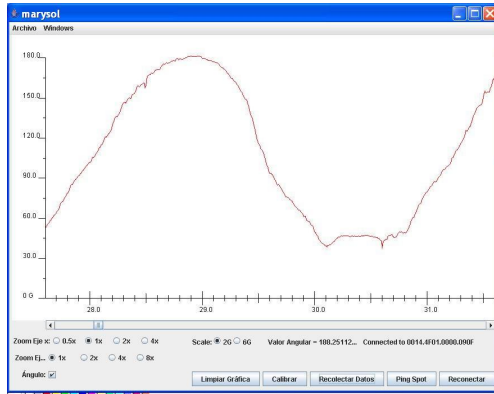
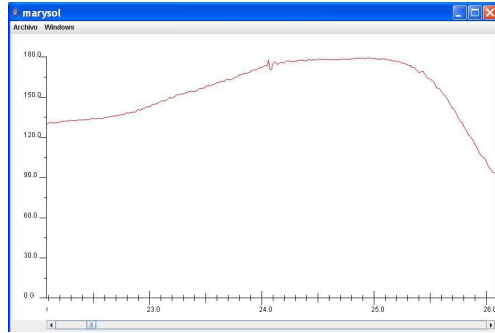
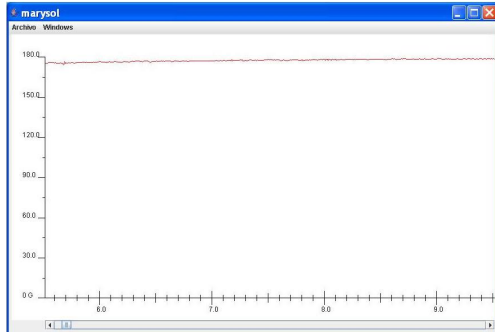
El eje “y” indica los ángulos medidos en grados, el software permite un ajuste de zoom y escala de las gráficas.

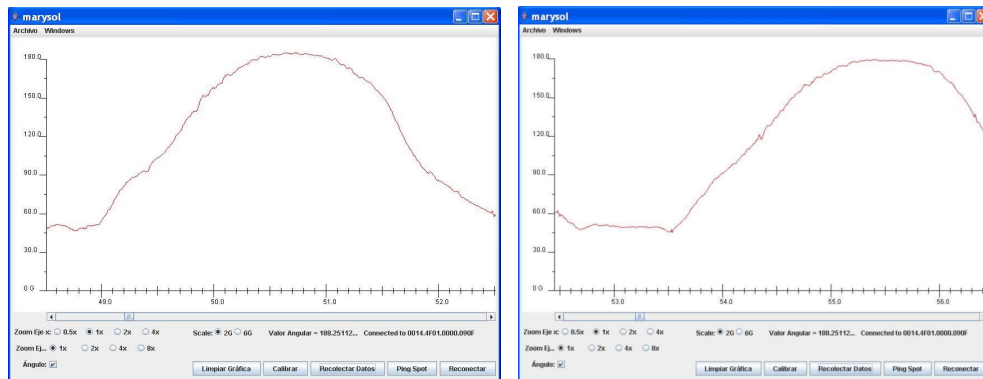


**Figura 44.** Pantalla de visualización del software de la aplicación. Fuente: Autor

La Figura 44 muestra el entorno de la aplicación, en la parte superior el nombre del archivo, ventanas desplegables como en una ventana de Windows, al igual que los botones de la parte superior derecha.

La grafica se traza en los ejes X y Y, teniendo a X como línea de tiempo y a Y como la regleta del ángulo, el ciclo congelado en la imagen va de los 55° a los 180,25°. En la parte inferior de la ventana están las opciones de zoom, escala, valor angular, conexión y los botones de activación del software. El botón de limpiar gráfica permite dejar en blanco la pantalla para iniciar una nueva recolección de datos, el botón de calibrar permite establecer una comunicación con el spot y detectarlo. La página a continuación muestra la secuencia que se realizó en la toma de datos, donde se observa el movimiento de flexo extensión en los ciclos de la gráfica, con esto se logra alcanzar los objetivos propuestos.





**Figura 45.** Gráficas de movimientos de flexo – extensión. Fuente: Autor

## Conclusiones

La comprobación técnica se realizó el día 27 de octubre del 2007 a las 6:00p.m. Se valoró un sistema para la monitorización y análisis del ángulo del codo en el movimiento de flexo extensión ver Figura 43. La necesidad de las fisioterapeutas de evaluar el tratamiento de esta articulación, a través de la toma de datos del ángulo, es lo que permite conocer el avance real del paciente en la rehabilitación superior para lesiones en el codo. El sistema evaluado en esta comprobación técnica es capaz de monitorizar la variable angular. El software es capaz de exportar los datos en formatos simples y legibles facilitando de esta forma el intercambio de ficheros con otras aplicaciones.

Otro resultado importante es la posibilidad de analizar la información en condiciones normales de uso fuera de la clínica, gracias a la portabilidad del dispositivo.

## 2. Experimentación y simulación ergonómica para usuario tipo B

En la realización de esta experimentación y simulación utilizada normalmente en ergonomía, se busca encontrar fallas o errores que se puedan presentar en el futuro uso que dará el usuario al producto; conociendo a fondo todos los datos ergonómicos que muchas veces se pasan por alto y muchos otros que no se conocen, así se utilizan para mejorar y adecuar el objeto a las necesidades del hombre, diseñando en este caso, un sistema portátil de medición para análisis biomecánico del codo, con todas las características necesarias para un buen desempeño en el ambiente de terapia física.

### - PROPÓSITO

El propósito es explorar y encontrar la alternativa más cómoda para ARCO, con la cual, el usuario permita la medición del ángulo con mayor funcionalidad y habilidad.

Conocer las fallas que se pueden presentar tanto en uso como en el diseño de ARCO, al igual, que las percepciones formales, de confort y de uso del paciente con el dispositivo.

Formular hipótesis y sugerencias para la alternativa seleccionada, que permitirán más adelante la medición de otras variables que optimicen el proceso de rehabilitación al igual que la relación paciente - dispositivo.

## **- VARIABLES**

### **Variables independientes:**

Las variables independientes son las “causas” de las relaciones causa – efecto. Estas tienen un efecto significativo en el funcionamiento del dispositivo y son las que el experimentador puede introducir y manipular dentro del experimento para observar como actúan.

Variables ambientales: Se realizará el experimento bajo óptimas condiciones de luz, con restricción de ruido, para permitir mejor concentración al usuario.

Variables personales:

Sexo: mujeres y hombres

Dimensiones, Ocupación y Entrenamiento.

Variables de ARCO:

Contenedor

Bandas

Distancias

Sujeción

Forma

### **Variables dependientes:**

Todos los aspectos que se vean afectados por las variables independientes.

### **Variables controladas:**

Cualquiera de las antes mencionadas que no intervengan directamente, pero si no se controlan pueden alterar los resultados.

Temperatura: 23°C

Altura de la mesa: 80cm

Altura de la silla: 50cm

Materiales: Tela laffayette, espuma trac, velcro, etc.

Edad promedia: 31 años (20 – 42)

## LOS MODELOS

Los modelos se elaboraron en espuma trac con tela laffayette, lona sintética, etc., partiendo de las alternativas anteriormente mostradas (página 53).

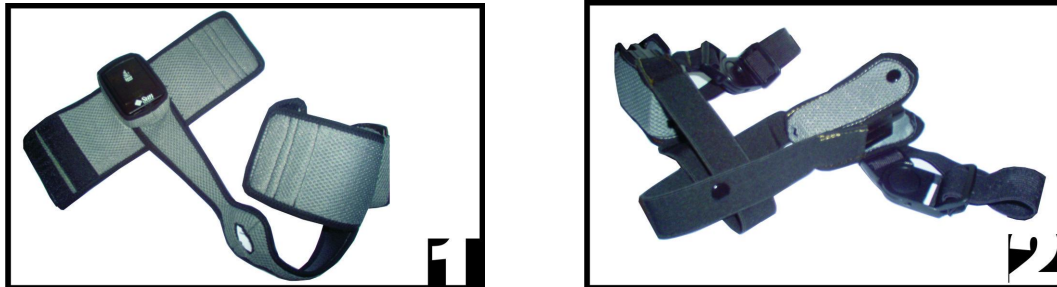


Figura 46. Fotografías de los modelos 1 y 2. Fuente: Autor



Figura 47. Fotografía modelo 3. Fuente: Autor

## PROCEDIMIENTO

Previamente se le ha informado al grupo a experimentar, las indicaciones. La persona entra, toma asiento junto a la mesa de trabajo, donde se le toman los datos (Cédula antropométrica)

ARCO va estar colocado sobre el mesón de trabajo. La persona ya ubicada en el espacio de trabajo, toma el dispositivo ARCO, se lo coloca en su brazo y se le pide que realice movimientos de flexo – extensión en pequeños ciclos por un periodo no mayor de 1 a 3 min., luego se toman sus impresiones respecto ARCO y la calificación que asigna al modelo. Posteriormente sigue el mismo procedimiento, cambia el modelo de su brazo y se procede de igual forma.

Se realiza esta operación con cada una de las personas a evaluar.

NOMBRE		SEXO		F	M
ANCHURA DE CODO	PERIMETR O BRAZO		DISTANCIAS (punto de referencia epicóndilo)		
	Tenso	Relajado	Acromion		Estiloides

<b>LATERALIDAD</b>	<b>Diestro</b>		<b>Zurdo</b>		<b>EDAD</b>	
<b>LESIONES</b>						
<b>CALIFICACION</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	

<b>OBSERVACIONES</b>		
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>

**Tabla 10.** Cédula Antropométrica y observaciones

**CALIFICACIÓN**

- 5 MUY COMODO**
- 4 COMODO**
- 3 MEDIO**
- 2 INCOMODO**
- 1 MUY INCOMODO**

**PREGUNTAS**

1. ¿Cuál le pareció más cómodo? Porque
2. ¿Cuál forma le gusta más? Porque
3. ¿Cuál le parece más funcional? Porque
4. ¿Qué material le pareció mejor? Porque
5. De cada modelo diga que elemento es De su agrado: contenedor, sujeción..

**RESULTADOS**

El trabajo realizado con los diez usuarios, permitió un análisis completo sobre el funcionamiento y manejo de ARCO, al igual que de los posibles usuarios sin conocimientos en este sistema.

ARCO es un sistema que se utiliza en el brazo. Al usarlo todo el miembro superior participa en la acción, y es este el que realiza el movimiento de flexo extensión. Los músculos del miembro superior facilitan los movimientos, y permiten tener control durante la actividad. En este caso el brazo sostendrá un peso alrededor de 110g.

Los usuarios se mostraron ansiosos y con muchas ganas de participar en la simulación; de esta forma cuando tomaban los elementos, aplicaban todos sus conocimientos o simplemente experimentaban y daban sus impresiones con respecto a ARCO.

La palabra comodidad fue una de las más utilizadas, para expresar el gusto y agrado por cierto tipo de modelo. Fue así como los tres modelos fueron evaluados, y se conocieron las necesidades del usuario y algunas fallas en el diseño.

Cada uno de los usuarios utilizó los 3 modelos, dando como resultado las opiniones anotadas en cada una de las cédulas antropométricas. La información está organizada por medio de gráficos, cada uno con su respectivo nombre.

Según el estudio del trabajo propuesto, los brazaletes diseñados especialmente para el equipo Sunspot incluyen tres modelos para intercambiar.

El diseño varía tanto en sus formas como en el manejo del material, luego al ser utilizadas, cada persona opinó, según su criterio con respecto al tamaño, la forma, la sensación que le producía, y cual de estas le llamaba más la atención.

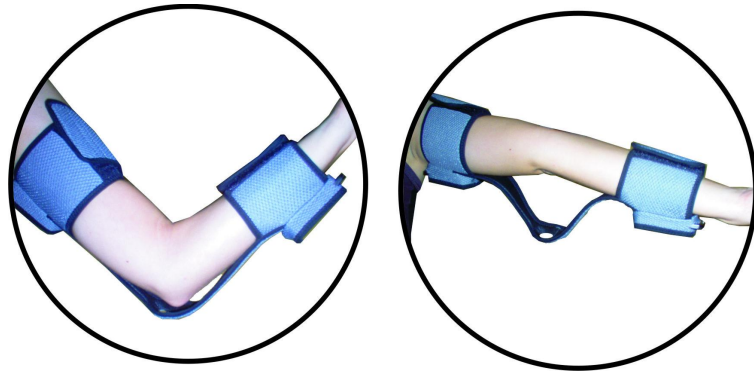
La experimentación nos aportó:

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lateralidad: puede ser utilizada tanto en el brazo derecho como en el brazo izquierdo.</li> <li>- Movimiento: permite que actúen los músculos, luego no limita el movimiento</li> <li>- Superficie: la superficie de contacto no hace presiones que obstaculicen el flujo sanguíneo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependiendo de la lateralidad del paciente, necesita ayuda en la colocación de su brazo dominante.</li> <li>- No tiene elementos de impulso motorizados para que la fatiga afecte lo menos posible a los músculos (esto en la presencia de algún tipo de lesión).</li> <li>- No hay acceso al on - off</li> </ul>

**Tabla 11.** Ventajas y Desventajas de la simulación

**- Utilización del sistema:**

Los modelos generaron dudas durante la simulación puesto que los usuarios no percibían de manera adecuada la forma de incorporar los elementos dentro del brazaletes y se enredaban al momento de ubicarlos en el brazo. En el modelo 1 se ubicaban los contenedores para los spots, y el centro guía para colocar el codo.



