

**DISPOSITIVO PARA CUANTIFICAR LA FUERZA Y COORDINACIÓN VISO-
MOTORA EN TERAPIAS DE REHABILITACIÓN DE MANO Y DEDOS.**

ANDREA NATHALIA AMAYA RUIZ

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

2016

**DISPOSITIVO PARA CUANTIFICAR LA FUERZA Y COORDINACIÓN VISO-
MOTORA EN TERAPIAS DE REHABILITACIÓN DE MANO Y DEDOS.**

ANDREA NATHALIA AMAYA RUIZ

Proyecto de grado como requisito para optar el título de Diseñador Industrial

Director

LUIS EDUARDO BAUTISTA ROJAS

Diseñador Industrial

Profesor Asociado, Escuela de diseño Industrial

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2016

AGRADECIMIENTOS

Al fin concluye esta etapa tan importante de mi vida. Un periodo en el que aprendí en las aulas, pero también de mis compañeros, profesores y familiares, gente valiosa e interesante de la que me llevo gratos recuerdos. Deseo darles este pequeño agradecimiento y decirles que son los mejores y que nunca los olvidaré. Gracias por todas las experiencias vividas

A mi mamá por su apoyo incondicional durante este proceso.

A mi hermano por su paciencia y consejos.

A Sebastián por su apoyo, paciencia y colaboración.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	22
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	24
1.3 OBJETIVOS.....	25
1.3.1 Objetivo general.....	25
1.3.2 Objetivos específicos.....	26
1.4 ALCANCE.....	26
1.5 CLASIFICACIÓN DE USUARIOS.....	27
2. MARCO TEÓRICO	28
2.1 DEFINICIONES	28
2.2 PATOLOGÍAS.....	30
2.3 ANATOMÍA.....	33
2.3.1 Músculos implicados en la pronación y en la supinación.....	35
2.3.2 Músculos del comportamiento anterior del antebrazo.....	36
2.3.3 Arterias y venas.....	41
2.3.4 Nervios.....	42
2.3.5 Músculos comportamiento posterior del antebrazo.....	43
2.3.6 Mano.....	47
2.3.7 El túnel del carpo y las estructuras de la muñeca.....	54
2.3.8 Músculos.....	56
2.4 ERGONOMÍA.....	59
2.4.1 Antropometría y ergonomía.....	59
2.4.2 Medidas antropométricas.....	64

2.4.3 Ubicación y posición de los mandos	65
2.5 LA REHABILITACIÓN.....	67
2.5.1 La terapia física.....	68
2.5.2 Terapia con espuma	70
2.5.3 Ejercicios de mano.....	72
2.5.4 Movimiento de dedos y mano	73
2.6 PROTOCOLO DE LA REHABILITACIÓN EN TRAUMA DE MANO.	75
2.7 HERRAMIENTAS PARA CUANTIFICAR LA EVOLUCIÓN DE LA TERAPIA (COORDINACIÓN VISO-MOTORA Y FUERZA)	76
2.8 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	79
2.9 HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA REALIZAR SESIONES DE TERAPIAS	84
3. METODOLOGÍA	87
4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	93
5. ETAPA DE IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES Y ANÁLISIS	94
5.1 PLANEACIÓN.....	94
5.2 RECOPIACIÓN DE DATOS SIN PROCESAR.....	95
5.3 ENTREVISTAS DATOS SIN PROCESAR.....	95
5.4 IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS NECESIDADES	96
5.5 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES	97
5.5.1 Requerimientos de uso	98
5.5.2 Requerimientos de función	99
5.5.3 Requerimientos ergonómicos	100
5.5.4 Requerimientos técnico - productivos	100
5.5.5 Requerimientos formal - estéticos.....	101
5.5.6 Requerimientos expresivo - formal	101
5.6 REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS	102
5.7 ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL USUARIO PRIMARIO DURANTE LAS TERAPIAS DE REHABILITACIÓN	103
6. PROCESO CREATIVO.....	105

6.1 DISEÑO POR SUBSISTEMAS	105
6.2 DESARROLLO DE CONCEPTO CARCASA	106
6.2.1 Análisis de curvatura.....	106
6.2.2 Definición del riel.....	108
6.2.3 Configuración formal general	108
6.2.4 Bocetación	109
6.2.5 Alternativa variación configuración formal.....	110
6.2.6 Selección formal de carcasa	112
6.3 DESARROLLO DE CONCEPTO INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO.....	113
6.3.1 Prototipos de papel interfaz	113
6.3.2 Bosquejos Wireframes interfaz.	114
6.3.3 Selección de concepto del Wireframe.....	118
6.4 DISEÑO DE CONCEPTO COMPONENTES ELECTRÓNICOS	118
7. DISEÑO DE DETALLE	121
7.1 DISEÑO DE DETALLE CARCASA	122
7.1.1 Diseño carcasa.	122
7.1.2 Diseño carcasa pantalla.....	126
7.2 DISEÑO DE DETALLE INTERFAZ.....	130
7.2.1 Desarrollo Interfaz Gráfica (IGU)	130
7.2.2 Arquitectura de la información	130
7.2.3 Estructura de la información	130
7.2.4 Diseño de interacción.....	133
7.2.5 Iconografía de Interfaz	137
7.2.6 Diseño visual de la interfaz	138
7.3 DISEÑO COMPONENTES ELECTRÓNICOS	140
7.3.1 Diseño del diagrama PCB.....	140
7.3.2 Esquema del circuito.....	141
7.3.3 Funcionamiento del sistema.	143
7.4 DISEÑO DE IMAGEN GRÁFICA	145
8. PRUEBAS Y REFINAMIENTO	147

8.1 VALORACIÓN DISPOSITIVO.....	147
8.1.1 Interacción dispositivo.....	147
8.2 EVALUACIÓN COMPARATIVA.....	148
8.2.1 Validación sistema de adquisición Biometrics Datalog / Mofin.....	149
8.2.2 Calibración dispositivo	149
8.3 ANÁLISIS COMPARATIVO MÉTODO DE VARIANZA.....	157
8.3.1 Análisis de distribuciones normales	159
9. RESULTADOS.....	166
9.1 RESULTADOS ENTREVISTAS DATOS SIN PROCESAR.....	166
9.2 RESULTADOS SELECCIÓN FORMAL DE CARCASA.....	171
9.2.1 Análisis de resultados selección formal de carcasa	171
9.3 RESULTADOS WIREFRAME	173
9.3.1 Análisis de resultados Wireframe.....	173
9.4 RESULTADOS INTERACCION INTERFAZ GRAFICA.....	177
9.4.1 Valoración de la interfaz gráfica.....	177
9.5 RESULTADOS INTERACCION CON EL DISPOSITIVO	178
9.5.1 Análisis de resultados interacción con el dispositivo.....	178
9.6 RESULTADOS METODO ANOVA	189
10. CONCLUSIONES	192
11. RECOMENDACIONES.....	195
BIBLIOGRAFÍA.....	196

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Articulación radiocubital distal y membrana interósea	33
Figura 2. Pronación y Supinación	34
Figura 3. Músculos del plano superficial del comportamiento anterior del antebrazo	37
Figura 4. Músculos del plano superficial del antebrazo	37
Figura 5. Capa intermedia de músculos en el comportamiento anterior del antebrazo	38
Figura 6. Músculos del plano intermedio del antebrazo	39
Figura 7. Capa profunda de músculos en el comportamiento del antebrazo	40
Figura 8. Músculos del plano profundo del antebrazo	40
Figura 9. Arterias del comportamiento anterior del antebrazo	42
Figura 10. Nervios del comportamiento anterior del antebrazo	43
Figura 11. Músculos del plano superficial del compartimento posterior del antebrazo	44
Figura 12. Musculo superficiales.....	45
Figura 13. Músculos del plano profundo del compartimento posterior del antebrazo	46
Figura 14. Músculos del plano profundo	47
Figura 15. Aducción / abducción.....	48
Figura 16. Mano y articulación de la muñeca	51
Figura 17. Ligamentos metacarpianos transversos profundos	54
Figura 18. Función de los capuchones extensores y de los músculos intrínsecos	56
Figura 19. Interóseos dorsales / palmares.....	57
Figura 20. Aductor del pulgar.....	57

Figura 21. Músculos intrínsecos de la mano.....	58
Figura 22. Movimiento articulario del brazo. Abducción y elevación.....	60
Figura 23. Movimiento articulario codo-antebrazo.....	61
Figura 24. Movimiento articulario de la mano.....	62
Figura 25. Movimiento articulario de los dedos.....	63
Figura 26. Modalidades de prensión de la mano.....	63
Figura 27. Dimensiones de la mano.....	64
Figura 28. Postura según plano de trabajo.....	65
Figura 29. Ubicación y posición de pulsadores.....	66
Figura 30. Dimensiones ideales para áreas de activación en pantallas táctiles.....	67
Figura 31. Mesa para realizar ejercicios de fuerza y agarre.....	84
Figura 32. Elementos para realizar ejercicios de motricidad fina.....	85
Figura 33. Elementos para realizar ejercicios de motricidad fina.....	85
Figura 34. Elementos para realizar ejercicios de miembro inferior.....	85
Figura 35. Elemento para realizar ejercicios de fuerza y agarre.....	86
Figura 36. Elementos para realizar Ejercicios de agarre.....	86
Figura 37. Elementos para realizar ejercicios de agarre, fuerza y motricidad fina.....	86
Figura 38. Esquema metodológico.....	88
Figura 39. Esquema metodológico.....	93
Figura 40. Fase 0 (Planeación).....	94
Figura 41. Protocolo Terapia Física.....	104
Figura 42. Fase 1 - 2 (Desarrollo De Concepto).....	105
Figura 43. Diseño por subsistemas.....	106
Figura 44. Análisis de la Geometría de la Mano.....	107
Figura 45. Análisis del arco y riel.....	108
Figura 46. Variación configuración formal.....	109
Figura 47. Bocetos: variaciones de configuración formal.....	110
Figura 48. Alternativa 1.....	111
Figura 49. Alternativa 2.....	111
Figura 50. Alternativa 3.....	112