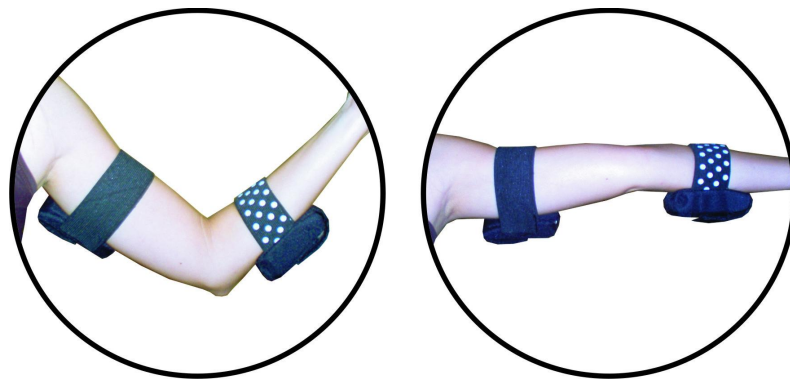
**Figura 48.** Movimiento de flexo- extensión modelo 1

**Observación evaluador:** el modelo 1 tiene grandes ventajas con respecto a las bandas de sujeción pues tienen alto contacto en el brazo y no permite desplazamiento, el centro guía de las distancias que encaja en el codo, deja el contacto con la piel al momento de la extensión, pero permite mantener la distancia del codo hacia los spots constante. El contenedor rodea al spot dejando la pantalla visible y la antena funciona además como ajuste del nodo spot, y sirve de guía para la ubicación de los spots. El velcro como sistema de cierre es más fácil de sellar.



**Figura 49.** Movimiento de flexión en modelo 2

El modelo 2 cubre completamente los spots y no deja ver la pantalla, el ajuste de los cauchos no deja que se salga del contenedor, pero los modelos pierden alineación en los ejes, y las bandas elásticas varían las distancias del codo hacia los nodos. Al momento de colocarse el brazalete los herrajes de sujeción pueden oprimir la piel, y presenta inconvenientes al intentar colocarse con una sola mano. Las distancias del codo a los spots, no se mantienen.



**Figura 50.** Fotografías del modelo 3

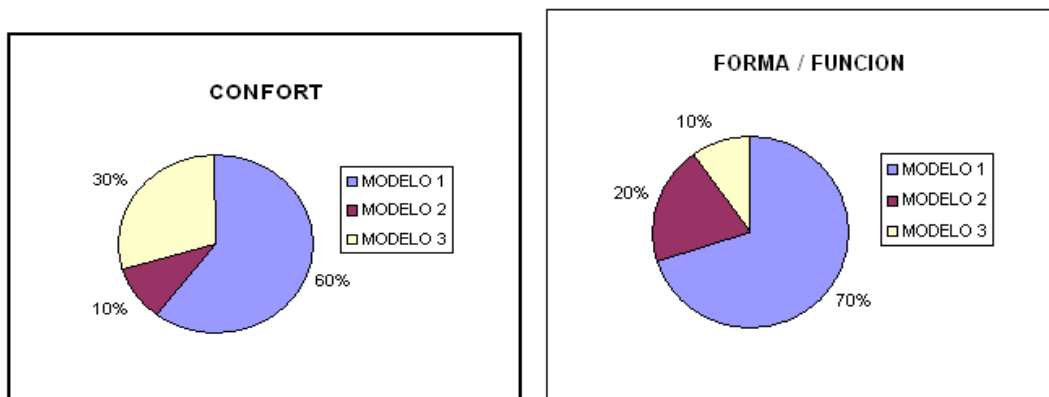
En el modelo 3 (ver Figura 50) las bandas elásticas permitían un fácil ajuste de tallas, pero al igual que el modelo 2 dejaba desalineados los spots y las distintas distancias de estos al codo. El contenedor fue el que tuvo mejor lectura de los tres, definía claramente que ahí iban los spots, y la malla deja observar el contenido pero este no quedaba fijo en el, se movía pues el material no ajustaba el spot a la tela.

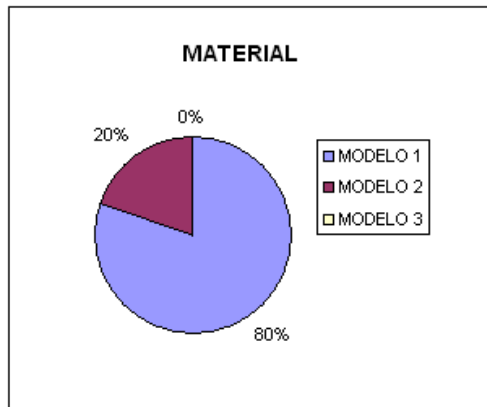
	<b>CONTENEDOR</b>	<b>DISTANCIAS</b>	<b>SUJECIÓN</b>	<b>BANDAS</b>
<b>MODEL O 1</b>	<b>Ventaja:</b> Mantiene fijo el spot, gracias al material y la antena exterior.	<b>Ventaja:</b> La ubicación y distancia no varía.	<b>Ventaja:</b> El velcro permite el ajuste de tallas y es de fácil manipulación.	<b>Ventaja:</b> Tienen gran adherencia a la piel por el material y el ancho abarca la piel.
	<b>Desventaja:</b> No tiene acceso al botón de encendido.	<b>Desventaja:</b> Es muy larga y en algunos casos aleja al spot del codo, en la extensión pierde contacto con la piel.	<b>Desventaja:</b> Puede pegarse torcido y despegarse con movimientos bruscos.	<b>Desventaja:</b> En la flexión al tensionarse el brazo no es tan flexible.
<b>MODEL O 2</b>	<b>Ventaja:</b> Ajusta el modelo a las paredes de tela y caucho.	<b>V e n t a j a :</b> Ninguna	<b>Ventaja:</b> los herrajes son de ajuste seguro con movimiento.	<b>Ventaja:</b> Permite que se adecue fácil a la talla deseada, gracias a la elasticidad y a su herraje equalizable.

	<b>Desventaja:</b> La sujeción a la banda lo hace desalinearse del eje.	<b>Desventaja:</b> No se ajusta al codo ni da una respuesta clara de ubicación.	<b>Desventaja:</b> Al momento de ser colocado puede pellizcar y se giran y deslizan alrededor del brazo	<b>Desventaja:</b> Se desliza en el brazo desalineando los spots y las distancias al codo.
<b>MODELO 3</b>	<b>Ventaja:</b> Es el que mejor lectura tiene de contenedor. Se ubican los spots de manera rápida.	<b>V e n t a j a :</b> Ninguna	<b>V e n t a j a :</b> Favorece la variedad de tallas.	<b>Ventaja:</b> el ancho del elástico favorece el agarre
	<b>Desventaja:</b> El material no ajusta el contenedor y lo deja suelto.	<b>Desventaja:</b> no existe ninguna distancia definida y el usuario coloca los spots donde le parece.	<b>D e s v e n t a j a :</b> Puede dejar desalineados los spots del eje.	<b>Desventaja:</b> Pierde elasticidad con el tiempo de uso.

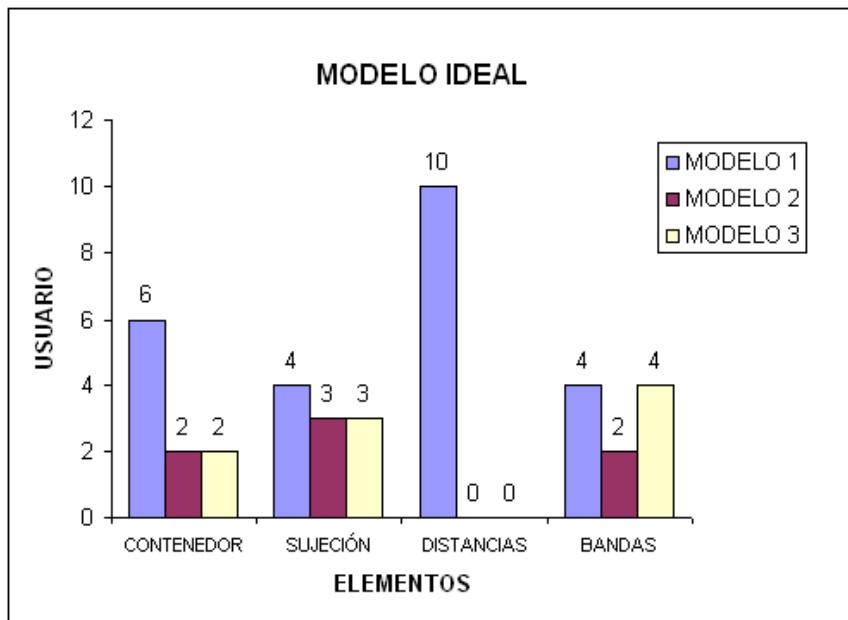
**Tabla 12.** Relación de ventajas y desventajas de los modelos evaluados

**Observaciones usuario potencial:** A continuación se consignan los resultados obtenidos en la simulación, el día 9 de abril a las 7:30a.m. El usuario toma asiento y se realiza la toma de datos en la cédula antropométrica, tuvo tres minutos para manipular cada modelo, y durante este tiempo se realiza la entrevista abierta y posteriormente se llenan las observaciones. En las gráficas a continuación (ver página 70) se tienen los resultados del análisis realizado, a través de entrevista cerrada.





**Figura 51.** Tendencias de usuario con respecto a: confort, forma/función y material.



**Figura 52.** Modelo ideal para el usuario por mezcla de elementos.



**Figura 53.** Aciertos y desaciertos en el uso de los spots: modelo 1, 2 y 3 respectivamente.

### **Observaciones y conclusiones ergonómicas.**

- Confort: Se observa en la gráfica (Figura 51) el modelo 1 es el que presenta mayor confort entre los usuarios. Igualmente en las fotografías (ver páginas 67 - 68) en donde se aprecian las desventajas para el usuario en los modelos 2 y 3, como el agarre de superficie.
- Usabilidad: En la Figura 53 se tiene la lectura de los usuarios con respecto al uso correcto e incorrecto del dispositivo, así, se determina cual de los modelos tiene más facilidad de uso y de entendimiento, luego, el usuario da una posible fusión de elementos que darían como resultado un modelo ideal.
- El modelo 1 logró tener mayor aceptación entre los usuarios, esto demuestra que hay una mayor integración de los elementos que se evaluaban.
- El modelo 2 y 3 no llenaron los propósitos de los parámetros contenedor y distancias.
- Los usuarios elegidos dieron sus aportes de manera activa, lo que beneficia la recolección de datos que apoyan la propuesta final.

### **3. Secuencia de uso**

En este diagrama se explica claramente como funciona el proyecto y como el usuario interactúa con el, mostrando claramente cuales son los posibles cursos de decisión de los usuarios.

La secuencia de uso muestra las interacciones entre objetos ordenadas en secuencia temporal. Muestra a ARCO, que se encuentran en el escenario y la secuencia de mensajes intercambiados entre este y el usuario, para llevar a cabo la funcionalidad descrita por el escenario.

En esta fase de diseño se muestran los requisitos de interfaz, y su implementación, teniendo en cuenta las percepciones de los usuarios documentadas en la simulación, así se incluye en el diseño el punto de vista de los casos de uso y se observa qué mensajes envió ARCO en la simulación.

#### **Elementos de ARCO**

- Brazalete
- Nodos Spot
- Estación base

#### **Elementos Externos**

- PC (Laptop o Desktop)
- Cable USB

#### **Pasos**

- Conectar puerto USB al PC
- Conectar estacion base
- Encender nodos spots
- Ubicar los spots en el brazalete
- Cargar el software
- Limpiar pantalla
- Calibrar
- Pulsar Medir ángulo
- Iniciar movimientos de flexo – extensión.



CONECTAR CABLE USB A PC



ABRIR EL KIT SUNSPOT

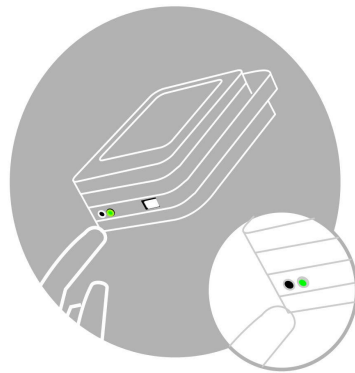


TOMAR LA ESTACIÓN BASE  
DEL KIT SUNSPOT

**Figura 54.** Esquematización de secuencia de uso. Fuente: Autor



CONECTAR LA ESTACIÓN  
BASE AL PC



ENCENDER LOS SPOTS



UBICARLOS EN EL CONTENEDOR  
Y COLOCARLO SOBRE EL BRAZO

**Figura 55.** Esquematización de secuencia de uso. Fuente: Autor

## 6. DESARROLLO DE INTERFAZ GRÁFICA

Para la evaluación de los datos generados a través del PC, se desarrolló una plataforma software capaz de comunicarse con ARCO en forma inalámbrica, para permitir la descarga de datos y configuración del Sunspot. La plataforma esta desarrollada para el entorno Windows, y la tecnología utilizada para la comunicación inalámbrica es bluetooth.

Es así como el análisis de datos arrojados por el movimiento de flexo – extensión en el codo se hace a través del software que posee una interfaz predeterminada en el que se muestra la medición de las variables de aceleración, condensada en una variable angular.



En las propuestas a continuación, se observan 4 estilos de entorno para el software, la interfaz gráfica contiene el conjunto de elementos a través de los cuales el usuario interactúa con el dispositivo para realizar la medición del ángulo, como interfaz de usuario de un programa, incluye el hardware y software del ordenador, presentando información al usuario que le permite interactuar con el equipo. El hardware del sistema incluye: Teclado, Mouse, pantalla, cpu, dispositivos Sunspot, entre otros, y los componentes del software son los elementos que el usuario ve, oye, apunta o toca en la pantalla para interactuar con ellos, al igual que la información con la que trabaja, de la misma forma, es parte del interfaz la documentación: Manuales, ayuda, referencia o tutoriales, etc.

El diseño del entorno se basa en un modelo de interfaz de diseñador, en la que se mezclan las necesidades, ideas, deseos del usuario y los materiales de los que dispone el programador para diseñar un producto software. En esta propuesta se diseña el modelo de entorno tipo simulación donde se describen los objetos a utilizar, la presentación de estos al usuario, al igual, que las técnicas de interacción para su manipulación.

En la primera parte del esquema es la presentación, que es lo primero que capta la atención del usuario. Posteriormente se definen las técnicas de interacción entre usuario y diversos dispositivos de comunicación con el software, luego, se establecen las relaciones entre objetos, en la que se determina la metáfora adecuada que encaja en el modelo mental del usuario.

La usabilidad en el software se refiere a la capacidad que posee éste de ser comprendido y usado en condiciones específicas, ofreciendo una mayor efectividad, eficiencia y satisfacción al usuario. Es aquí donde el diseño no es solo la parte grafica o el aspecto, sino la definición funcional del producto. Siendo ARCO la unidad de estos elementos.

Las propuestas a continuación, presentan 4 tipos de interfaces con las cuales el usuario podría interactuar:

- La primera opción, ver Figura 56, ubica los iconos en el extremo lateral derecho, con un fondo blanco y el manejo de azules coherente al logo. En esta alternativa hay un marco de referencia establecido con una estructura visual que permite mantener el menú presente durante toda la interacción del usuario permitiéndole acceder a cualquier icono del menú.

- La segunda alternativa (Figura 57), tiene una muy buena propuesta visual, atractiva al usuario, se hace un manejo de grises y se da prioridad en la estructuración a los iconos que son los protagonistas.

- La propuesta número 3, página 78, establece el marco de referencia hacia el centro de la página, donde esta el menú principal, sin presencia de iconos, se utiliza el negro como base y una imagen alusiva a la aplicación.

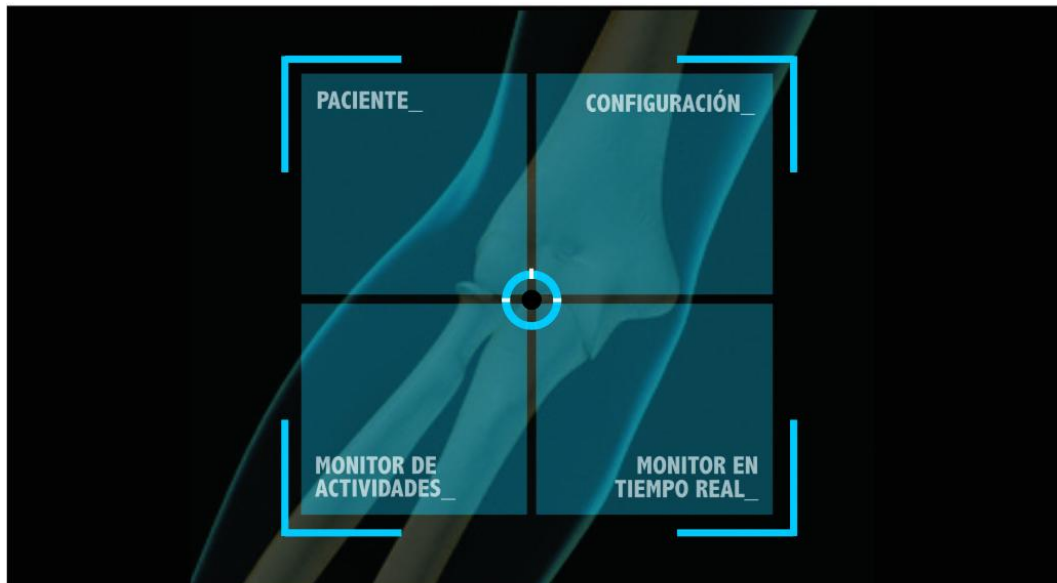
- La Figura 59 muestra la propuesta N° 4, en la que se utiliza una imagen de fondo alusiva al sistema y es una fusión entre la propuesta 1 y 2, se trabaja la escala de grises y la tonalidad azul.



**Figura 56.** Propuesta de entorno 1. Fuente: Autor



Figura 57. Propuesta de entorno No. 2. Fuente: Autor.



ARCO  
SISTEMA PORTÁTIL DE MEDICIÓN ANGULAR PARA CODO

Figura 58. Propuesta de entorno tipo 3. Fuente: Autor.



**Figura 59.** Propuesta de entorno tipo 4. Fuente: Autor

#### **4. OBJETO FINAL – PRODUCTO**

El sistema ARCO se compone de una serie de elementos, desarrollados a través de este proyecto y dan como resultado un producto integral pionero en el mercado local y nacional.

La propuesta desarrollada incluye como usuarios a los pacientes y profesionales involucrados en el campo de la ortopedia, fisioterapia, entre otros. También, elementos de hardware al establecer una comunicación con un computador y el kit Sun Spot, de la misma manera, se crea un software, que viene siendo el puente de comunicación con el hardware y se expone una posible interfaz del programa, esto, para optimizar la interacción del usuario vs pc. Igualmente, se hace una propuesta de diseño tipo brazalete, en cuanto a la relación directa del paciente con el los nodos spots. El modelo funcional se desarrolla en los ítems a continuación:

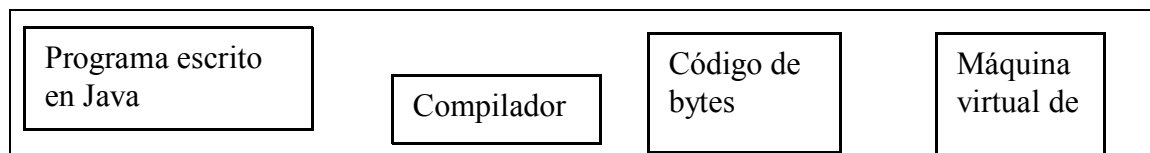
## 1. Tecnología Sun Microsystems

El kit de desarrollo Sun Spot fue diseñado por los ingenieros de Sun Microsystems, quienes son los mismos creadores del lenguaje de programación Java. Es precisamente este lenguaje el utilizado para programar los nodos del Sun Spot y la interfaz gráfica.

Debido a la explosión tecnológica de estos últimos años Java ha desarrollado soluciones personalizadas para cada ámbito tecnológico. Sun ha agrupado cada uno de esos ámbitos en una edición distinta de su lenguaje Java. Estas ediciones son Java 2 Standard Edition, orientada al desarrollo de aplicaciones independientes y de applets, Java 2 Enterprise Edition, enfocada al entorno empresarial y Java 2 Micro Edition, orientada a la programación de aplicaciones para pequeños dispositivos. En esta última edición de Java es la que se utiliza para programar los dispositivos y para la interfaz se empleó la edición Estándar. Según lo expuesto, Java incluye dos elementos: Un Compilador y un intérprete[9]. El compilador produce un código de bytes que se almacena en un fichero para ser ejecutado por el intérprete Java denominado máquina virtual de Java.

**Tabla 13.** Esquema de programación en JAVA.

Fuente: John Batista – Celso Forero[9]



Existen multitud de fabricantes que disponen de entornos de desarrollo para Java. Algunos entornos son de libre distribución que están teniendo una gran aceptación porque tienen una gran variedad de herramientas útiles y de actualización constante, pero además se pueden elegir entornos sofisticados que se debe pagar para usarlos. El entorno que se utilizó para este trabajo se llama NetBeans, el cual es un proyecto de creación de un entorno de libre distribución profesional patrocinado por Sun Microsystems y puede descargarse gratis desde la página oficial de Sun.

Tras abrir el programa NetBeans se procede a cargarle el programa desarrollado para los Spot de la siguiente manera, ver capturas de pantalla a continuación:

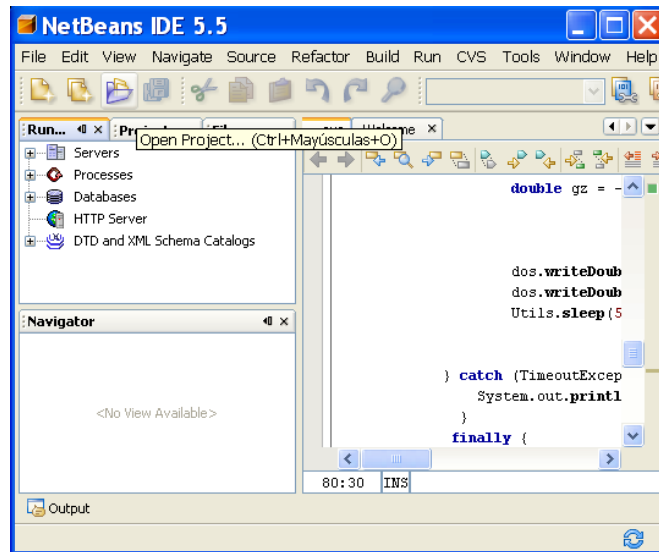


Figura 60. Ventana principal del programa Netbeans

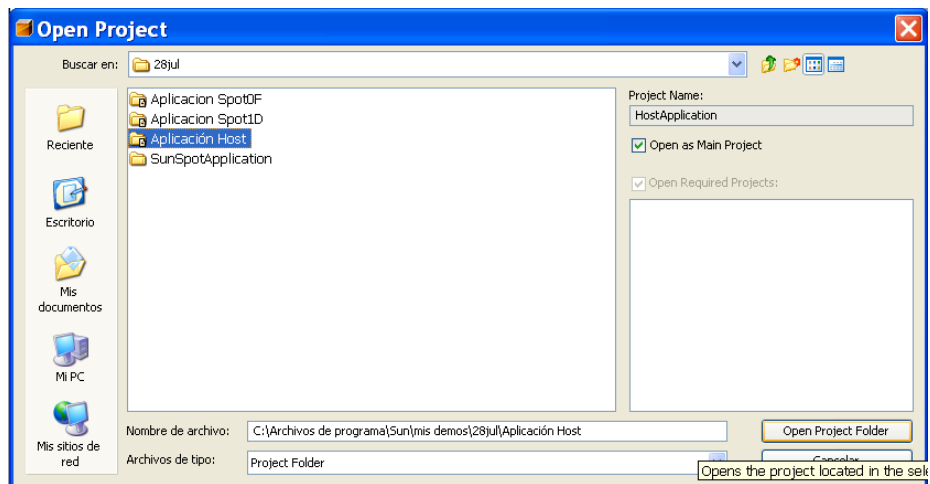
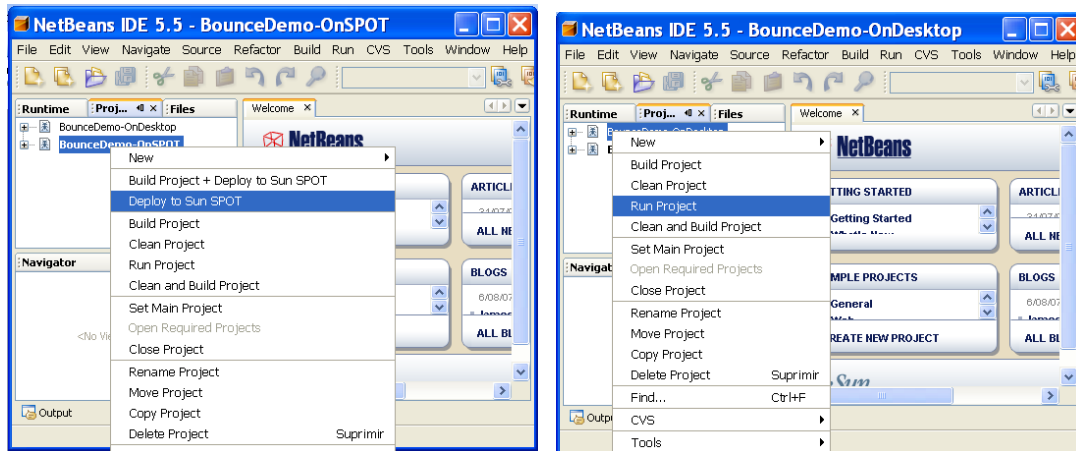
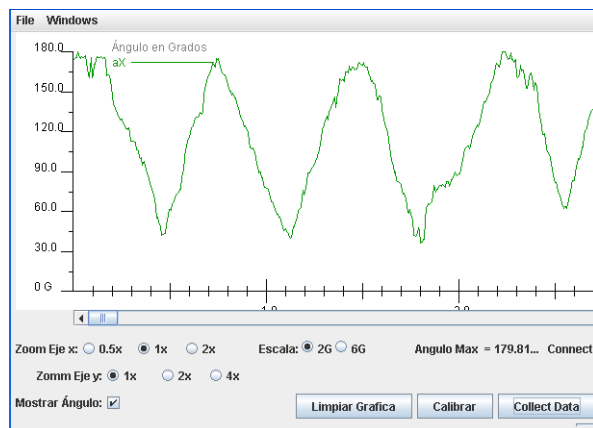