Figura 51. Modelos en madera y cartón	112
Figura 52. Prototipos de papel	113
Figura 53. Ventanas bosquejo 1	115
Figura 54. Ventanas bosquejo 2	116
Figura 55. Ventanas bosquejo 3	117
Figura 56. Procesador ARM-Cortex M0	119
Figura 57. FPGA spartan-3A.....	119
Figura 58. Microcontrolador Atmega328p.....	119
Figura 59. Sensor Piezoresistivo A301	120
Figura 60. Celda de carga	120
Figura 61. Fase 3 (Diseño de detalle).....	121
Figura 62. Diseño por subsistemas.....	122
Figura 63. Vista isométrica MOFIN	123
Figura 64. Vista explosionada MOFIN	124
Figura 65. Planos Mofin	125
Figura 66. Componentes agujeros carcasa	126
Figura 67. Carcasa pantalla	127
Figura 68. Ensamble carcasa pantalla.....	127
Figura 69. Partes mecanismo pantalla.....	128
Figura 70. Parte inferior pulsador.....	128
Figura 71. Parte superior pulsador.....	129
Figura 72. Copa pulsador	129
Figura 73. Diagrama arquitectura de la información	130
Figura 74. Diagrama flujo selección modo juego	131
Figura 75. Diagrama estructura del sistema	132
Figura 76. Barrido visual del usuario.....	134
Figura 77. Jerarquía visual en software	135
Figura 78. Dimensión en milímetros. Pantalla Ulcd-43PT.....	136
Figura 79. Dimensión en pixeles (4.3). Pantalla Ulcd-43PT.....	136
Figura 80. Diseño Visual.....	139

Figura 81. Usuario interactuando con la interfaz gráfica	140
Figura 82. Vista superior e inferior de la PCB terminada.	140
Figura 83. Esquema leds implementados.....	141
Figura 84. Esquema microcontrolador implementado.....	142
Figura 85. Esquema amplificación implementado.....	142
Figura 86. Etapa de potencia implementada	143
Figura 87. Esquema funcional	144
Figura 88. Descripción tareas	144
Figura 89. Distribución de la inervación sensitiva. Dermatomas miembro superior	145
Figura 90. Logo dispositivo.	146
Figura 91. Fase 4 (Pruebas y refinamiento).....	147
Figura 92. Usuario interactuando con el dispositivo.....	148
Figura 93. Calibración dispositivo	149
Figura 94 Esquema de entrada y salidas de los dos dispositivos	150
Figura 95. Regresión lineal peso A vs peso B	150
Figura 96. Montaje peso sensor 1.....	152
Figura 97. Montaje peso sensor 2.....	152
Figura 98. Montaje peso sensor 3.....	153
Figura 99. Montaje peso sensor 4.....	153
Figura 100. Montaje peso sensor 5.....	153
Figura 101. Esquema entrada y salida	154
Figura 102. Peso B vs voltaje sensor 1.....	155
Figura 103. Peso B vs voltaje sensor 2.....	155
Figura 104. Peso B vs voltaje sensor 3.....	156
Figura 105. Peso B vs voltaje sensor 4.....	156
Figura 106. Peso B vs voltaje sensor 5.....	157
Figura 107. Distribución normal pulgar derecho	160
Figura 108. Distribución normal índice derecho.....	161
Figura 109. Distribución normal medio derecho	163

Figura 110. Distribución normal anular derecho	164
Figura 111. Distribución normal meñique derecho.....	165
Figura 112. Usuario Primario	166
Figura 113. Terapias realizadas al día.....	166
Figura 114. Herramientas usadas.....	167
Figura 115. Evaluación del paciente	168
Figura 116. Evaluación de recuperación.....	168
Figura 117. Herramienta para control	169
Figura 118. Importancia cuantificación fuerza	170
Figura 119. Herramienta de cuantificación	170
Figura 120. Identificación de componentes	171
Figura 121. Ubicación de elementos.....	172
Figura 122. Evaluación de calificativos	172
Figura 123. Modelo de capas	173
Figura 124. Navegación wireframe	174
Figura 125. Diseño de ventana wireframe	175
Figura 126. Distribución elementos wireframe	176
Figura 127. Número de intentos ejercicios activos.....	177
Figura 128. Número de Intentos Fuerza	178
Figura 129. Molestias.....	179
Figura 130. Ubicación elementos.....	180
Figura 131. Acomodar miembro superior.....	181
Figura 132. Dimensión mano	182
Figura 133. Dimensión dispositivo	183
Figura 134. Señal lumínica	184
Figura 135. Señal auditiva	184
Figura 136. Retroalimentación del sistema.....	185
Figura 137. Visualización pantalla	186
Figura 138. Medición de fuerza.....	186
Figura 139. Implementación del dispositivo	187

Figura 140. Calificativos modelo funcional.....188
Figura 141. Resultados retroalimentación189

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Terapia con espuma	70
Tabla 2. Ejercicios de mano.....	72
Tabla 3. Movimiento de dedos y mano	73
Tabla 4. Herramientas para cuantificar la evolución de la terapia.....	77
Tabla 5. Revisión del estado del arte.....	79
Tabla 6. Necesidades e Importancia Relativa.....	96
Tabla 7. Requerimientos de uso	98
Tabla 8. Requerimientos de función	99
Tabla 9. Requerimientos ergonómicos	100
Tabla 10. Requerimientos técnico productivos	100
Tabla 11. Requerimientos formal – estéticos	101
Tabla 12. Requerimientos Expresivo – Formal	101
Tabla 13. Requerimientos Específicos.....	102
Tabla 14. Iconografía Interfaz Grafica.....	137
Tabla 15. Resultados varianza dispositivo Mofin.	189

LISTA DE ANEXOS

NOTA: Los anexos a continuación relacionados se encuentran adjuntos en una carpeta en el cd-rom

ANEXO A. Protocolo – Usuario primario

ANEXO B. Protocolo entrevistas

ANEXO C. Formato necesidades requerimientos – Usuario primario

ANEXO D. Cuestionario para valoración de Carcasas – Usuario Primario

ANEXO E. Protocolo prueba técnica Wireframe

ANEXO F. Cuestionario para valoración del Wireframe – Usuario Primario

ANEXO G. Protocolo prueba técnica interfaz grafica

ANEXO H. Interacción Interfaz - Usuario Primario

ANEXO I. Cuestionario para la validación del modelo funcional – Usuario Primario

ANEXO J. Valoración retroalimentación Interfaz - Usuario Primario

ANEXO K. Formato de evaluación

ANEXO L. Formato de evaluación

ANEXO M. Componentes electrónicos

ANEXO N. Selección de componentes

RESUMEN

TITULO: Dispositivo para cuantificar la fuerza y coordinación viso-motora en terapias de rehabilitación de mano y dedos.

AUTOR: Andrea Nathalia Amaya Ruiz **

PALABRAS CLAVE: Rehabilitación, Destreza miembro superior, Fuerza, Enfoques terapéuticos, Coordinación visomotora.

DESCRIPCIÓN

En el proceso de rehabilitación, los fisioterapeutas evalúan distintos tipos de afecciones como lesiones o trauma de mano, lo cual contó con el mayor porcentaje entre las patologías encontradas en los centros de rehabilitación visitados. Los fisioterapeutas realizan valoraciones y terapias que permiten recuperar fuerza y movilidad teniendo en cuenta el tipo de lesión y grado de dolor. Durante la rehabilitación física se utilizan distintas estrategias de recuperación y aunque la recuperación depende de la continuidad del proceso, es importante resaltar que la disposición del paciente es fundamental en el mejoramiento y de la evolución que este mismo tenga. La evolución de la terapia es evaluada por medio de observación y cumplimiento de tareas, guiado por un protocolo establecido, dando así resultados cualitativos.

Por tanto, se encontró la necesidad de realizar una evaluación objetiva por medio de adquisición de datos obtenidos en unidades de fuerza y lleve un seguimiento más preciso de la evolución del paciente, integrando métodos que brinden motivación en la realización de ejercicios propuestos. Esto permite que el fisioterapeuta tenga control de la evolución de la terapia.

Se diseñó un dispositivo que integra medición de fuerza y coordinación viso-motora permitiendo realizar la evaluación de cualquier mano por medio de una secuencia de ejercicios activos a través de estímulos audiovisuales; también cuenta con sensores piezoresistivos que realizan la medición de fuerza de cada dedo.

Finalmente, se realizó un seguimiento de la evolución de la terapia. El dispositivo diseñado mostró resultados satisfactorios, donde se evidenció el progreso por medio de toma de datos y la realización de ejercicios evaluando la coordinación viso-motora a través del juego. De esta manera, el prototipo pretende generar un impacto positivo en terapias de rehabilitación, integrando nuevas herramientas que permitan evaluar la evolución del paciente y su utilización por parte de los rehabilitadores físicos.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Luis Eduardo Bautista Rojas MSc., Diseñador Industrial. Profesor Asociado, Escuela de Diseño Industrial

ABSTRACT

TITLE: Device to quantify strength and visual-motor coordination in rehabilitation therapies of hands and fingers

AUTHOR: Andrea Nathalia Amaya Ruiz **

KEYWORDS: Rehabilitation, Upper limb dexterity, Force, Therapeutic approaches, Hand-eye coordination.

DESCRIPTION

In the course of the rehabilitation process, physiotherapists assess different types of conditions such as trauma of the hand, which had the highest percentage among the different pathologies found in the rehabilitation centers visited and therefore is the main theme of this project. Physical therapists perform assessments and therapies that allow regain strength and mobility considering the type of injury and the degree of pain. During physical rehabilitation different recovery strategies are used and although recovery depends mostly on the continuity of the process, it is important to note that the patient's readiness is a critical pillar in improving and therefore affects the evolution. The developing of therapy is assessed by observation and fulfillment of tasks, guided by an established protocol, giving qualitative results.

Therefore, as described previously, it was found the need for an objective assessment by the acquisition of data in units of force and carry out a more accurate patient progress monitoring, thus integrating methods that provide motivation for performing the exercises. This allows the physiotherapist keep track of the evolution of therapy and the patient is more willing to do it.

A device that integrates the measurement of strength and coordination visuo-motor and allows the evaluation of any hand through a sequence of exercises through audiovisual stimuli were designed; likewise piezoresistive sensors has made measuring strength of each finger.

Finally, testing patients and tracking the data during therapy was performed. The designed device showed satisfactory results, where patients progress evidenced by a data collection and conducting exercises assessing the visual-motor coordination through games. Thus, the prototype aims to generate a positive impact on the process of rehabilitation therapy, integrating new tools to evaluate the patient's progress and its use by the physical rehabilitation.

* Degree work

** Faculty of Engineering Physico-Mechanical. School of Industrial Design. Director: Luis Eduardo Bautista Rojas, Industrial Designer. Professor, School of Industrial Design

INTRODUCCIÓN

Después de un proceso traumático o lesión, los pacientes deben someterse a terapias que permitan rehabilitar el miembro afectado. Para los casos de patologías de miembro superior, se realizan diversas terapias que incluyen ejercicios activos para recuperar la movilidad y la fuerza de la extremidad. La recuperación es valorada por el fisioterapeuta mediante observación del paciente, formatos establecidos por el centro de rehabilitación y cumplimiento de tareas.

Los fisioterapeutas consultados consideran que una herramienta que les permita cuantificar el avance de la terapia por medio de valores de fuerza, podría apoyar el proceso de seguimiento y control de la recuperación del paciente.

Generalmente para la medición de la fuerza de los dedos se utiliza el pinzómetro, que es usado de manera inadecuada ya que es empleado para medir la fuerza de los dedos por separado la cual no es su función principal, por tanto la evaluación depende más del criterio del especialista.