Figura 61. Ventana del Netbeans para abrir y cargar proyectos



**Figura 62.** Ventanas de carga y ejecución del programa, anteriormente cargado en el netbeans.

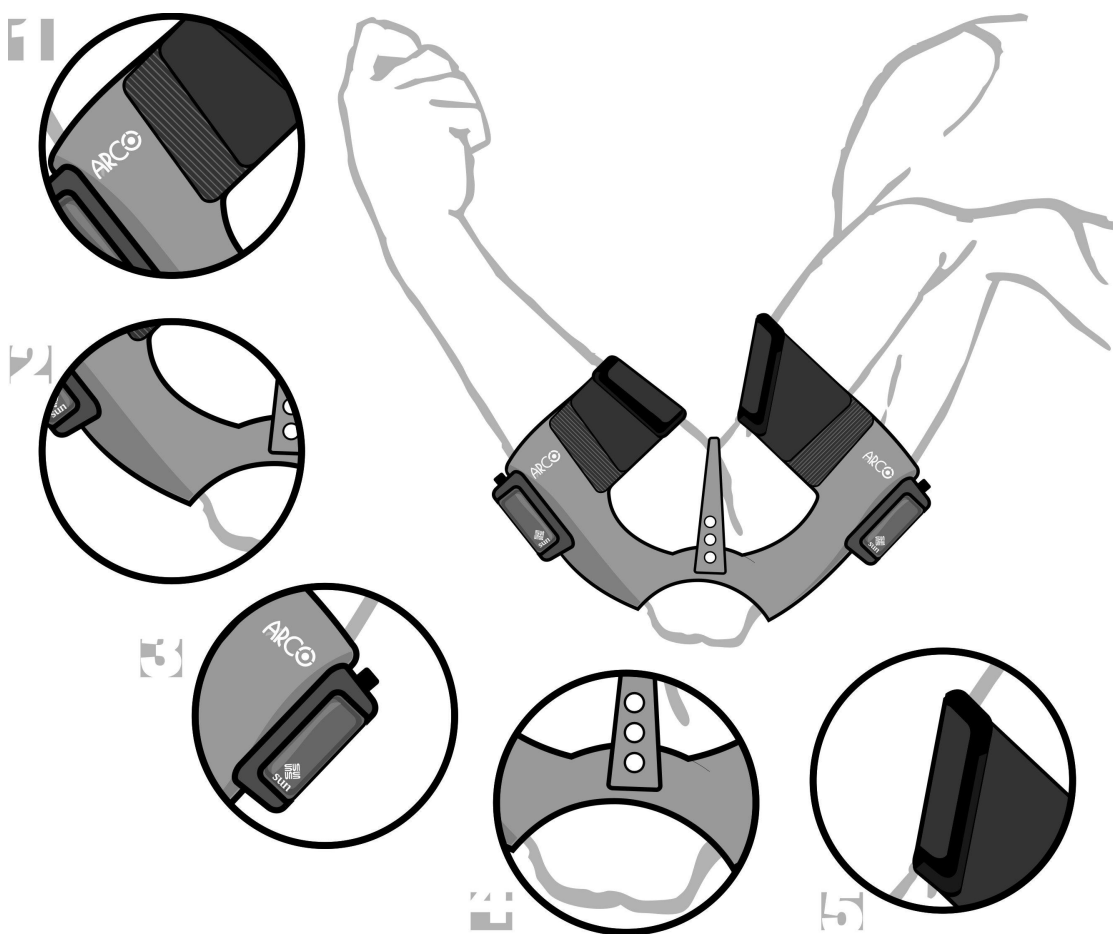
El software desarrollado en este trabajo consta de dos programas globales diferentes. El primero de ellos es montado sobre el hardware del Spot y el otro es el ejecutado en el Terminal de recepción de datos en este caso es el computador. El programa que se le instaló a cada nodo tiene como función abrir la comunicación con la base estación, luego le solicita al Spot el valor de aceleración para procesar este dato y finalmente enviar la información al Terminal, este ciclo se repite indefinidamente mientras el Spot se encuentra encendido. El programa que se ejecuta en la estación base tiene como objetivo abrir la comunicación con cada uno de los Spots para ello, abre dos puertos y en cada uno recibe los datos de dos ejes de aceleración de forma tal que luego se puedan procesar los cuatro valores de aceleración en cada instante de posición. Es así como, se genera un entorno de pantalla donde se registran los datos de los spots, como se observa en la Figura 63 a continuación y como se vio anteriormente en la comprobación técnica (página 59)



**Figura 63.** Interfaz gráfica activada en recolección de datos

## 2. Brazaletes ARCO

Estableciendo la relación directa del paciente con los nodos spots, y dado los resultados arrojados por la simulación y la evolución de la alternativa seleccionada, se tiene:



**Figura 64.** Propuesta final ARCO: 1) Bandas 2) Distancias 3) Contenedor 4) y 5) Sujeción

### **Bandas:**

El diseño de las bandas en ARCO, comprende el perímetro del brazo; tomando estas dimensiones, y teniendo en cuenta la voz del cliente quien se inclina a favor de la talla universal; el movimiento de flexo extensión y la reacción del brazo ante el ejercicio, se trabaja una mínima dimensión (talla small) hasta una talla máxima (large) y cuidando la diferencia en el perímetro del brazo al estar relajado o al estar tenso.

La propuesta incluye dos secciones de elásticos que permitan la flexibilidad de la talla, igualmente se aprovechan las propiedades de las telas utilizadas como la espuma trac y el lafayette. La espuma trac permite una mayor adherencia a la piel evitando el deslizamiento sobre el brazo.

Perímetro Brazo (relajado, normal, tensionado) =  $25,9 \leq 29,6 \geq 31,3$ cm  
 $26 \leq 31,1 \geq 32,9$ cm

Perímetro Antebrazo (mínima, normal, máxima) =  $23,4 \leq 26,8 \geq 28,0$ cm

### **Distancias:**

La distancia es invariable pues los elementos deben estar lo más cerca posible al codo, para mejorar la precisión al momento de la toma de datos, es así como se establecen las siguientes dimensiones:

De una talla mínima (small) en el largo de codo, se toma un punto medio de 12,25cm que sale del epicóndilo hacia el brazo o el antebrazo, y el punto medio del spot se ubica en el punto extremo de la distancia. El elemento indicador de ubicación será un agujero que se ubica en el codo y para el cual se utilizaron las siguientes medidas: Anchura de codo  $5,7 \leq 6,0 \geq 6,2$ cm.

### **Contenedor:**

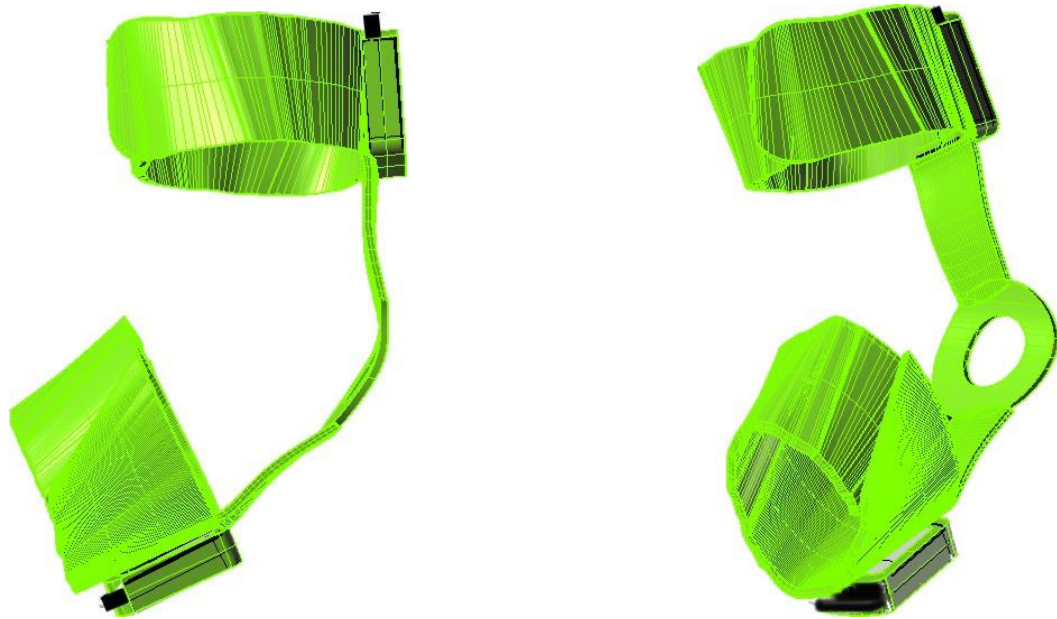
El contenedor se realizó con una banda alrededor del spot, se evolucionaron las alternativas, para brindar al usuario una mayor lectura en lo referente a la colocación del nodo dentro del contenedor. Las dimensiones son las de los spots.

### **Sujeción:**

Los elementos del brazalete rodean al brazo sujetados por medio de velcro, conocido en el mercado como cierre mágico, y el cual consta de dos partes bucle y gancho, el bucle queda debajo de la banda mientras que el gancho queda en la zona superior.

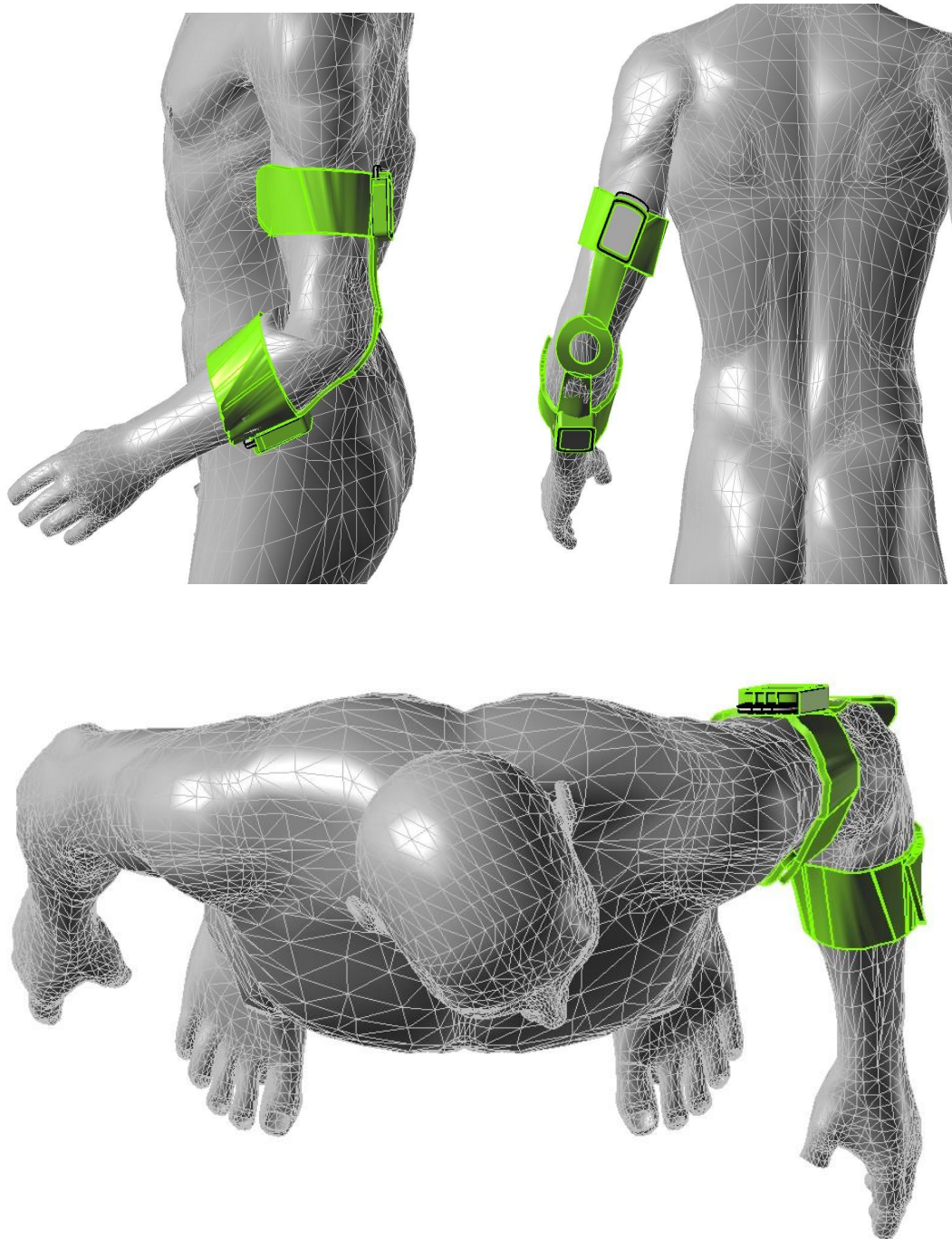
### 4.2.1. Elaboración del modelo

Después del análisis realizado y el desarrollo de la nueva propuesta, una vez elegida la alternativa de diseño, se elabora un modelado en 3d, para visualizar el producto (ver imágenes a continuación).





**Figura 65.** Renders de ARCO con los nodos spots ubicados.  
En las imágenes se establece la relación de ARCO con respecto al usuario  
(ver Figura 66 - Figura 67)

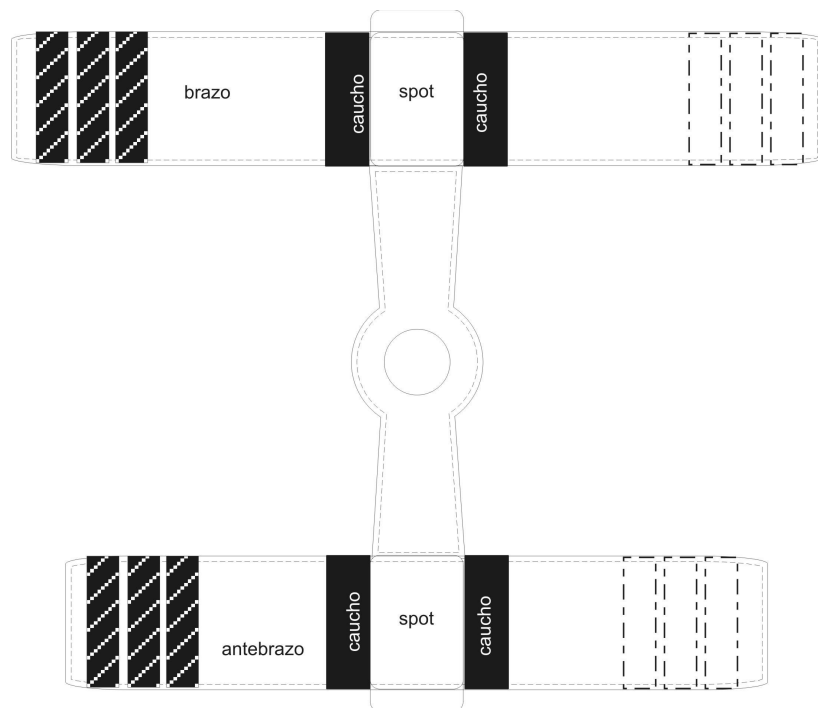


**Figura 66.** ARCO en el brazo del usuario, vistas varias.



**Figura 67.** Vista posterior de ARCO (zoom en el miembro superior)

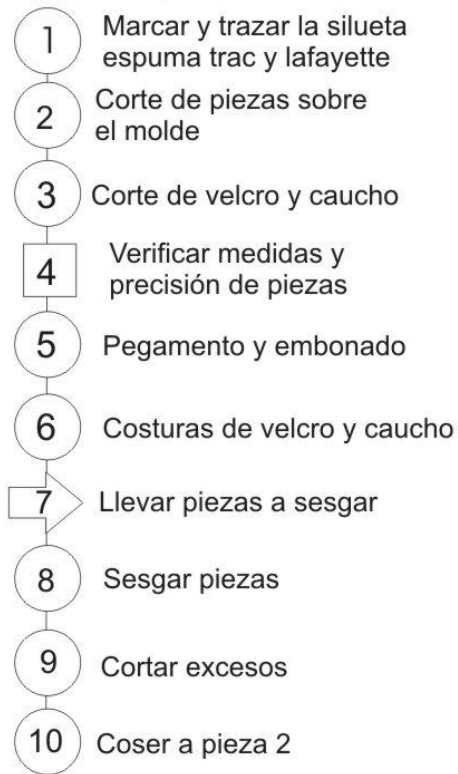
Una vez se realiza la visualización 3D, se desarrollan los moldes para la elaboración del modelo final. Ver los moldes por piezas en ANEXO G.



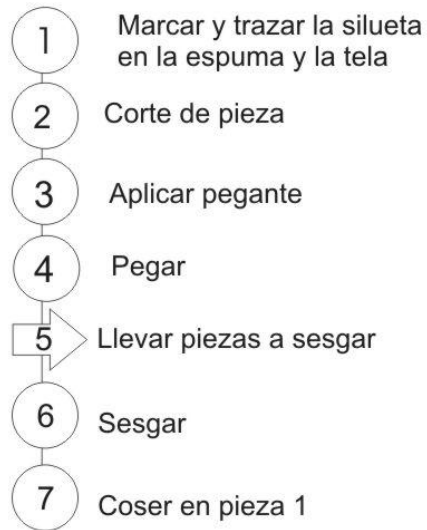
**Figura 68.** Estructura del molde general

El proceso de fabricación se llevo a cabo como en los diagramas y se tiene el registro (ver fotos página 88), se elaboró un modelo escala real, con las especificaciones mencionadas anteriormente en el numeral 4.2.

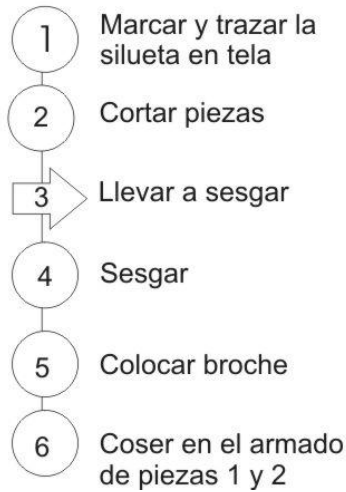
**Elaboración de pieza 1: Banda(4)**  
 Duración aprox: 30 minutos



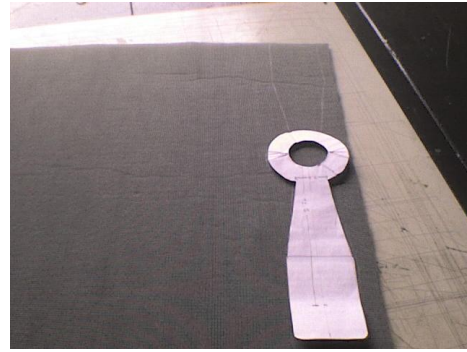
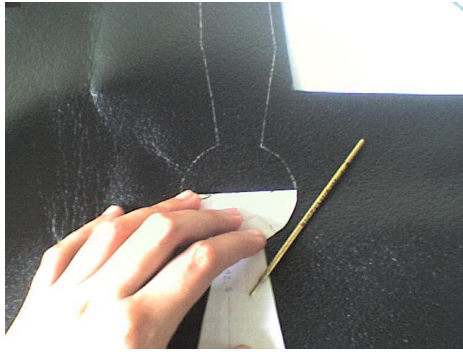
**Elaboración de pieza 2: Distancias (1)**  
 Duración aprox: 10 min



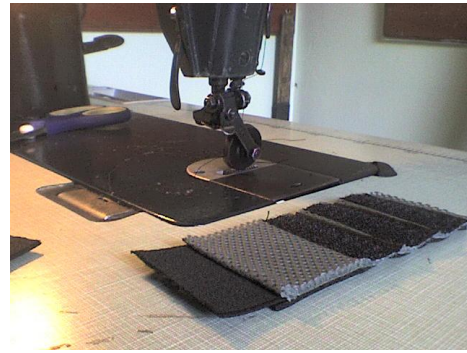
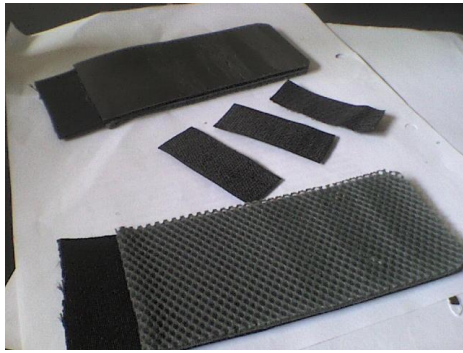
**Elaboración de pieza 3: Contenedor (2)**  
 Duración aprox: 10 min



**Figura 69.** Diagramas de fabricación de piezas de ARCO



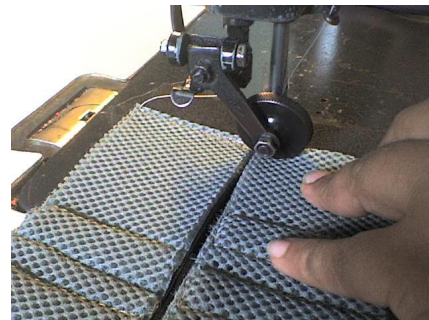
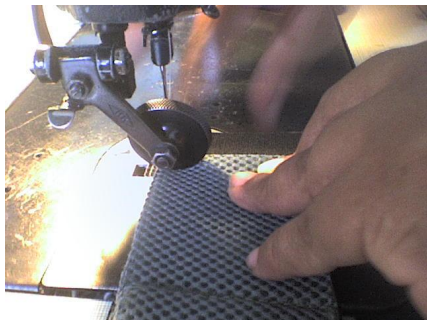
**Figura 70.** Trazado y corte mediante moldes



**Figura 71.** Embonado, armado y costura de piezas



**Figura 72.** Colocación del sesgo



**Figura 73.** Costuras y armado de las piezas del modelo

## 1. Modelo final



ARCO se presenta como un producto ergonómico diseñado para el usuario, que no solo tiene un aspecto estético e innovador, sino que implica el esfuerzo de un equipo de trabajo que integra la ingeniería electrónica, la ergonomía, la medicina y el diseño. Todo esto para dar una solución en la monitorización de una variable angular en un análisis biomecánico del movimiento de flexo extensión de la articulación del codo.

Se elaboró con materiales que destacan por ser duraderos, flexibles, de fácil limpieza y calidad; siempre buscando armonía y coherencia entre los elementos.

A continuación se observa ARCO en interacción con el usuario potencial.



Figura 74. ARCO en interacción con el usuario.

## 2. Marca

El diseño del logo de ARCO, nace al integrar el objetivo del sistema (medir ángulos) con la parte del cuerpo que evalúa. ARCO, es lo que siempre queda al acotar ángulos, y su nombre también contiene la parte del miembro superior al que se dirige la **ART**iculación del **CO**do.



La fuente es Busorama, y es una fuente coherente al concepto de arcos y la letra "O" es modificada de tal forma que da alusión a la articulación y las secciones del aro a las posibilidades de secciones de ángulo. Los colores utilizados son colores planos básicos: negro, azul y blanco.

El logo es utilizado en la interfaz gráfica como se observa en el siguiente numeral, es utilizado en aplicaciones en las que este involucrado este sistema portátil de medición angular para ángulo del codo.

## 3. Interfaz gráfica



**Figura 75.** Ventana de inicio en la simulación de entorno para ARCO

De las alternativas presentadas se elige la propuesta 1 mediante una evaluación que se basa en un Método de usabilidad denominado Generación de ideas y que a su vez se complementa con un método adicional conocido como votación secreta, en el primero la participación del los usuarios en el procedimiento contribuye a ampliar perspectivas y a profundizar en una variedad de consideraciones, que en ocasiones pasan inadvertidas por el diseñador, así, se realizó virtualmente la prueba con la representación estática de la interfaz (ver imágenes en páginas 77 y 78), mostrando en cada una la diferencia en la apariencia y estructuración en los elementos, las imágenes se complementaron con una nota explicativa para que los usuarios obtuvieran la información para la evaluación y se solicitó el voto por la propuesta a favor y las razones por las cuales la eligió, esto se realizó vía mail, las 16 entradas fueron anónimas y se obtuvieron ideas, conceptos y votos, para desarrollar el entorno de simulación para el software, a continuación:

- Facilidad de manejo de la aplicación: Este ítem se basa en los niveles de experiencia del usuario, y es aquí donde se tiene en cuenta al usuario medio, es decir el nivel de conocimientos informáticos del profesional en el área de la salud, esto, al conocer que en el mercado nacional no se cuenta con una herramienta software similar. Así se asegura que el usuario sabrá desenvolverse con facilidad la primera vez que cargue el programa.

Esta alternativa tiene presentes los controles de navegación, lo cual es fundamental en la usabilidad, puesto que el usuario puede moverse a través de las diversas pantallas del programa. Igualmente, para el desarrollo de este entorno se minimiza el número de menús como se observa en el organigrama del numeral 3.6. Así se opta por la mejor organización de datos para facilitar el acceso a estos.

- Estructuración: La estructura es de tipo lineal - jerárquico, es decir, existe una mezcla de las dos, la estructura principal es de árbol, en la que el usuario sabe en que lugar se encuentra. En ARCO, se puede ir a inicio, paciente, monitor de actividades, configuración, entre otros. Sin embargo, el contenido de las ramificaciones se puede leer de forma lineal si se desea. De esta manera a medida que se adentre a la estructura, obtiene información más específica y la información mas general se encuentra en niveles superiores.

- Equilibrio entre diseño y contenido: la alternativa no incluye elementos en exceso, luego no se produce un desvío en la atención del usuario. Los iconos están dispuestos de tal forma que la estructuración del entorno permite una ubicación clara de los iconos de acción. El contenido ocupa aproximadamente el 70% de la página, y el área destinada a la navegación es aproximadamente el 30%. Desde la ventana principal como en las demás ventanas de navegación, se observa en forma clara y prioritaria el logo, en la zona superior izquierda y se añade una frase que resume el objetivo de ARCO.

- Adaptación de la aplicación al medio: Teniendo en cuenta que el hardware objetivo puede ser un PC portátil o de escritorio, y la resolución de pantalla varía entre estos, se desarrolla la aplicación en un formato básico 900 X 600, para una correcta visualización.

## **5. CONCLUSIONES**

- El trabajo realizado en este proyecto se puede contemplar desde dos puntos de vista, el de la valoración funcional del ángulo del codo o el de la capacidad y efectividad del sistema como un conjunto de elementos que integran un proyecto interdisciplinario.

- ARCO es una novedosa herramienta para los profesionales del área de la salud; en primer momento perseguía valorar una nueva posibilidad técnica en la medición del ángulo del codo y ha conseguido abordar aspectos en el usuario relacionados con el confort, movilidad, estética, entre otros.