En este proyecto se diseñó una herramienta que integra el proceso de seguimiento que lleva el fisioterapeuta a cada paciente a partir de la cuantificación de fuerza y coordinación viso-motora, utilizada en terapias de rehabilitación enfocadas a pacientes con patologías en mano y dedos con el objetivo de lograr una evaluación precisa aplicado a la toma de datos, evolución y control del avance de la sesión de terapia.

En el proceso de investigación se implementó una metodología que comprendió de 5 fases. En la primera etapa (PLANEACIÓN) se realizó indagación por medio de aproximación a centros de rehabilitación, identificando así las necesidades y patologías más comunes en pacientes. Posteriormente, en la segunda etapa

(DESARROLLO DE CONCEPTO) se plantearon alternativas a partir de los requerimientos encontrados, realizando prototipos y pruebas técnicas para definir las características finales. Finalizada la fase anterior, se continuó con la tercera etapa (DISEÑO A NIVEL SISTEMA) donde se evaluó el diseño de carcasa y el diseño de interfaz, teniendo así, un resultado a partir de los requerimientos y especificaciones. Luego en la cuarta etapa (DISEÑO DE DETALLE) se definió cada elemento del dispositivo, teniendo en cuenta las especificaciones de los sistemas que lo componían como la carcasa, la interfaz gráfica y los componentes electrónicos. Por último, se llegó a la quinta etapa (PRUEBAS Y REFINAMIENTO), se realizaron pruebas de interacción con el modelo final para la validación, la cual permitió detectar fallos y realizar las respectivas correcciones.

Finalmente se realizó una prueba de comparación para verificar la validez de los datos y calibrar el dispositivo por medio de una balanza y pesos específicos. Igualmente se procedió a un análisis estadístico usando como punto de referencia un sistema de medición con mayor exactitud (Biometrics DataLOG MWX8) ¹, donde se concluyó que las diferencias entre los dos sistemas no se encuentran dentro de los valores tolerables teniendo en cuenta el método estadístico empleado, sin embargo, los datos obtenidos pueden servir como valores de referencia en la evolución de la sesión de terapia de rehabilitación, ya que no se logró obtener un rango de valores permisibles estipulado por el nivel de confianza empleado en la prueba.

¹ Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cada año por consulta externa, se atienden entre 15.000 y 20.000 pacientes que presentan lesiones serias de las extremidades superiores. Cerca del 5% de la población colombiana sufre heridas de mano cada año. La mano es la parte del cuerpo que más sufre por cuenta de los accidentes laborales que se registran en el mundo. En Colombia, se atienden aproximadamente 4,800 lesiones ocupacionales, de las cuales el 80% (3.840) corresponden a traumas en las manos, como aplastamiento y cercenamiento; de este porcentaje, la mitad o más (casi 2.000) afectan los dedos. En diciembre del año 2013 se reportaron 10.000 procedimientos quirúrgicos relacionados con cirugías de mano. El 40% de las lesiones son producidas en accidentes industriales, siendo los dedos índice y pulgar los más afectados; de este porcentaje, el 75% de los pacientes son hombres y el 50% de ellos se encuentran en edad productiva entre los 16 y 30 años de edad.²

Luego de observar el proceso de recuperación, se concluyó la importancia que tiene el proceso de rehabilitación después de sufrir algún tipo de patología en el miembro superior, ya que hace parte fundamental para la recuperación del movimiento y el buen desempeño en la realización de actividades cotidianas, como el autocuidado. Dentro de la rehabilitación, se encontraron diferentes modalidades de ejercicios activos que se propusieron a lo largo de la sesión de terapia y se distribuyen dependiendo del estado del paciente y el número de sesiones. Los ejercicios implementados fueron activos y requirieron de la presión

² Información Accidentes. Disponible en: http://www.clinicadeloccidente.com/ver_sala_prensa.php?id=39. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

lo cual depende de la integridad de la cadena cinética de los huesos y articulaciones extendidas, que van desde la muñeca hasta las falanges distales, comprometiendo sus arcos longitudinales o trasversales que altera la morfología de la mano e implica la ruptura de un ensamble coordinado necesario para la realización de agarres de fuerza y de precisión. Se propuso trabajar con los pulpejos de los dedos donde comprendió movimientos de la articulación metacarpofalángica del pulgar y los dedos participantes; de igual manera se trabajó con los músculos flexores profundos y superficiales de los dedos y el flexor largo del pulgar³⁻⁴.

Para el análisis del entorno y la obtención de los datos relacionados con la identificación del problema, se desarrolló un trabajo de campo basado en la toma de fotografías, videos y entrevistas a fisioterapeutas y consultorios de rehabilitación (se realizó un consentimiento informado al momento de obtener fotos y/o videos). Los centros de rehabilitación se encuentran distribuidos en varias salas para tratamientos que reciben el nombre de cubículos, los cuales se organizan dependiendo del miembro a tratar (miembro superior o miembro inferior).

A partir de las observaciones realizadas en los centros de rehabilitación en la ciudad de Bucaramanga e indagar en el proceso de recuperación de los pacientes, se encontró dificultades partiendo de las sesiones y el tipo de ejercicios que se realizaban en ellas.

Las dificultades encontradas fueron:

- El seguimiento del paciente no es completamente controlado, ya que no se toman datos exactos de la evolución donde se utilizaron métodos como la

³ Kendall's, F. 2007. Músculos: Pruebas, funciones y dolor postural. 5 ed. Editorial: Marban Libros

⁴ Palastanga, N. Field, D y Soames, R. 2000. Anatomía y movimiento humano. Estructura y funcionamiento. 3 ed. España. Editorial: Paidotribo

observación y cumplimiento de tareas, por lo cual los resultados obtenidos no son precisos.

- Se usaron herramientas que no han sido diseñadas para cuantificar fuerza de manera individual para cada dedo.
- La falta de interés de algunos pacientes por realizar de manera adecuada los ejercicios propuestos por el Fisioterapeuta. (Evidenciado en algunas sesiones de terapias)
- La evaluación viso-motora en la realización de ejercicios, se dio de manera subjetiva, ya que con los métodos empleados no se encontró una secuencia o un rango que indicara el desempeño del paciente.

De acuerdo a lo anterior, encontró necesidad de diseñar un dispositivo que integrara la cuantificación de fuerza de cada dedo por separado y coordinación visomotora a partir de secuencias activas de juego, creando un método donde el usuario interactuara con el dispositivo y al mismo tiempo realizara la terapia propuesta por el especialista.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En Bucaramanga existen alrededor de 18 centros de rehabilitación de lesiones de mano, en estos centros se tratan un promedio de 80 pacientes al año, quienes presentan disminución de movilidad y fuerza en dicha extremidad. Dichas patologías son tratadas por medio de rehabilitación, donde se espera recuperar la movilidad y fuerza de la mano, necesarias para realizar actividades cotidianas. Los profesionales de la salud que rehabilitan a personas con lesiones de mano valoran la evolución de la terapia mediante la recuperación de la fuerza y la coordinación viso-motora, dicha valoración la realizan basados en la observación, realización satisfactoria de tareas y formatos de escalas propias. Dichas técnicas le permiten

estimar la evolución de la terapia. Sin embargo, las técnicas no permiten una cuantificación precisa de la evolución de la terapia. La evolución de cada paciente es valorada por el alcance y dedicación que haya tenido en el proceso de recuperación, ya que el buen desarrollo de las actividades, depende en gran parte de la disposición del paciente y no del especialista. Dado a los métodos utilizados por el fisioterapeuta es importante resaltar que el seguimiento que se le da a cada paciente es subjetivo, pues no se tiene la manera exacta de cuantificar el avance de la fuerza ni la habilidad para realizar las actividades propuestas. Aunque existen avances en el ámbito de la recuperación física, las condiciones de evaluación para la rehabilitación son superficiales ya que las soluciones existentes no permiten dar valores aproximados en el proceso o el avance del paciente. Por tanto, dicha valoración mediante un equipo, podría disminuir la subjetividad en la recolección de información para realizar la rehabilitación, ya que la implementación de nuevas tecnologías, podría ser aplicada para cuantificar la evolución de manera más objetiva, de un paciente que necesite de rehabilitación física, ya que de esto depende la manera como se desarrollará en su entorno y qué tan bien se pueda desenvolver en la sociedad. Por lo tanto, diseñar un dispositivo, que cumplan una función específica como la cuantificación de la fuerza y la coordinación viso-motora en la rehabilitación física le brindaría al terapeuta información más precisa y asertiva en el momento de evaluar el paciente. (Estudio de campo realizado centros de rehabilitación en Bucaramanga.)

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Diseñar una interfaz física que mediante un dispositivo, permita integrar la cuantificación de fuerza y coordinación viso-motora aplicado a la terapia de movimiento en manos y dedos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Reconocer las necesidades de los usuarios para determinar los requerimientos de diseño del producto, mediante el método de aproximación en centros de rehabilitación.
- Diseñar el concepto formal y funcional que alojará los componentes electrónicos a partir de la identificación de las necesidades de los usuarios, determinando los requerimientos del diseño del producto.
- Implementar a través de estímulos audiovisuales tres tipos de ejercicios realizados en rehabilitación de mano, los cuales cuantificarán la fuerza y la coordinación viso-motora a través de diferentes modos de juego.

1.4 ALCANCE

- Modelo funcional:

Mostró datos de la presión digital realizada por cada uno de los dedos de la mano, visualizó la puntuación de cada ejercicio realizado e indico aciertos y errores en el desarrollo del juego a través de estímulos audiovisuales. (El proceso, evolución, estado o alcance de la terapia no condiciona el progreso o avance del paciente ya que permite realizar la terapia con normalidad).

- Comprobaciones técnicas:

Por medio de comparaciones con el dispositivo “DataLog MWX8”⁵ se calibraron los sensores, obteniendo una medida cercana a la del dispositivo patrón.

Pruebas con usuarios (fisioterapeuta, pacientes):

⁵ Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Se realizaron pruebas de eficiencia, eficacia y satisfacción a un grupo piloto de usuarios.

- Planos esquemáticos del dispositivo:

Se entregaron los planos en detalle de cada elemento que compone y hace parte del funcionamiento del dispositivo.

1.5 CLASIFICACIÓN DE USUARIOS

Se presentan 2 usuarios que corresponden a los dos tipos de usuario primario y secundario:

Usuarios primarios. Fisioterapeuta (s); Es el tipo de usuario que tiene contacto directo con el equipo ya que es quien lo opera y por lo tanto es experto en su manipulación. Por esta razón está en capacidad de aportar en la determinación de los parámetros para el diseño del sistema de interrelación y dispositivos de mano del equipo ya que posiblemente han interactuado con lo inadecuado y en, algunos casos, improvisando soluciones para satisfacer las necesidades.