- El análisis del movimiento angular en nuestro caso, el de flexo extensión en el miembro superior; permite facilitar terapias, proponer correcciones, diagnosticar hábitos incorrectos y optimizar prescripciones médicas. En la actualidad no existe un método complejo y validado para la valoración del daño corporal en el codo; proyectos como este sirven de referencia para realizar una correcta valoración de cada individuo en el contexto de su edad, profesión, actividad, etc.

- La intervención del diseño industrial en este proyecto nos da una clara idea de la importancia del diseño como factor diferenciador y como este se ve

reflejado en el desarrollo de productos de alta calidad, dirigidos hacia un mercado meta, en donde siempre esta presente el usuario.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] [www.med.univ-rennes1.fr](http://www.med.univ-rennes1.fr)
- [2] Nombre del artículo, Revista Colombiana de Ortopedia y traumatología, pag.... 2001
- [3] Conferencia anual IEEE 1998
- [4] CEPEDA GÓMEZ, RUDY; OCHOA DÍAZ, CLAUDIA PATRICIA. Diseño de un equipo prototipo para la medición de ángulos articulares del miembro inferior en el plano sagital utilizando acelerómetros. Universidad Industrial de Santander 2006.
- [5] Yifei Wang, Human Movemet traking using wearble gíreles sensor network 2005. IOWA State University.
- [6] Sensor network for medical care. Harvard División Ingeniería y ciencias aplicadas.
- [7] Garner, Gray O´Rahilly. Anatomía. México: Mc Graw Hill.1986
- [8] Murata, Satoshi. MAKIKAWA, Masaaki. COBAYASHI, Hideteru.TAKAHASHI, Ayumu. TOKUE,Rlnzo. Joint Motion Monitoring by accelerometers set a both near sides around the joint. Artículo procedente de la 20ª Conferencia anual internacional de la IEEE en la sociedad de medicina y Biología. 1936 -1939. Año: 1998.
- [9] FORERO, CELSO; BATISTA, JOHN. Medición de ángulos con tecnología zig-bee orientado a un servicio de rehabilitación biomecánica del codo. Universidad Industrial de Santander 2006.
- [10] GARCÍA ACOSTA, Gabriel. La ergonomía desde la visión sistémica, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2004.

- [11] [www.uis.edu.co/portal/investigacion/centros/ciergonomia/index.htm](http://www.uis.edu.co/portal/investigacion/centros/ciergonomia/index.htm)
- [12] Garner, Gray O'Rahilly. Anatomía. México: Mc Graw Hill. 1986
- [13] [www.semec.org.mx](http://www.semec.org.mx)
- [14] [www.aulaabierta.org/aulaabierta2/materiales/mod24t1.pdf](http://www.aulaabierta.org/aulaabierta2/materiales/mod24t1.pdf)
- [15] H. D. Darcus, J. Ant., Lond., 85:55, 1951. N. Salter and H.D. Darcus, J. Anat., Lond., 86:197, 1952.
- [16] BRUNETTI, F; MORENO, J; Monitorización de variables biomecánicas en ortesis de miembro inferior. Instituto de automática industrial, Universidad Católica Nuestra señora de Asunción.
- [17] ORTESIS DISEÑADA POR GRUPO MULTIPLICINARIO DE INVESTIGADORES CONSIGUE REDUCIR EL TEMBLOR PRODUCIDO POR EL PARKINSON. Nota de Prensa de Instituto de Biomecánica de valencia. Julio 2006
- [18] <http://www.velcro.es/cms/?L=3>
- [19] <http://www.efmo.com/catalogo.htm>
- [20] <http://www.ortopedia-online.com/itosa.asp>
- [21] <http://www.ortoplast.com/empresa.htm>
- [22] <http://www.mediespana.com/Compania.asp>
- [23] <http://www.perezprim.com/ortopedia/ortopedia.html>
- [24] <http://www.ortoprotesica.net/f40d6197c61001d23/index.php>
- [25] <http://www.ortopedian.com.ar/quienes.asp>
- [26] <http://www.ortoweb.com/web/vista/index.php?modulo=navega&file=ficha&id=4569#>
- [27] La valoración del daño corporal en la articulación del codo. Autor: José M<sup>a</sup> Pérez. 2003
- [28] Steindler A (1949) The reconstitution of the upper extremity in spinal cerebral paralysis. In Instructional Course Lectures, The American Academy of Orthopaedic Surgeons, vol. 6. Ann Arbor: JW Edwards, pp.120-133.
- [29] DANIELS – WORTHINGHAM, Lucille –Catherine, Pruebas funcionales musculares, México, Editorial Interamericana, 1972.
- [30] ESTRADA, Jairo, Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana, Colombia, Universidad de Antioquia, 1995.
- [31] VERNAZA, Paola, Educación y trabajo para los fisioterapeutas del departamento del Cauca, Colombia, 2007
- [32] Observatorio laboral de Colombia. Núcleo de terapias información del primer semestre de 2004. Disponible en: <http://www.graduadoscolombia.edu.co>
- [33] [http://www.shands.org/health/spanish/esp\\_ency/article/001245.htm](http://www.shands.org/health/spanish/esp_ency/article/001245.htm)

## GLOSARIO

### -Ergonomía:

Etimológicamente, la palabra *ergonomía* se deriva de las palabras griegas *ergos* (trabajo) y *nomos* (leyes); por lo que literalmente significa leyes del trabajo. Además, la ergonomía como actividad multidisciplinaria se estructura con la contribución que realizan otras ciencias, esto con el fin de ocuparse del ser humano en condiciones laborales.

Por lo tanto, la ergonomía desarrolla investigaciones para generar nuevos conocimientos, por lo que se puede comprender dentro del ámbito teórico-científico[10].

### -Anatomía:

La anatomía es la ciencia que estudia la estructura del cuerpo. Esta ciencia que tiene por objeto dar a conocer el número, estructura, situación y relaciones de los diferentes partes del cuerpo humano[7].

### - Antropometría:

La antropometría es una de las áreas que fundamentan la ergonomía, y trata con las medidas del cuerpo humano que se refieren al tamaño del cuerpo, formas, fuerza y capacidad de trabajo[13].

- Biomecánica: La biomecánica es el área de la ergonomía que se dedica al estudio del cuerpo humano desde el punto de vista de la mecánica clásica o Newtoniana, y la biología, pero también se basa en el conjunto de conocimientos de la medicina del trabajo, la fisiología, la antropometría y la antropología[14].

- Articulación: En lenguaje cotidiano, el término articulación significa lugar donde se unen dos cosas. En anatomía se ha descrito una articulación como *“la conexión que subsiste en el esqueleto entre cualesquiera de sus componentes rígidos, ya sean huesos o cartílagos”*. Articulación es sinónimo de unión, y para este caso de estudio, es la unión de un hueso u órgano esquelético con otro.

- Acelerómetro: El acelerómetro es un instrumento de medida que proporciona lecturas de la variación de la aceleración con respecto al tiempo. Los valores obtenidos se expresan en fuerza g (g es la aceleración de la gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ ) por segundo.

Un acelerómetro puede construirse uniendo una masa  $m$  a un dinamómetro cuyo eje está en la misma dirección que la aceleración.[9]

- Índice de morbilidad:

Se denomina así la proporción de personas enfermas en un lugar y tiempo determinado con respecto a la población total. Generalmente se utiliza una medida que expresa la incidencia de enfermos por cada mil personas en la población.

- Grupo etéreo: El concepto se refiere a los grupos de edad en que se divide la población, un ejemplo es el grupo de 0 a 1 año, luego el de 1 a 5, y de aquí los grupos se dividen en subgrupos cada cinco años hasta los 65 años, luego de se hace un grupo de 65 años y más. Esto se hace para hacer una simplificación de los grupos y también dado que estos grupos reúnen características similares. Dicho de varias personas: Que tienen la misma edad.

# ANEXO A

ENCUESTA 1  
Universidad Industrial de Santander  
Escuela de Diseño Industrial

Proyecto: Diseño y Construcción de un sistema portátil utilizado en alternativas de rehabilitación a partir del análisis biomecánico del codo.

Autor: Marisol Vanegas

Tutor: Ms. María Fernanda Maradei

La idea con el proyecto propuesto es diseñar y construir un aparato que permita un ejercicio de rehabilitación más continuo ya sea en un centro especializado o en el entorno familiar, facilitando realizar con mayor frecuencia la rutina recomendada por el especialista para obtener un registro acumulado del comportamiento de la articulación que posibilite un posterior análisis.

ENTIDAD: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Profesión: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

POR FAVOR MARQUE CON UNA X, LA OPCIÓN Y COMPLEMENTE SU RESPUESTA DE SER NECESARIO:

1. Entre las lesiones traumáticas del codo mas frecuentes, usted atiende:

- Luxación de codo
- Epicondilitis (codo de tenista)
- Contusión simple de codo
- Fracturas
- Otra. ¿Cuál? \_\_\_\_\_

2. Los pacientes con traumatismos del codo generalmente son:

- Niños
- Adolescentes

- Adultos
- Tercera Edad

3. ¿Con qué regularidad se presentan las lesiones en el codo en el consultorio?
- Diariamente
  - Semanalmente
  - Mensual
  - Otro. ¿Cada cuánto (en días)? \_\_\_\_\_
4. ¿Las terapias de Rehabilitación que más realiza van de:
- 1 a 2 semanas
  - 3 a 4 semanas
  - 6 o más
  - Otro¿Cuánto tiempo(en días)? \_\_\_\_\_
5. ¿Cuenta con algún aparato que le permita llevar un seguimiento del proceso de rehabilitación del paciente en traumatismos en las articulaciones?
- SI
  - NO
6. ¿Le gustaría contar con un dispositivo capaz de medir el ángulo para el arco de movimiento del codo?
- SÍ¿Porqué? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- NO¿porqué? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Si su respuesta es SI: continúe con la pregunta #7, si es NO: muchas gracias por su colaboración!!

7. Entre las posibilidades de adaptación son de su preferencia:
- Tallas S, M,L, XL
  - Talla Universal
  - Otra. ¿Cuál? \_\_\_\_\_
8. Aparte de la monitorización del ángulo ¿Qué le interesaría más del dispositivo?
- El material
  - La forma

La estructura  
 Otro ¿Cuál? \_\_\_\_\_

9. Entre las características del aparato, son de mayor importancia para ud?

- Fácil Limpieza
- Portátil
- Liviano
- Fácil de operar
- Otra ¿Cuál?

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN, SU OPINIÓN ES REALMENTE IMPORTANTE PARA EL DESARROLLO DE ESTA PROPUESTA. CUALQUIER APORTE ADICIONAL ESCRIBANOS: [julietavan@gmail.com](mailto:julietavan@gmail.com)

## ANEXO B

A continuación se muestran los límites aceptables para la exposición humana a los campos electromagnéticos:

### Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 KHZ to 300 GHZ - Safety Code 6

1999

ISBN: 0-662-28032-6

Cat. No.: H46-2/99-237E

Fuente:

[http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/99ehd-dhm237/limits-limités\\_e.html#211](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/99ehd-dhm237/limits-limités_e.html#211)

Table 1 Exposure Limits for RF and Microwave Exposed Workers

1 Frequency (MHz)	2 Electric Field Strength; rms (V/m)	3 Magnetic Field Strength; rms (A/m)	4 Power Density (W/m <sup>2</sup> )	5 Averaging Time (min)
0.003-1	600	4.9		6
1-10	$600/f$	$4.9/f$		6
10 - 30	60	$4.9/f$		6
30-300	60	0.163	10*	6
300-1 500	$3.54f^{0.5}$	$0.0094f^{0.5}$	$f/30$	6
<b>1 500- 15 000</b>	<b>137</b>	<b>0.364</b>	<b>50</b>	<b>6</b>
15 000- 150 000	137	0.364	50	$616\ 000 / f^{1.2}$

150 000- 300 000	$0.354f^{0.5}$	$9.4 \times 10^{-4}f$ 0.5	$3.33 \times$ $10^{-4}f$	616 000 / 1.2
---------------------	----------------	------------------------------	-----------------------------	------------------

\* Power density limit is applicable at frequencies greater than 100 MHz.

Notes:

1. Frequency,  $f$ , is in MHz.
2. A power density of **10 W/m<sup>2</sup> is equivalent to 1 mW/cm<sup>2</sup>**.
3. A magnetic field strength of 1 A/m corresponds to 1.257 microtesla ( $\mu$ T) or 12.57 milligauss (mG).

A continuación se muestra el certificado de cumplimiento de las normas de la Comisión De Comunicaciones Federal. (Fuente: Manual del usuario Sun Spot).

## Federal Communications Commission Compliance

NOTE: This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class B digital device, pursuant to Part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference in a residential installation. This equipment generates, uses, and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instructions, may cause harmful interference to radio communications. However, there is no guarantee that interference will not occur in a particular installation. If this equipment does cause harmful interference to radio or television reception, which can be determined by turning the equipment off and on, the user is encouraged to try and correct the interference by one or more of the following measures: Reorient or locate the receiving antenna. Increase the separation between the equipment and receiver. Connect the equipment into an outlet on a circuit different from that to which the receiver is connected. Consult the dealer or an experienced radio/TV technician for help.

## 2. Caution: Exposure to Radio Frequency Radiation.

To comply with FCC RF exposure compliance requirements, a separation distance of at least 20 cm must be maintained between the antenna of this device and all persons. This device must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.