Usuarios secundarios. Paciente (s); Es el tipo de usuario que se beneficia de los resultados generados por el sistema e interactúa de manera indirecta con él. Generalmente, no tiene conocimiento sobre las técnicas empleadas y es solamente un receptor del tratamiento.

2. MARCO TEÓRICO

El miembro superior se caracteriza por su movilidad y su capacidad para agarrar, golpear y llevar a cabo acciones motoras finas (manipulación). Estas características son especialmente relevantes en el caso de la mano, cuando se realizan actividades manuales como abrocharse la camisa. Las lesiones traumáticas de mano se refieren a todo daño ocasionado por agente externo de forma aguda a la mano, se considera el espacio anatómico comprendido de los metacarpianos a las falanges distales que incluyen lesiones del lecho ungueal⁶

2.1 DEFINICIONES

Fuerza (force, strength) [Del lat. fortis, fuerte]. Cualquier influencia que cambia el movimiento de un objeto, bien acelerándolo o desacelerándolo, incluidos los cambios de dirección del movimiento⁷.

Fuerza Muscular (muse/e s.). Fuerza máxima que puede aplicar un músculo; se mide con ejercicios isométricos, isocinéticos o isotónicos⁸.

Coordinación (coordination). Funcionamiento armónico de órganos y partes interrelacionados; se aplica especialmente al proceso del aparato motor del cerebro que asegura el funcionamiento coordinado de grupos concretos de músculos para la realización de respuestas adaptativas útiles y definidas⁹.

⁶ DICCIONARIO MEDICO: lecho ungueal. Disponible en: https://www.medicoscubanos.com/diccionario_medico.aspx?q=lecho%20ungueal. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

⁷ Dorland diccionario enciclopédico ilustrado de medicina 30ed . P 851

⁸ Ibid

⁹ Ibid. 470 p.

Motora (motor p.). Vía eferente que conduce impulsos desde el sistema nervioso central a un músculo. V. también en tracto¹⁰.

Visual (visual p.). Vía sensorial de la vista, que conduce impulsos desde los fotorreceptores a la corteza cerebral por medio del nervio óptico, la cintilla óptica y la radiación óptica¹¹.

Visomotor (visuomotor). Pertenece o relativo a las conexiones entre los procesos visuales y motores, como el uso de indicios visuales para realizar movimientos coordinados¹².

Coordinación Visomotora. Supone la concordancia entre el ojo (verificador de la actividad) y la mano (ejecutora), de manera que cuando la actividad cerebral ha creado los mecanismos para el acto motor, sea preciso y económico. Lo que implica que la visión se libere de la mediación activa entre el cerebro y la mano y pase a ser una simple verificadora de la actividad¹³.

“La coordinación visomotora es la capacidad que tiene el cuerpo de reconocer una acción motriz a nivel cognitivo mediante la percepción visual, interpretarla y elaborar una respuesta inmediata a estos estímulos brindados que se manifestarán de manera conjunta y simultánea, esta relación proporcionará un determinado patrón que provocará una conducta en un determinado momento, conformando así un nuevo aprendizaje y forma de desempeñarse en el medio que se le presente.”(Recopilación definición diferentes autores)

¹⁰ Ibid. 2070 p.

¹¹ Ibid. 2071 p.

¹² Ibid. 2097 p.

¹³ Berruezo, P. (1999). El psicomotricista para las necesidades especiales. España: Granada. Berruezo, P. (2002). La grafomotricidad, el movimiento de la escritura. iberoamericana de psicomotricidad,4-7.

2.2 PATOLOGÍAS

Las patologías que afectan más frecuentemente son las luxaciones, las fracturas, síndrome de túnel, epicondinitis y en menor medida las quemaduras, amputaciones y parálisis cerebral.

Luxaciones. Se producen por la hiperextensión, hiperabducción y semiflexión-supinación del antebrazo, que tiene como consecuencia la pérdida de contacto de las superficies articulares. Tras la reducción de la lesión se debe inmovilizar la articulación durante un periodo de tres semanas¹⁴.

Fractura supracondílea del humero. Fractura transversal en el extremo distal del humero. La retracción del bíceps obliga al desplazamiento del segmento fracturado, presionando sobre la arteria braquial, con lo que se disminuye el riego sanguíneo de los músculos en la parte anterior del brazo, produciendo contracciones y disminución de las funciones de los músculos, tanto flexores como extensores¹⁵.

Fracturas transcondilares. Fractura transversal que pasa a través de los epicóndilos, el olecranon y la fosa coronoides. En todos los pacientes se presenta una reducción de la movilidad del codo, especialmente en la extensión¹⁶.

Fractura de la cabeza del radio. Es una de las lesiones que suelen ocurrir cuando se produce una caída con la mano extendida. Estas fracturas suelen producir una pérdida de la extensión completa del codo y la reconstrucción

¹⁴ LUXACIONES. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000014.htm>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

¹⁵ PERRY, Clayton R. y ELSTROM, John A. Manual de fracturas. Traducido por Dr. Jorge Alberto Mérito. 2 ed. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2001. 463 p.

¹⁶ Ibid.

quirúrgica puede precisar periodos prolongados de fisioterapia para conseguir una recuperación total de la movilidad articular¹⁷.

Fractura de olecranon. Son más frecuentes en la tercera edad, y son causadas por la caída sobre el antebrazo semiflexionado y supinado o por golpes directos en el punto del olecranon¹⁸.

Fractura de la fosa coronoide. Se presentan generalmente con una dislocación del codo; 10% de las dislocaciones de codo son acompañadas por una fractura de la apófisis coronoide¹⁹.

Síndrome del túnel carpiano. El nervio mediano brinda sensación y movimiento al lado de la palma de la mano. Esto incluye el lado palmar del pulgar, el dedo índice, el medio y el anular. La zona de la muñeca por donde ingresa este nervio en la mano se llama túnel carpiano y normalmente es estrecho. Cualquier hinchazón puede comprimir el nervio y causar dolor, entumecimiento, hormigueo o debilidad, lo cual se conoce como síndrome del túnel carpiano²⁰.

Epicondilitis. Se desarrollan pequeños desgarres en el tendón. Con el tiempo, esto lleva a que se presente irritación y dolor donde el tendón se fija al hueso. Esta lesión es común en las personas que juegan mucho tenis u otros deportes de raqueta, de ahí su nombre de "codo de tenista". El revés es el golpe más común que causa síntomas. Pero cualquier actividad que involucre torsión repetitiva de la muñeca (Como usar un destornillador) puede llevar a esta afección. Los pintores, los plomeros, los obreros de la construcción, los cocineros y los carniceros son todos más propensos a presentar el codo de tenista. Esta afección también puede

¹⁷ Ibid.

¹⁸ Ibid.

¹⁹ Ibid.

²⁰ SINDROME DEL TUNEL CARPIANO. Disponible en: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000433.htm>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

deberse al uso constante del ratón y el teclado de la computadora²¹.

Quemaduras. Hay numerosos factores que influyen en el movimiento articular de los pacientes quemados, las causas más frecuentes son la hipertrofia y la contracción de los tejidos cicatriciales o de los injertos cutáneos alrededor de la articulación, el daño de las estructuras ligamentosas o de las propias articulaciones por las quemaduras también pueden limitar la movilidad articular²².

Amputación. Es la pérdida de una parte del cuerpo, generalmente un dedo de la mano o del pie, un brazo o una pierna, que ocurre como resultado de un accidente o lesión. Si un accidente o un trauma ocasiona una amputación completa (es decir la parte del cuerpo resulta totalmente cercenada), dicha parte algunas veces se puede volver a conectar, sobre todo cuando se tienen los cuidados apropiados con la parte cercenada y el muñón.

En una amputación parcial, queda parte de la conexión de tejidos blandos. Según la gravedad de la lesión, se puede o no volver a conectar la extremidad parcialmente cercenada²³.

Parálisis Cerebral. Es un grupo de trastornos que pueden comprometer las funciones del cerebro y del sistema nervioso como el movimiento, el aprendizaje, la audición, la visión y el pensamiento. Hay algunos tipos diferentes de parálisis cerebral, entre ellas: espástica, discinética, atáxica, hipotónica y mixta²⁴.

²¹ Epicondilitis. Disponible en: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000449.htm>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

²² QUEMADURAS. Disponible en: HERNDON, D. Tratamiento integral de las quemaduras. 3 ed. Madrid: Elsevier Masson, 2009. 638p.

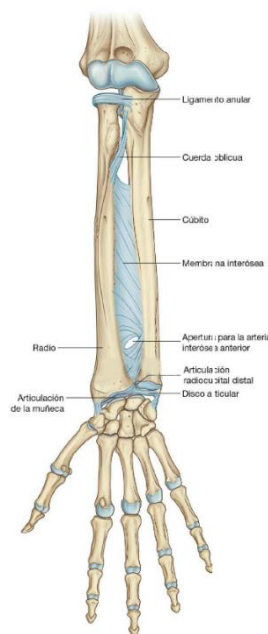
²³ Amputacion. Disponible en: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000006.htm>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

²⁴ Paralisis Cerebral. Disponible en: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000716.htm>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

2.3 ANATOMÍA

Antebrazo. El antebrazo es la parte de la extremidad superior que se extiende desde la articulación del codo hasta la muñeca. En la zona proximal, la mayoría de las principales estructuras pasan entre el brazo y el antebrazo a través de la fosa cubital, situada en la zona anterior de la articulación del codo. En la zona distal, las estructuras pasan entre el antebrazo y la mano bien por el túnel del carpo, o anteriores a esta estructura. La principal excepción es la arteria radial, que rodea la muñeca por su cara dorsal para acceder a la mano por la zona posterior²⁵.

Figura 1. Articulación radiocubital distal y membrana interósea



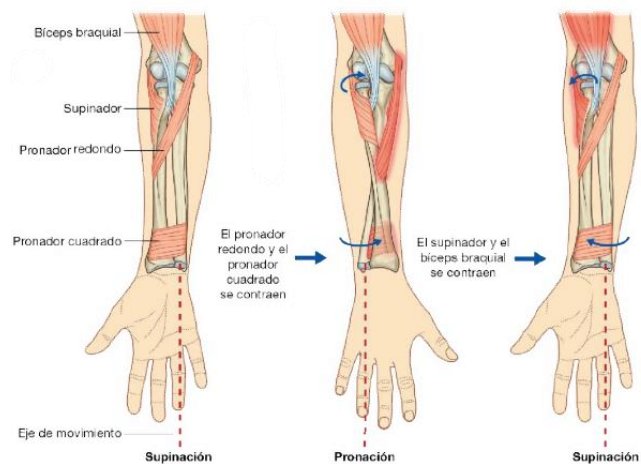
Fuente: Articulación radiocubital distal y membrana interósea. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7, 800 p.