Module 3011 and antenna tested with must be integrated in the end product in such a way that the end user cannot access the either the module, cables or antennas.

The installer of this radio equipment must ensure that the antenna is located or pointed such that it does not emit RF field in excess of Health Canada limits for the general population; consult Safety Code 6, obtainable from Health Canada's website [www.hc-sc.gc.ca/rpb](http://www.hc-sc.gc.ca/rpb).

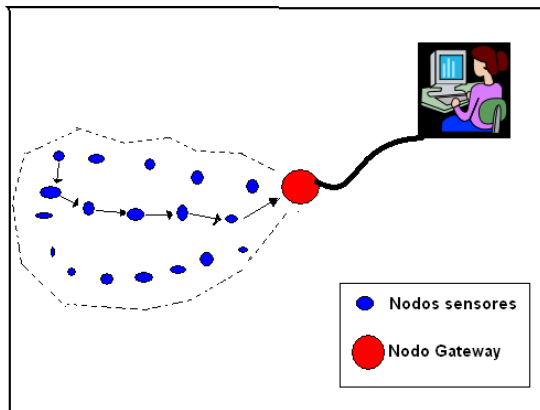
## ANEXO C

### **Generalidades de una red de sensores inalámbrica**

Una red de sensores inalámbrica es la conexión de muchos sensores nodos que se comunican entre sí vía inalámbrica y son regidos por un nodo Gateway o base estación como se observa en la figura a continuación.

Dichas redes pueden monitorear y controlar condiciones en ambientes tales como temperatura, sonidos, movimientos, presión, vibración. Tomando un papel importante en múltiples situaciones. El desarrollo de estas redes fue motivado originalmente para usos militares, pero actualmente se usan en distintas aplicaciones como el monitoreo de ambientes, aplicaciones médicas, automatización de casas, control de tráfico entre otras.

En dichas redes cada nodo está equipado con un radio transmisor u otro dispositivo de comunicación inalámbrica, un pequeño microcontrolador y una fuente de energía que generalmente es una batería. El tamaño de cada nodo puede variar desde el tamaño de una caja hasta un pequeño grano de arena. El precio también puede variar desde cientos de dólares hasta unos cuantos centavos. Esto depende del tamaño de la red y la complejidad requerida en cada nodo sensor[9].



### Tecnología Zigbee

En los últimos años el mundo ha sido testigo de un rápido desarrollo en las redes inalámbricas. Hasta ahora las redes inalámbricas se han enfocado en desarrollar altas velocidades y en ampliar su rango de aplicación. Sin embargo, existen muchas aplicaciones de monitoreo y control inalámbrico para industrias y automatización de hogares que requieren alta duración en la vida de la batería, baja transmisión de datos y menor complejidad de la que dan los estándares existentes. El mercado necesita un estándar global que cumpla con los requerimientos en seguridad, confianza, baja potencia y bajo costo.

El primer estándar, apuntaba hacia una Red de Área Personal Inalámbrica de Baja Transmisión (LR-WPAN) y apareció Bluetooth. La desventaja de Bluetooth en este campo se muestra en su capacidad limitada para redes con varios nodos.

Para estas aplicaciones inalámbricas un nuevo estándar llamado Zigbee ha sido desarrollado por Zigbee Alliance creado bajo el estándar 802.15.4 de la IEEE.

Zigbee viene del nombre en inglés de las abejas recolectoras de miel las cuales usan un tipo de movimiento en zig-zag para comunicar importante información con otros miembros de su comunidad. Esta forma de comunicación es la que intentan emular los ingenieros con este tipo de protocolo. Un racimo de simples organismos separados que unidos hagan un completo equipo de trabajo. Zigbee también conocida con otros nombres como "HomeRF Lite" maneja velocidades comprendidas entre 20 KB/s y 250 KB/s y rangos entre 10 y 75 metros. Puede usar las bandas libres de 2.4 GHz, 868 MHz (en Europa) y 915 MHz (en EEUU). Una red Zigbee soporta hasta 64.000 nodos por red, además la capacidad de enlazarse con otras redes le da un tamaño casi ilimitado. Los nodos tienen la mayor parte del tiempo su transmisor dormido, con el objetivo de consumir menos potencia que otras tecnologías inalámbricas. El objetivo de estos nodos es tener duraciones en baterías desde 6 meses hasta por 10 años siendo limitando

por la vida útil de la batería. Como comparación, la tecnología Bluetooth, esta diseñada para mantener sesiones de voz en forma continua y es capaz de llegar hasta 1 MB/s en distancia de hasta 10 m operando en la misma banda de 2.4GHz. Solo puede tener 8 nodos por celda y con una duración en la batería de hasta tan solo 4 horas[9].

#### **- Aplicaciones Zigbee**

El estándar Zigbee se centra en mercados y aplicaciones específicas. El estándar Zigbee se ha hecho a la medida para la monitorización y aplicaciones de control. Por lo tanto, se aplica en mercados como la automatización de edificios y hogares, la atención sanitaria, control industrial, control de alumbrado.

En la automatización de edificios y hogares tiene usos como la seguridad, alarmas, control de aire acondicionado, lectura de los contadores de servicios públicos, control de iluminación, control de accesos, control de riego etc. En el área sanitaria es usada para la monitorización de pacientes y equipos para la salud, en nuestro caso se desarrolla la propuesta para la medición del ángulo de la articulación del codo en el movimiento de flexo - extensión. En el control industrial se pueden controlar procesos, sensores de instrumentación entre otros. Además, debido a su baja velocidad de transmisión de datos y su naturaleza de bajo consumo, también entra en los mercados del control remoto para la electrónica de consumo y lo que se llaman Dispositivos para la Interfaz Humana (HID), como teclados, ratones y joysticks[9].

## **ANEXO D**

### **Lesiones en el codo**

A continuación, un análisis de las distintas lesiones del codo, recordando las lesiones mas frecuentes y sin hacer un estudio exhaustivo de los traumatismos del codo.

- Luxaciones: El codo es de las articulaciones con mayor incidencia de luxaciones. Ocurre en caída de bruceos con fuerte apoyo de la mano con el suelo, caídas de espaldas con codo extendido. El tratamiento será siempre la reducción bajo anestesia y la inmovilización de la articulación en 90° de flexión y pronosupinación intermedia durante 3 semanas.

- Fracturas: Una fractura de codo es una rotura en uno o más huesos que forman la articulación del codo. Puede ser causada por un traumatismo en los huesos del codo: Caer sobre un brazo extendido, caer directamente sobre el codo, un golpe directo, o torcer el codo más allá de su rango normal de movimiento. Ver figura

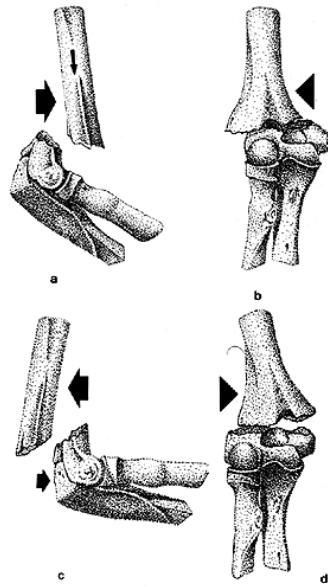
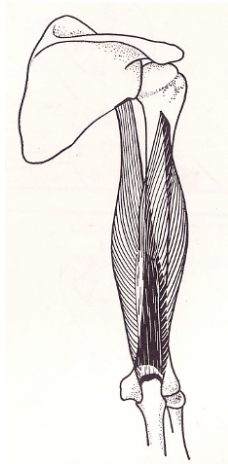


Figura 74. Fracturas supra-condíleas del húmero:  
 (a) y (b) Fracturas por extensión, (c) y (d) Fracturas por flexión.

El tratamiento varía dependiendo de la fractura. En desplazamientos se reduce y fija quirúrgicamente, en otros casos, se puede optar por férula de yeso las formas simples, sin desplazamiento, exigen inmovilización corta de siete a diez días

- Lesiones partes blandas: Muchas enfermedades inflamatorias pueden afectar esta articulación. La afectación mas frecuente es la epicondilitis o "codo de tenista". La forma eficaz de tratamiento es a través de antiinflamatorios aplicados en forma tópica, la inmovilización se da de 10 a 15 días con controles cada 7 días.

### Pruebas Funcionales Musculares



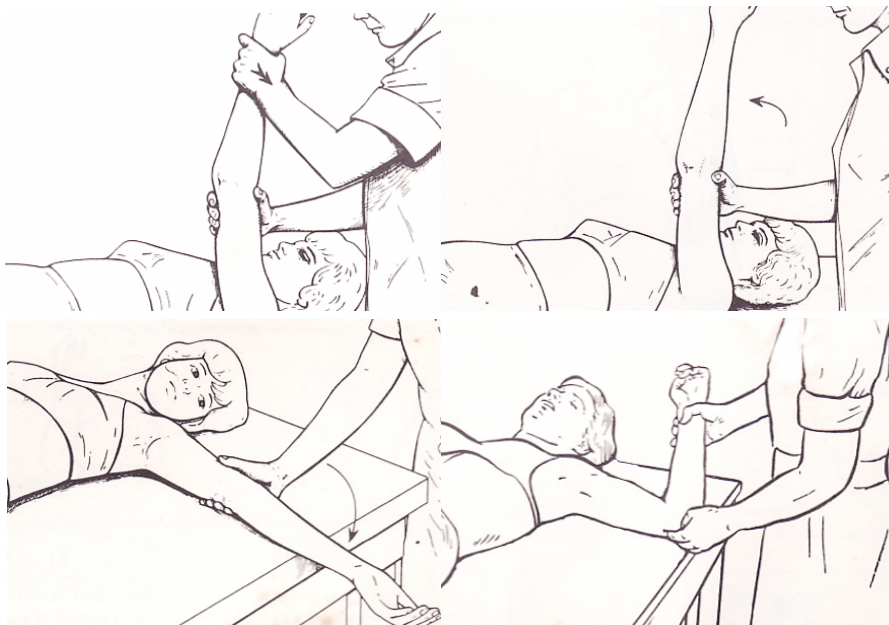
**Figura 75.** Tríceps braquial

### **Extensión**

En la figura se observa el tríceps braquial motor principal en el movimiento de extensión.

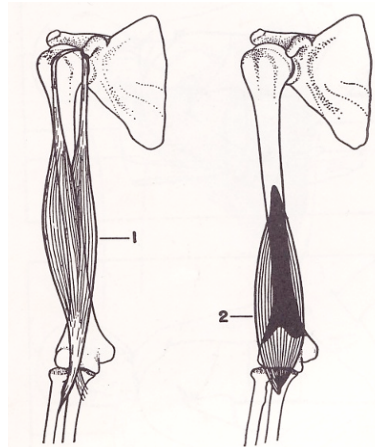
Extensión del Codo: el Arco de movimiento va de 145° - 160° a 0°. Entre los factores que limitan el movimiento están:

- Estiramiento de los ligamentos.
- Tensión de los músculos flexores
- Contacto del oléocranon con la cavidad olecraniana en la cara posterior del húmero.



**Figura 76.** Valoración de la extensión del codo, de izquierda a derecha en la figura: normal y buena, regular, mala y vestigios – cero.

## Flexión

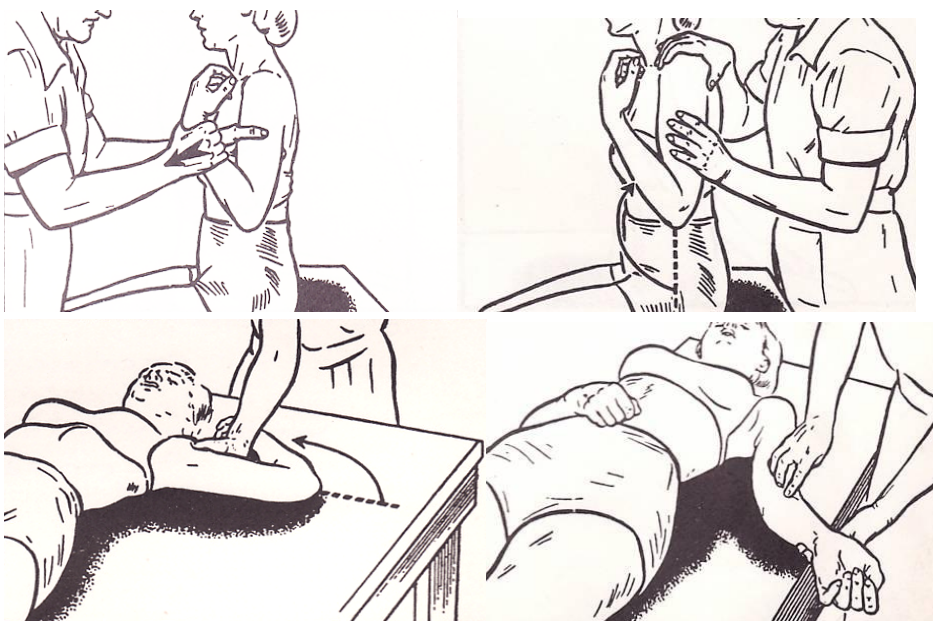


**Figura 77.** Flexión del codo: 1) Bíceps braquial, 2) Braquial anterior

Los motores principales en el movimiento de flexión son: el bíceps braquial, el braquial anterior y el supinador largo. El arco de movimiento va de  $0^{\circ}$  a  $145^{\circ}$  -  $160^{\circ}$ .