²⁵ Antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 801 p

Membrana interósea. Es una delgada lámina fibrosa que conecta el borde medial del radio con el lateral del cúbito. La membrana interósea conecta el radio y el cúbito sin restringir los movimientos de pronación y supinación, y sirve para la inserción de músculos de los compartimentos anterior y posterior. La orientación de las fibras de esta membrana favorece la transferencia de fuerzas desde el radio hasta el cúbito y, en definitiva, desde la mano hasta el húmero²⁶.

Pronación y supinación. La pronación y la supinación de la mano se producen completamente en el antebrazo, e implican la rotación del radio en el codo y el desplazamiento del extremo distal del radio sobre el cúbito²⁷.

Figura 2. Pronación y Supinación



Fuente: Pronación y supinación. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A.2015. Capítulo 7. 801 p

²⁶ Membrana interósea. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 801 p

²⁷ Pronación y supinación. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 801 p.

2.3.1 Músculos implicados en la pronación y en la supinación

Bíceps braquial. El músculo bíceps braquial, el mayor de los cuatro músculos encargados de la pronación y la supinación de la mano, es un potente supinador, además de ser flexor de la articulación del codo. Resulta más eficaz como supinador cuando el brazo se encuentra flexionado²⁸.

Supinador. El segundo músculo implicado en la supinación es el supinador. Se localiza en el compartimento posterior del antebrazo. El tendón del músculo bíceps braquial y del músculo supinador envuelven el extremo proximal del radio cuando la mano está en pronación. Cuando se contraen, se desenroscan del hueso y producen la supinación de la mano²⁹.

Pronador redondo y pronador cuadrado. La pronación es consecuencia de la acción de los músculos pronador redondo y pronador cuadrado, ambos se encuentran en el compartimento anterior del antebrazo. Cuando estos músculos se contraen, desplazan el extremo distal del radio sobre el cúbito, y así consiguen la pronación de la mano³⁰.

Ancóneo. En la articulación del codo, además de la flexión y extensión en bisagra se produce cierta abducción del extremo distal del cúbito, además de mantener la posición de la palma de la mano en un eje central durante la pronación³¹.

²⁸ Bíceps braquial. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 802 p.

²⁹ Supinador. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 802 p.

³⁰ Pronador redondo y pronador cuadrado. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 802 p.

³¹ Ancóneo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 802 p.

2.3.2 Músculos del comportamiento anterior del antebrazo. Los músculos del compartimento anterior (flexor) del antebrazo se disponen en tres planos: superficial, intermedio y profundo. En general, estos músculos se asocian con³²:

- Movimientos de la articulación de la muñeca.
- Flexión de los dedos, incluido el pulgar.
- Pronación.

Plano superficial. Los cuatro músculos del plano superficial (flexor cubital del carpo, palmar largo, flexor radial del carpo y pronador redondo) tienen un origen común en el epicóndilo medial del húmero y, con excepción del pronador redondo, se extienden distalmente desde el antebrazo hasta la mano³³.

³² Músculos del comportamiento anterior del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 802 p.

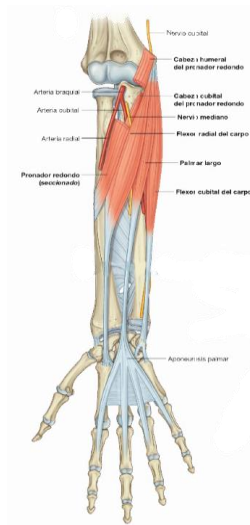
³³ Plano superficial. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 803 p.

Figura 3. Músculos del plano superficial del comportamiento anterior del antebrazo

Músculo	Origen	Inserción	Inervación	Función
Flexor cubital del carpo	Cabeza humeral: epicóndilo medial del húmero; cabeza cubital: olécranon y borde posterior del cúbito.	Hueso pisiforme, y desde ahí mediante los ligamentos pisiganchoso y pisimetacarpiano al ganchoso y a la base del V metacarpiano.	Nervio cubital (C7, C8, T1).	Flexiona y aduce la articulación de la muñeca.
Palmar largo	Epicóndilo medial del húmero.	Aponeurosis palmar de la mano.	Nervio mediano (C7, C8).	Flexiona la muñeca; como la aponeurosis palmar se inserta en la piel de la mano, la contracción del músculo durante el agarre resiste las fuerzas de tracción sobre la piel.
Flexor radial del carpo	Epicóndilo medial del húmero.	Base del II y III metacarpianos.	Nervio mediano (C6, C7).	Nervio mediano (C6, C7).
Pronador redondo	Cabeza humeral: epicóndilo medial y cresta supracondílea adyacente; cabeza cubital: zona medial de la apófisis coronoides.	Rugosidad en la superficie lateral de la zona media de la diáfisis del radio.	Nervio mediano (C6, C7).	Nervio mediano (C6, C7).

Fuente: Músculos del plano superficial del comportamiento anterior del antebrazo: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A.2015. Capítulo 7. 803 p

Figura 4. Músculos del plano superficial del antebrazo



Fuente: Músculos del plano superficial del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo. 804 p

Plano intermedio. El músculo del plano intermedio del compartimento anterior del antebrazo es el músculo flexor superficial de los dedos. Este gran músculo tiene dos cabezas:

- La cabeza humerocubital, que se origina principalmente en el epicóndilo medial del húmero y en la zona adyacente del borde medial de la apófisis coronoides del cúbito.
- La cabeza radial, que tiene su origen en la línea oblicua anterior del radio³⁴.

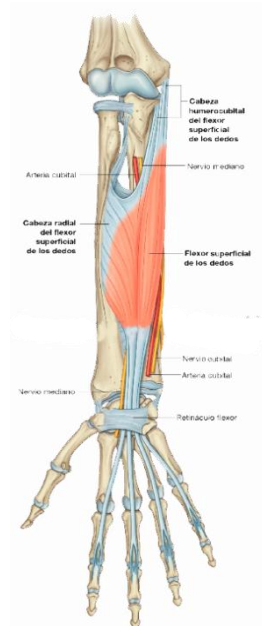
Figura 5. Capa intermedia de músculos en el comportamiento anterior del antebrazo

Músculo	Origen	Inserción	Inervación	Función
Flexor superficial de los dedos	Porción humerocubital: epicóndilo medial del húmero y margen adyacente de la apófisis coronoides; porción radial: línea oblicua del radio.	Cuatro tendones, que se insertan en la superficie palmar de las falanges medias de los dedos índice, medio, anular y meñique.	Nervio mediano (C8, T1)	Flexión de las articulaciones interfalángicas proximales de los dedos índice, medio, anular y meñique; también puede flexionar las articulaciones metacarpofalángicas de los mismos dedos y la articulación de la muñeca.

Fuente: Capa intermedia de músculos en el comportamiento anterior del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 805 p

³⁴ Plano intermedio. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 805 p.

Figura 6. Músculos del plano intermedio del antebrazo



Fuente: Músculos del plano intermedio del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 806 p

Plano profundo. En el compartimento anterior del antebrazo hay tres músculos profundos: el flexor profundo de los dedos, el flexor largo del pulgar y el pronador cuadrado³⁵.

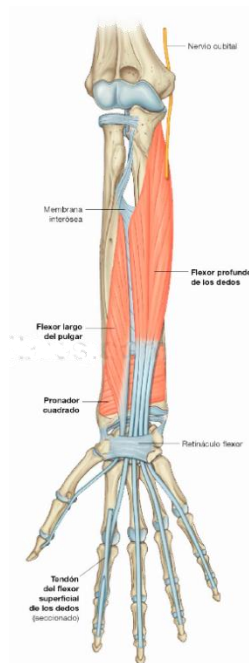
³⁵ Plano profundo del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 807 p.

Figura 7. Capa profunda de músculos en el comportamiento del antebrazo

Músculo	Origen	Inserción	Inervación	Función
Flexor profundo de los dedos	Superficies anterior y medial del cúbito, y mitad medial anterior de la membrana interósea.	Cuatro tendones que se insertan en las superficies palmares de las falanges distales de los dedos índice, medio, anular y pulgar.	Mitad lateral por el nervio mediano (nervio interóseo anterior), mitad medial por el nervio cubital (C8, T1).	Flexiona la articulaciones interfalángicas distales de los dedos índice, medio, anular y meñique; también puede flexionar las articulaciones metacarpofalángicas de estos dedos y la articulación de la muñeca.
Flexor largo del pulgar	Superficie anterior del radio y mitad radial de la membrana interósea.	Superficie palmar de la base de la falange distal del pulgar.	Nervio mediano (nervio interóseo anterior) (C7, C8).	Flexiona la articulación interfalángica del pulgar y puede flexionar la metacarpofalángica del pulgar.
Pronador cuadrado	Cresta lineal en la superficie anterior distal del cúbito.	Superficie anterior distal del radio.	Nervio mediano (ramo interóseo anterior) (C7, C8).	Pronación.

Fuente: Capa profunda de músculos en el comportamiento del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 807 p

Figura 8. Músculos del plano profundo del antebrazo



Fuente: Músculos del plano profundo del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 806 p

2.3.3 Arterias y venas. Las arterias de mayor tamaño del antebrazo se sitúan en el compartimento anterior, se dirigen distalmente para irrigar la mano y emiten vasos que irrigan el compartimento posterior. La arteria braquial llega al antebrazo desde el brazo pasando por la fosa cubital. En el vértice de esta fosa se divide en sus dos ramas principales: la arteria radial y la arteria cubital.

Arteria radial. La arteria radial abandona el antebrazo, rodea la zona lateral de la muñeca y penetra en la cara dorsolateral de la mano, entre las bases del I y II metacarpianos. Las ramas de la arteria radial en la mano suelen proporcionar la principal irrigación para el pulgar y la cara lateral del dedo índice. Las ramas que se originan en la arteria radial en el antebrazo son: arteria recurrente radial, rama palmar del carpo, rama palmar superficial.

Arteria cubital. La arteria cubital abandona el antebrazo, llega a la mano discurrendo lateral al hueso pisiforme y superficial al retináculo flexor de la muñeca, y forma un arco sobre la palma. Suele proporcionar la principal irrigación de los tres dedos mediales y la mitad medial del índice. Las ramas de la arteria cubital que se originan en el antebrazo son: arteria recurrente cubital, arteria interósea común, arterias del carpo (rama dorsal del carpo y rama palmar del carpo).

Venas. Las venas profundas del compartimento anterior suelen acompañar a las arterias y drenar en las venas braquiales que se relacionan con la arteria braquial en la fosa cubital³⁶.

³⁶ Arterias y venas. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 808 p.

Figura 9. Arterias del comportamiento anterior del antebrazo



Fuente: Arteria del comportamiento anterior del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 808 p

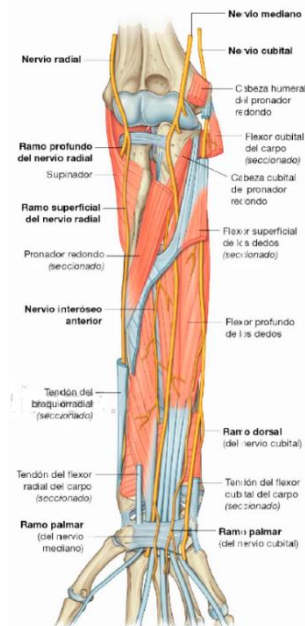
2.3.4 Nervios. Los nervios del compartimento anterior del antebrazo son los nervios mediano y cubital, y el ramo superficial del nervio radial.

Nervio mediano. El nervio mediano inerva todos los músculos del compartimento anterior del antebrazo, excepto el flexor cubital del carpo y la parte medial del flexor profundo de los dedos (dedos anular y meñique).

Nervio cubital. El nervio cubital (ulnar) discurre por el antebrazo y la mano, donde emite la mayoría de sus ramos principales. En el antebrazo, el nervio cubital inerva sólo el músculo flexor cubital del carpo y la parte medial (dedos anular y meñique) del músculo flexor profundo de los dedos.

Nervio radial. El nervio radial se bifurca bajo el borde del músculo braquiorradial, en el límite lateral de la fosa cubital, en sus ramos profundo y superficial³⁷.

Figura 10. Nervios del comportamiento anterior del antebrazo



Fuente: Nervios del comportamiento anterior del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 810 p

2.3.5 Músculos comportamiento posterior del antebrazo. Los músculos del compartimento posterior del antebrazo se disponen en dos planos: un plano superficial y un plano profundo³⁸. Estos músculos se relacionan con:

³⁷ Nervios: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 810 p.

³⁸ Músculos: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 811 p.

- Los movimientos de la articulación de la muñeca.
- La extensión de los dedos y del pulgar.
- La supinación.

Plano superficial. En el plano superficial se hallan siete músculos: braquiorradial, extensor radial largo del carpo, extensor radial corto del carpo, extensor de los dedos, extensor del dedo meñique, extensor cubital el carpo y ancóneo³⁹.

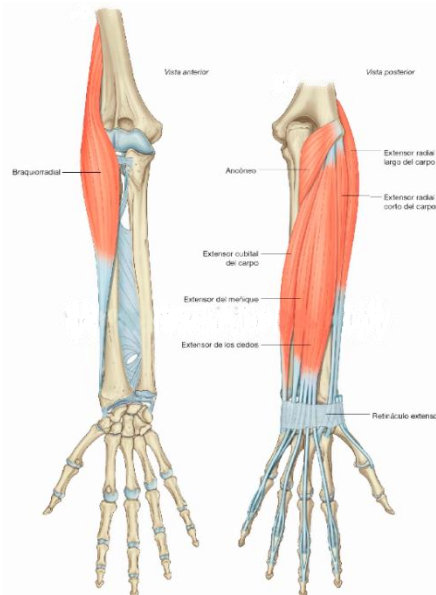
Figura 11. Músculos del plano superficial del compartimento posterior del antebrazo

Músculo	Origen	Inserción	Inervación	Función
Braquiorradial	Parte proximal de la cresta supracondílea lateral del húmero y tabique intermuscular adyacente.	Superficie lateral del extremo distal del radio.	Nervio radial (C5,C6) antes de dividirse en los ramos superficial y profundo.	Flexor accesorio de la articulación del codo cuando el antebrazo está en pronación media.
Extensor radial largo del carpo	Parte distal de la cresta supracondílea lateral del húmero y tabique intermuscular adyacente.	Superficie dorsal de la base del II metacarpiano.	Nervio radial (C6, C7) antes de dividirse en ramos superficial y profundo.	Extiende y abduce la muñeca.
Extensor radial corto del carpo	Epicóndilo lateral del húmero y tabique intermuscular adyacente.	Superficie dorsal de la base del II y III metacarpianos.	Ramo profundo del nervio radial (C7, C8) antes de perforar el músculo supinador.	Extiende y abduce la muñeca.
Extensor de los dedos	Epicóndilo lateral del húmero y tabique intermuscular y fascia profunda adyacentes.	Cuatro tendones, que se insertan a través el (capuchón extensor) en la cara dorsal de las bases de las falanges media y distal de los dedos índice, medio, anular y meñique.	Nervio interóseo posterior (C7, C8).	Extiende los dedos índice, medio, anular y meñique; también puede extender la muñeca.
Extensor del dedo meñique	Epicóndilo lateral del húmero y tabique intermuscular adyacente junto con el extensor de los dedos.	Capuchón dorsal del dedo meñique.	Nervio interóseo posterior (C7, C8).	Extiende el dedo meñique.
Extensor cubital del carpo	Epicóndilo lateral del húmero y borde posterior del cúbito.	Tubérculo en la base de la cara medial del V metacarpiano.	Nervio interóseo posterior (C7, C8).	Extiende y aduce la muñeca.
Ancóneo	Epicóndilo lateral del húmero.	Olécranon y superficie posterior proximal del cúbito.	Nervio radial (C6,C7,C8) (a través del ramo para la cabeza medial del tríceps braquial)	Abducción del cúbito en pronación; extensor accesorio de las articulación del codo.

Fuente: Músculos del plano superficial del comportamiento posterior del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7.813 p

³⁹ Plano superficial: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 811 p.

Figura 12. Musculo superficiales



Fuente: Músculos del plano superficial del compartimento posterior del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7.812 p

Plano profundo. El plano profundo del compartimento posterior del antebrazo está formado por cinco músculos: supinador, abductor largo del pulgar, extensor corto del pulgar, extensor largo del pulgar y extensor del índice⁴⁰.

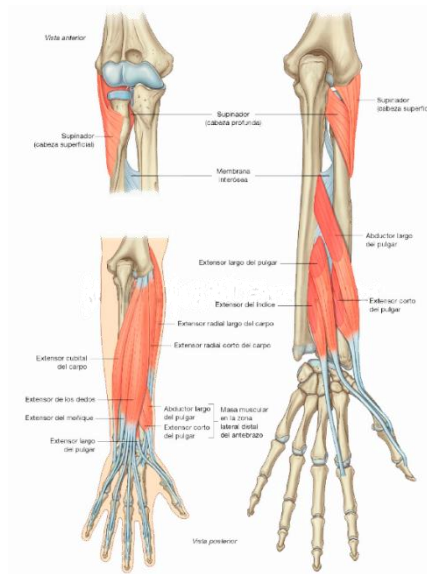
⁴⁰ Fuente: Plano profundo: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 814 p.

Figura 13. Músculos del plano profundo del compartimento posterior del antebrazo

Músculo	Origen	Inserción	Inervación	Función
Supinador	Parte superficial: epicóndilo lateral del húmero, ligamentos colaterales radial y anular del radio; parte profunda: cresta del músculo supinador del cúbito.	Superficie lateral del radio, superior a la línea oblicua anterior.	Nervio interóseo posterior (C6,C7).	Supinación.
Abductor largo del pulgar	Superficies posteriores del cúbito y del radio (distal a las inserciones del supinador y del anóneo) y membrana interósea adyacente.	Cara lateral de la base del I metacarpiano	Nervio interóseo posterior (C7,C8).	Abduce la articulación carpometacarpiana del pulgar, extensor accesorio del pulgar.
Extensor corto del pulgar	Superficie posterior del radio (distal al abductor largo del pulgar) y membrana interósea adyacente.	Superficie dorsal de la base de la falange proximal del pulgar.	Nervio interóseo posterior (C7,C8).	Extiende la articulación metacarpofalángica del pulgar y puede extender la carpometacarpiana del pulgar.
Extensor largo del pulgar	Superficie posterior del cúbito (distal al abductor largo del pulgar) y membrana interósea adyacente.	Superficie dorsal de la base de la falange distal del pulgar.	Nervio interóseo posterior (C7,C8).	Extiende los dedos índice, medio, anular y meñique; también puede extender la muñeca.
Extensor del dedo meñique	Epicóndilo lateral del húmero y tabique intermuscular adyacente junto con el extensor de los dedos.	Capuchón dorsal del dedo meñique.	Nervio interóseo posterior (C7,C8).	Extiende la articulación interfalángica del pulgar; puede extender las articulaciones carpometacarpiana y metacarpofalángica del pulgar.
Extensor del índice	Superficie posterior del cúbito (distal al extensor largo del pulgar) y membrana interósea adyacente.	Capuchón extensor del dedo índice.	Nervio interóseo posterior (C7,C8).	Extiende el dedo índice.

Fuente: Músculos del plano profundo del comportamiento posterior del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 816 p

Figura 14. Músculos del plano profundo



Fuente: Músculos del plano profundo del comportamiento posterior del antebrazo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 815 p

2.3.6 Mano. La mano es la región de la extremidad superior distal a la articulación de la muñeca. Se subdivide en tres partes:

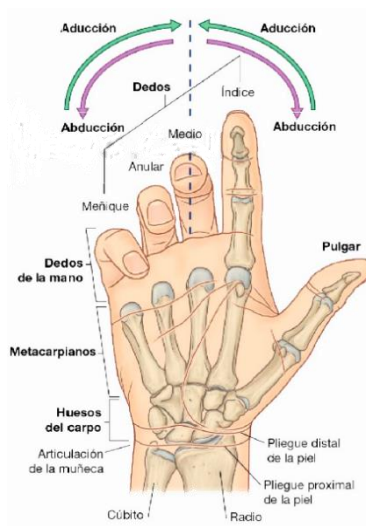
- Muñeca (carpo).
- Metacarpo.
- Dedos (cinco dedos, entre los que se incluye el pulgar).

Los cinco dedos son el pulgar, en posición lateral, y los cuatro dedos mediales a éste: índice, medio, anular y meñique. En la posición de reposo, los dedos forman una arcada flexionada. El meñique está más flexionado y el índice es el que menos flexionado se encuentra. En la posición anatómica, los dedos están extendidos. La mano tiene una superficie anterior (palma) y una superficie dorsal (dorso de la mano). La abducción y la aducción de los dedos se definen respecto

de un eje longitudinal que pasa por el dedo medio. En la posición anatómica, el eje longitudinal del pulgar se encuentra rotado 90° con respecto del resto de los dedos, de modo que la yema del pulgar apunta en sentido medial; por tanto, los movimientos del pulgar se definen en perpendicular respecto de los movimientos de los otros dedos de la mano.

La mano es una herramienta mecánica y sensitiva. Muchas de las características de la extremidad superior tienen como función facilitar que la mano se disponga en diferentes posiciones en el espacio⁴¹.

Figura 15. Aducción / abducción



Fuente: Mano aducción/abducción. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 818 p

Huesos. En la mano hay tres grupos de huesos:

- Los ocho huesos del carpo, que constituyen los huesos de la muñeca.

⁴¹ Mano. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 818 p.

- Los cinco metacarpianos (I a V), que son los huesos del metacarpo.
- Las falanges, que son los huesos de los dedos.