Entre los factores que limitan el movimiento están:

- Contacto de las masas musculares de las caras palmares del antebrazo y brazo.
- Contacto de la apófisis coronoides con la cavidad coronidea del húmero.



**Figura 78.** Valoración de la Flexión en el codo: de izquierda a derecha en la figura: normal y buena, regular, mala y vestigios – cero.

## **ANEXO E**

Valoración de la función muscular

- No hay evidencia de contracción
- Contracción evidente que no desplaza la articulación
- Contracción, visible que no se opone a la gravedad ni a la resistencia.
- Contracción que se opone a la gravedad pero no a la resistencia.
- Contracción ligeramente disminuida, aunque se opone a la gravedad y a la resistencia.
- Contracción normal.

Cada músculo debe ser comprobado en una posición bien precisa, para lo cual se ordena al sujeto que realice un movimiento bien determinado; por otra parte hay que examinar el músculo en sí y apreciar su contracción, observar sus tendones, comprobar si son perceptibles, verlos y palparlos.

Bíceps braquial y braquial anterior: para comprobar ambos músculos, el codo se coloca en flexión de 90°, el antebrazo en supinación.

Tríceps: Es el músculo de extensión del codo.

Supinador largo: Fundamentalmente flexor del codo y accesoriamente supinador.

Supinador corto: Junto con el bíceps braquial asegura la supinación del antebrazo. El codo en flexión de 90° con el fin de evitarlos movimientos de rotación del hombro.

Balance funcional: Para apreciar el balance funcional del codo deben considerarse tres elementos movilidad, estabilidad y dolor.

- La *movilidad* es el elemento más importante, pues es, junto con la movilidad del hombro, lo que permite llevar la mano a todas las posiciones. La posición funcional es la de 100° de flexión; el codo que no pueda colocarse en esta posición es impotente. Por otra parte, el antebrazo debe estar en semipronación con el pulgar hacia arriba. Es muy importante recuperar la flexión del codo alrededor del ángulo recto con una amplitud de unos 60° e igualmente importante recuperar la pronosupinación hasta los 40°. El resto de la movilidad tiene menor importancia.

- La *estabilidad* en oscilante la mano es inútil.

- Los *dolores* se presentan raramente inutilizando la extremidad.

El intervalo de tiempo que hay entre una lesión y la valoración del resultado tiene una importancia crítica. En la fase inicial es probable que se detecte una marcada incapacidad, mientras la fractura esta consolidando y las partes blandas están curando. No siempre es fácil establecer la fase de recuperación en una lesión determinada, pero la interpretación de los resultados debe ser cautelosa. En cuanto al control clínico y de calidad se pueden usar categorías diagnósticas amplias, pero se debe ser consciente de que un error en la subclasificación de una fractura o una luxación puede introducir un error significativo en los resultados al omitir una variable importante.[27]

Después del estadio de recuperación normalmente hay una fase meseta, en la que la situación se estabiliza. En este punto la situación tiende a deteriorarse. Cuando se estudian lesiones en los niños, la valoración temporal de la lesión es incluso más crítica. Esta claramente establecida la

gran capacidad en los niños de remodelar fracturas y este hecho afectará en gran medida el resultado.

La duración del seguimiento es también importante cuando se valoran los resultados tras una fractura abierta o tras una reducción abierta y una fijación interna, ya que las manifestaciones evidentes de las infecciones óseas pueden demorarse mucho tiempo.

Los resultados que se dan de lesiones o traumatismos, se asignan en categorías como “excelente”, “bueno”, “aceptable” o “malo” según las valoraciones de los siguientes parámetros: amplitud del movimiento del codo, dolor, función, fuerza y deformidad.

- La amplitud de movimiento: Se establece que la amplitud más útil de flexión y extensión del codo se halla entre los 60 y 120°, la de la pronación del antebrazo, a los 80°, y la de la supinación a los 45°. De este modo, una pérdida combinada de 130° (que es 60° de extensión, 15° de flexión) puede todavía ser considerada una amplitud útil de movimientos del codo. [28]

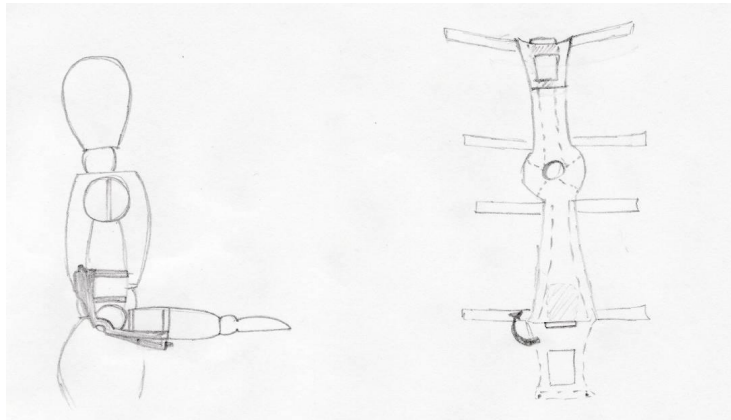
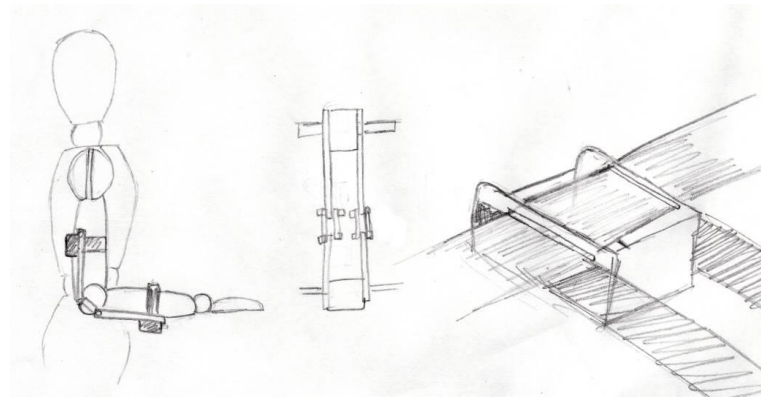
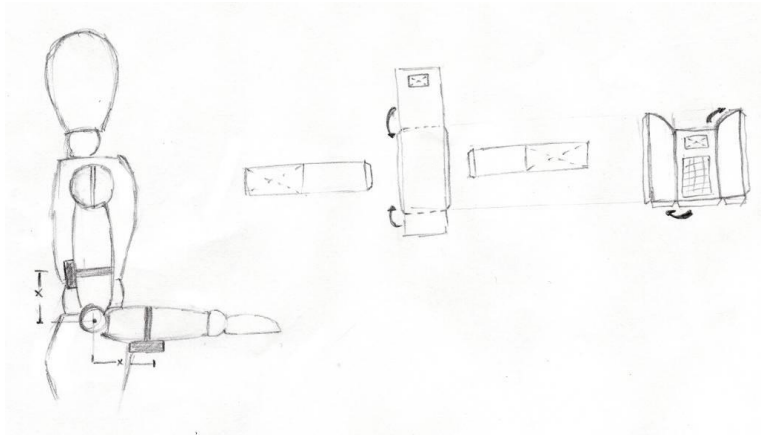
- El dolor: el grado de dolor se subdivide en el experimentado en reposo y en actividad; la dificultad más grande se presenta al momento de puntuar el dolor.

- Fuerza: esta variable se valora con poca frecuencia en las revisiones de los traumatismos. Su valor como medición de resultados es discutible, ya que sólo uno de los varios pacientes como por fuerza debajo de lo normal fue afectado por la debilidad del codo.

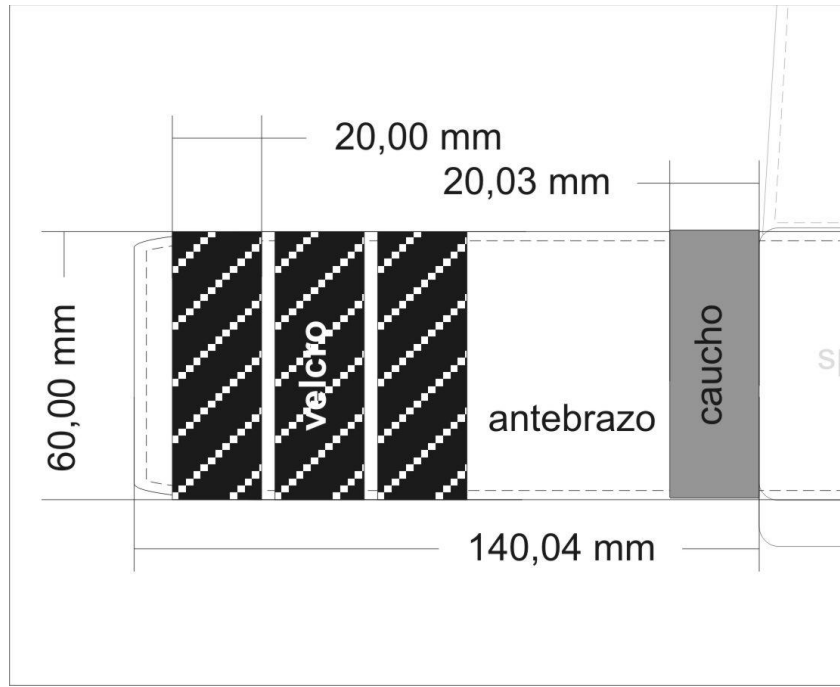
- Deformidad: La deformidad residual puede provocar una afectación funcional. Con mayor frecuencia, la deformidad tiene un efecto estético sobre el resultado de la extremidad superior.

- Función: ya que la función del brazo depende de una combinación de fuerza, amplitud de movimientos, nivel de dolor y capacidad de deformación, la valoración de la función debe aportar estimaciones del estado de los otros aspectos.

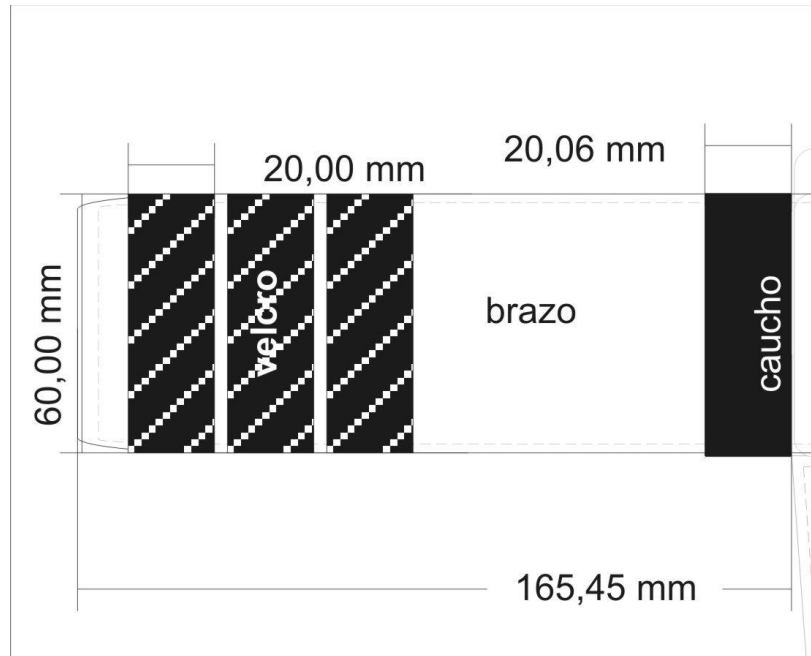
## **ANEXO F**



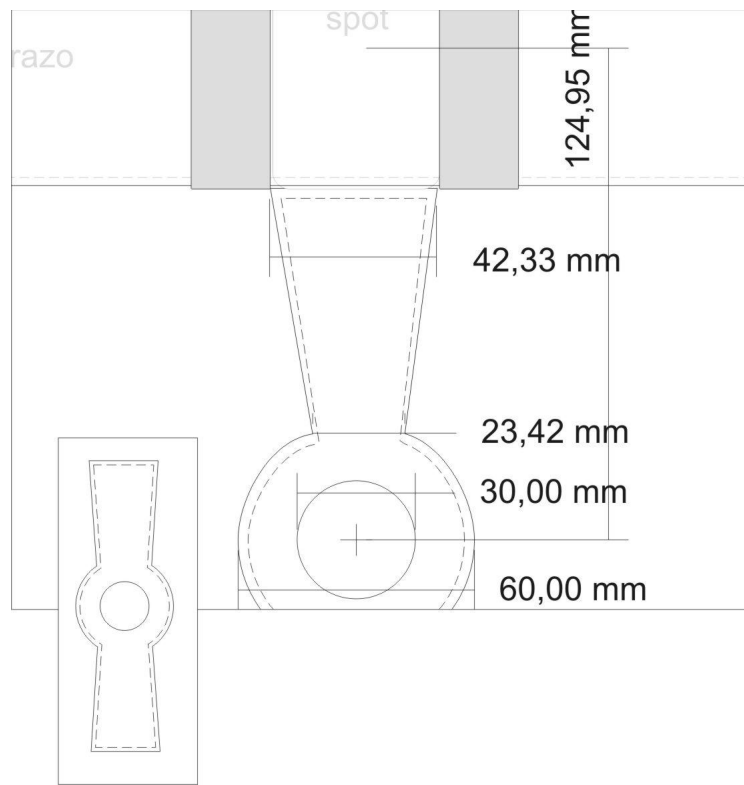
## ANEXO G



**Figura 79.** Molde de bandas para antebrazo



**Figura 80.** Molde de bandas para brazo



**Figura 81.** Molde de distancia a centro de codo.