El pulgar tiene sólo dos falanges, mientras que el resto de los dedos tiene tres. Los huesos del carpo y los metacarpianos de los dedos índice, medio, anular y meñique (II a V metacarpianos) tienden a actuar como una unidad y constituyen la mayor parte del esqueleto óseo de la palma. El metacarpiano del pulgar funciona de forma independiente y tiene más flexibilidad en la articulación carpometacarpiana para conseguir la oposición del pulgar a los otros dedos⁴².

Huesos del carpo. Los pequeños huesos del carpo de la muñeca se disponen en dos filas, una proximal y una distal, cada una formada por cuatro huesos⁴³.

Fila proximal. De lateral a medial, y vista desde la parte anterior, la fila proximal de huesos está formada por⁴⁴:

- El escafoides, con forma de barco.
- El semilunar, que tiene forma de media luna.
- El piramidal, que tiene tres caras.
- El pisiforme, con forma de guisante.

Fila distal. De lateral a medial y vista desde la parte anterior, la fila distal de los huesos del carpo está formada por⁴⁵:

- El trapecio, de forma irregular, con cuatro lados.

⁴² Huesos. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 819 p.

⁴³ Ibid.

⁴⁴ Fila proximal. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 819 p.

⁴⁵ Fila distal. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 819 p.

- El trapezoide, de cuatro lados.
- El grande, que tiene una cabeza.
- El ganchoso, que posee un gancho (apófisis unciforme)

Superficies articulares. Los huesos del carpo tienen numerosas superficies articulares. Todas ellas se articulan entre sí, y los huesos del carpo de la fila distal lo hacen con los metacarpianos de los dedos. Excepto la articulación del metacarpiano del pulgar, las articulaciones de los metacarpianos con los huesos del carpo son muy poco móviles.

Las extensas superficies proximales del escafoides y del semilunar se articulan con el radio y forman la articulación de la muñeca⁴⁶.

Arco del carpo. Los huesos del carpo no se disponen en un plano aplanado, sino que forman un arco, cuya base se dirige en sentido anterior. La parte lateral de la base está formada por los tubérculos de los huesos escafoides y trapecio. La parte medial está formada por el pisiforme y el gancho del ganchoso⁴⁷.

Metacarpianos. Cada uno de los metacarpianos se relaciona con un dedo:

- El I metacarpiano se relaciona con el pulgar.
- Los metacarpianos II a V lo hacen con el índice, el dedo medio, el anular y el meñique, respectivamente

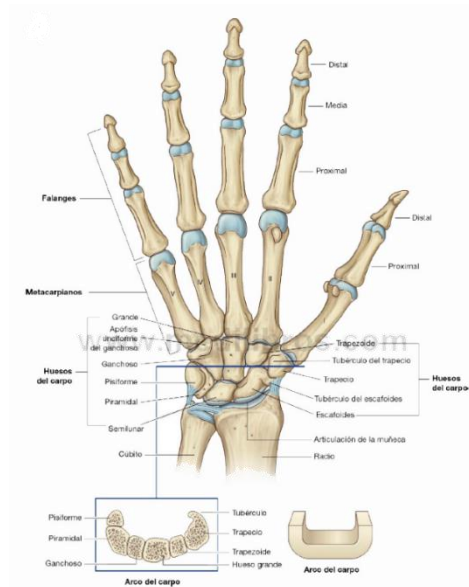
Cada metacarpiano está formado por una base, una diáfisis (cuerpo) y una cabeza, situada distalmente. Las bases de todos los metacarpianos se articulan con los huesos del carpo; además, las bases de los huesos metacarpianos de los dedos se articulan entre sí. Las cabezas de todos los metacarpianos se articulan

⁴⁶ Superficies articulares. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 819 p.

⁴⁷ Arco del carpo. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 819 p.

con las falanges proximales de los dedos. Cuando éstos se flexionan, las cabezas de los metacarpianos forman los nudillos en la superficie dorsal de la mano⁴⁸.

Figura 16. Mano y articulación de la muñeca



Fuente: Mano y articulaciones de la muñeca. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 820 p

Falanges. Las falanges son los huesos de los dedos⁴⁹.

- El pulgar tiene dos falanges: proximal y distal.
- El resto de los dedos, tiene tres: las falanges proximal, media y distal.

Cada una de las falanges tiene una base, una diáfisis (cuerpo) y una cabeza, situada distalmente.

⁴⁸ Metacarpianos. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 819 p.

⁴⁹ Falanges. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 821 p.

La base de cada falange proximal se articula con la cabeza del hueso metacarpiano correspondiente. La cabeza de cada falange distal no se articula, y se aplana formando una tuberosidad palmar con forma de media luna, que se ubica bajo la almohadilla palmar del extremo del dedo⁵⁰.

2.3.6.1 Articulaciones

Articulación de la muñeca. La articulación de la muñeca es una articulación sinovial que se establece entre el extremo distal del radio y el disco articular situado en el extremo distal del cúbito, y los huesos escafoides, semilunar y piramidal. La articulación de la muñeca permite que se realicen movimientos en dos ejes. La mano se puede abducir, aducir, flexionar y extender en esta articulación⁵¹.

Articulaciones del carpo. Las articulaciones sinoviales que se establecen entre los huesos del carpo comparten una cavidad articular común. La cápsula de las articulaciones se encuentra reforzada por numerosos ligamentos. Aunque el movimiento de las articulaciones del carpo (intercarpianas) es limitado, éstas contribuyen a desplazar la mano durante la abducción, aducción, flexión y, en especial, durante la extensión⁵².

Articulaciones metacarpofalángicas. Las articulaciones entre las cabezas distales de los metacarpianos y las falanges proximales de los dedos son articulaciones condíleas, que permiten flexión, extensión, abducción, aducción, circunducción y una rotación limitada. La cápsula de estas articulaciones se

⁵⁰ Falanges. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 821 p.

⁵¹ Articulaciones. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 821 p.

⁵² Ibid

encuentra reforzada por el ligamento palmar y por los ligamentos colaterales medial y lateral⁵³.

Ligamentos meta carpianos transversos profundos. Son gruesas bandas de tejido conjuntivo que conectan los ligamentos palmares de las articulaciones metacarpofalángicas de los dedos entre sí. Su papel es destacado porque, al mantener juntas las cabezas de los metacarpianos, limitan los movimientos de estos huesos entre sí. Gracias a ello, colaboran en la formación de un esqueleto óseo unificado en la palma de la mano. Se debe observar que no existe un ligamento metacarpiano transverso profundo entre el ligamento palmar de la articulación metacarpofalángica del pulgar y el ligamento palmar del dedo índice. La ausencia de este ligamento y la presencia de una articulación en silla de montar entre el I metacarpiano y el trapecio son los responsables de la mayor movilidad del pulgar respecto del resto de los dedos de la mano⁵⁴.

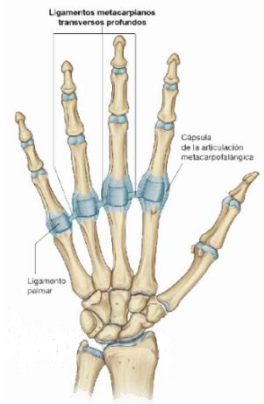
Articulaciones interfalángicas de la mano. Las articulaciones interfalángicas de la mano son de tipo bisagra y permiten principalmente los movimientos de flexión y de extensión. Se encuentran reforzadas por los ligamentos colaterales medial y lateral, así como por los ligamentos palmares⁵⁵.

⁵³ Articulaciones metacarpofalángicas. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 821-822 p.

⁵⁴ Ligamentos. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 822 p.

⁵⁵ Articulaciones interfalángicas de la mano. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 822 p.

Figura 17. Ligamentos metacarpianos transversos profundos



Fuente: Ligamentos metacarpianos transversos profundos. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 822 p

2.3.7 El túnel del carpo y las estructuras de la muñeca. El túnel del carpo se ubica en la parte anterior de la muñeca, y está formado por un arco profundo, constituido por los huesos del carpo, y por el retináculo flexor. Todos los tendones del flexor profundo de los dedos y del flexor superficial de los dedos están rodeados por una única vaina sinovial; el tendón del flexor largo del pulgar está rodeado por una vaina independiente.

Los tendones del extensor de los dedos y del extensor del índice cuentan con un mismo compartimento y una misma vaina sinovial, situados en la superficie posterior de la muñeca. En la cara lateral de la muñeca hay tres compartimentos, uno para los tendones del abductor largo del pulgar y del extensor corto del pulgar,

otro para el extensor radial largo del carpo y del extensor radial corto del carpo, y un tercero para el tendón del extensor largo del pulgar⁵⁶.

Aponeurosis palmar. La aponeurosis palmar es una condensación triangular de la fascia profunda que cubre la palma y que está fijada a la piel de la zona distal. El palmar corto es un pequeño músculo intrínseco de la mano, de forma cuadrangular. El palmar corto deprime la cuenca de la palma al tensar la piel sobre la eminencia hipotenar y forma un surco nítido, lo que puede mejorar la función de agarre. El palmar corto está inervado por el ramo superficial del nervio cubital⁵⁷.

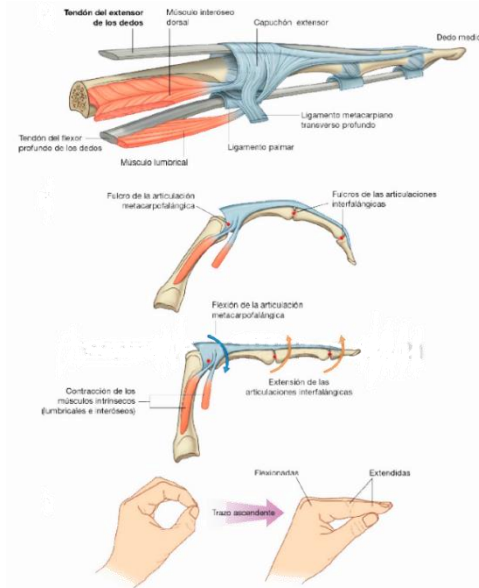
Tabaquera anatómica. El término «tabaquera anatómica» se utiliza para definir una depresión triangular situada en la zona posterolateral de la muñeca y del I metacarpiano. Está formada por los tendones extensores que se dirigen al pulgar⁵⁸.

⁵⁶ El túnel del carpo y las estructuras de la muñeca. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 824 p.

⁵⁷ Aponeurosis palmar. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 824 p.

⁵⁸ Tabaquera anatómica. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 826 p.

Figura 18. Función de los capuchones extensores y de los músculos intrínsecos



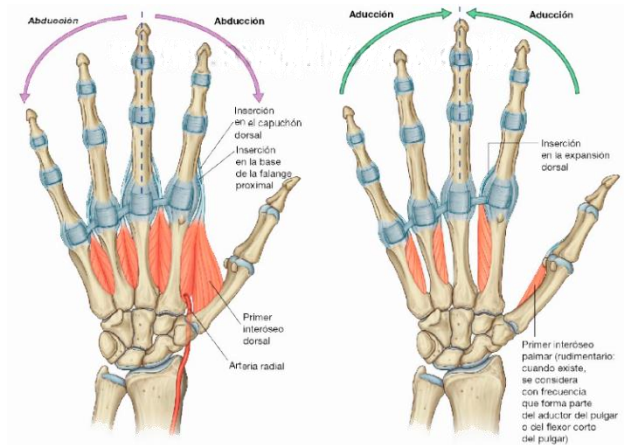
Fuente: Función de los capuchones extensores y de los músculos intrínsecos. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 829 p

2.3.8 Músculos. Los músculos intrínsecos de la mano son el palmar corto interóseo, aductor del pulgar, músculos de la eminencia tenar, de la eminencia hipotenar, y los lumbricales. A diferencia de los músculos extrínsecos, que se originan en el antebrazo, se insertan en la mano y desempeñan una función de «agarre potente», los músculos intrínsecos se encuentran por completo en la mano y realizan principalmente movimientos de precisión («agarre preciso») entre los dedos y el pulgar.

En conjunto, los músculos interóseos abducen y aducen los dedos y colaboran en los complejos movimientos de flexión y extensión que se generan en los capuchones extensores⁵⁹.

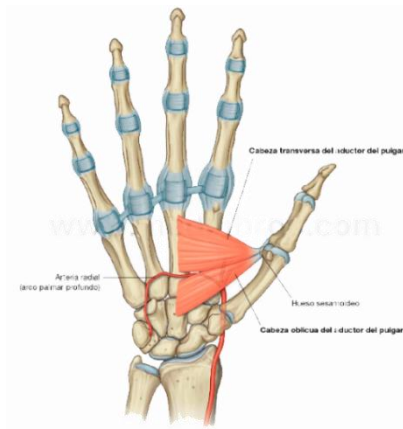
⁵⁹ Músculos. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 830 p.

Figura 19. Interóseos dorsales / palmares



Fuente: Interoseos dorsales / palmares. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. 830 p

Figura 20. Aductor del pulgar



Fuente: Aductor del pulgar. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7.831 p

Figura 21. Músculos intrínsecos de la mano

Músculo	Origen	Inserción	Inervación	Función
Palmar corto	Aponeurosis palmar y retináculo flexor.	Dermis de la piel del borde medial de la mano.	Ramo superficial del nervio cubital (C8, T1)	Mejora el agarre.
Interóseos dorsales (cuatro músculos).	Caras adyacentes de los metacarpianos.	Capuchón extensor y base de las falanges proximales de los dedos índice, medio y anular.	Ramo profundo del nervio cubital (C8, T1).	Abducción de los dedos índice, medio y anular en las articulaciones metacarpofalángicas.
Interóseos palmares (cuatro músculos)	Lados de los metacarpianos.	Capuchones extensores de los dedos pulgar, índice, anular y meñique, y falange proximal del pulgar.	Ramo profundo del nervio cubital (C8, T1)	Aducción de los dedos pulgar, índice, anular y meñique en las articulaciones metacarpofalángicas.
Aductor del pulgar	Cabeza transversal: III metacarpiano; cabeza oblicua: cabeza y bases del II y III metacarpianos.	Base de la falange proximal del pulgar.	Ramo profundo del nervio cubital (C8, T1)	Aduce el pulgar.
Lumbricales (cuatro músculos)	Tendones del flexor profundo de los dedos.	Capuchones extensores de los dedos índice, anular, medio y meñique.	Los dos mediales por el ramo profundo del nervio cubital; los dos laterales por los ramos digitales el nervio mediano.	Flexionan las articulaciones metacarpofalángicas a la vez que extienden las interfalángicas.
MÚSCULOS DE LA EMINENCIA TENAR				
Oponente del pulgar	Tubérculo del trapecio y retináculo flexor.	Borde lateral y superficie palmar adyacente del I metacarpiano.	Ramo recurrente del nervio mediano. (C8, T1)	Rotación.
Abductor corto del pulgar	Tubérculos del escafoides y del trapecio, y retináculo flexor adyacente.	Falange proximal y capuchón extensor del pulgar.	Ramo recurrente del nervio mediano (C8, T1)	Abduce el pulgar en la articulación metacarpofalángica.
Flexor corto del pulgar	Tubérculos del trapecio y retináculo flexor.	Falange proximal del pulgar.	Ramo recurrente del nervio mediano (C8, T1)	Flexiona el pulgar en la articulación metacarpofalángica.
MÚSCULOS DE LA EMINENCIA HIPOTENAR				
Oponente del meñique	Gancho del gancho y retináculo flexor.	Cara medial del V metacarpiano.	Ramo recurrente del nervio mediano (C8, T1)	Rotación lateralmente el V metacarpiano.
Abductor del meñique	Pisiforme, ligamento pisigancho y tendón del flexor cubital del carpo.	Falange proximal del meñique.	Ramo profundo del nervio cubital (C8, T1)	Abduce el meñique en la articulación metacarpofalángica.
Flexor corto del meñique	Gancho del gancho y retináculo flexor.	Falange proximal del meñique.	Ramo profundo del nervio cubital (C8, T1)	Flexiona el meñique en la articulación metacarpofalángica.

Fuente: Musculos intrinsecos de la mano. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7.834 p

2.3.9 Arterias y venas. La irrigación de la mano depende de las arterias radial y cubital, que forman en la palma dos arcos vasculares interconectados (superficial y profundo). Los vasos para los dedos, los músculos y las articulaciones se originan en los dos arcos y en las arterias originarias:

- La arteria radial colabora sustancialmente a la irrigación del pulgar y de la zona lateral del dedo índice.

■ El resto de los dedos y la zona medial del índice están irrigados principalmente por la arteria cubital⁶⁰.

Venas. Como suele ocurrir en la extremidad superior, la mano contiene plexos interconectados de venas superficiales y profundas. Las venas profundas siguen el recorrido de las arterias: las superficiales drenan en un plexo venoso dorsal en el dorso de la mano, situado sobre los huesos metacarpianos. La vena cefálica se origina en la zona lateral del plexo venoso dorsal y pasa sobre la tabaquera anatómica, en dirección al antebrazo. La vena basilíca tiene su origen en la zona medial del plexo venoso dorsal⁶¹.

Nervios. La mano está inervada por los nervios cubital, mediano y radial. Todos ellos son responsables de la inervación sensitiva cutánea o general. El nervio cubital inerva todos los músculos intrínsecos de la mano, excepto los tres músculos de la eminencia tenar y los dos lumbricales laterales, que son inervados por el nervio mediano. El nervio radial sólo inerva la piel de la zona dorsolateral de la mano⁶².

2.4 ERGONOMÍA

2.4.1 Antropometría y ergonomía. Para el desarrollo y buen funcionamiento del dispositivo se obtienen datos antropométricos, los cuales sirven para el diseño del sistema en cuanto a la interrelación usuario-maquina teniendo en cuenta las limitaciones y capacidades físicas del ser humano como usuario, también

⁶⁰ Arterias y venas. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 836 p.

⁶¹ Venas. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 840 p.

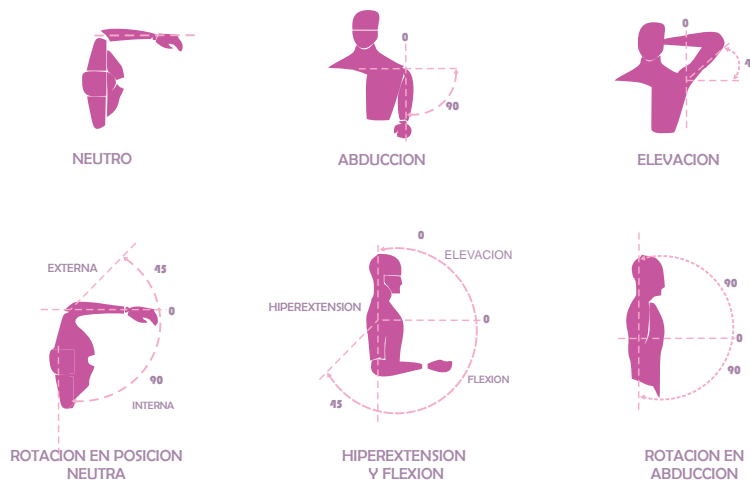
⁶² Nervios. Disponible: DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 3 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2015. Capítulo 7. 840 p.

características como el tamaño del dispositivo, accesorios y ubicación las cuales permiten adaptar los elementos de acuerdo a los requerimientos y necesidades encontradas⁶³.

Movimiento Articulario. Los movimientos entre articulaciones son dependientes de la estructura y la configuración de cada articulación.

Hombro. La función principal del hombro es el apoyo y la fijación del brazo. Presenta movimientos básicos. La articulación de rotula permite 3 grados de libertad.

Figura 22. Movimiento articulario del brazo. Abducción y elevación

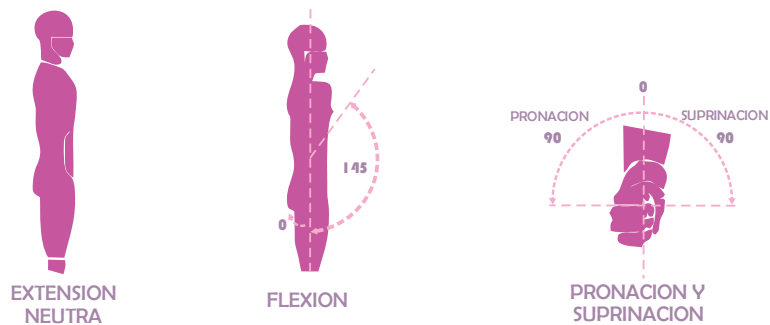


Fuente: PANERO, Julius. ZELNIK, Martin. Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Estándares antropométricos. México, D.F. Editorial Gustavo Gili. 1984. p 116.

⁶³ AAMI, Association for the advancement of medical instrumentation. Human factors engineering guidelines and preferred practices for the design of medical devices . Universidad de California. 29 de Junio de 2011.

Codo-antebrazo. El antebrazo es una extensión del brazo y es el soporte de la mano. Son 4 los movimientos del antebrazo: extensión, flexión, supinación y pronación⁶⁴.

Figura 23. Movimiento articulario codo-antebrazo



Fuente: PANERO, Julius. ZELNIK, Martin. Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Estándares antropométricos. México, D.F. Editorial Gustavo Gili. 1984. p 116.

Mano y muñeca. La articulación relacionada con el movimiento de la mano es la llamada radio-carpiana. La mano es una superficie contra la cual los dedos ejercen presión y a su vez se crea una fuerza para el agarre de objetos. Es por esto que puede considerarse como un “dispositivo de manipulación”. Son 5 los movimientos básicos de la mano: flexión palmar, flexión dorsal, desviación radial, desviación cubital o ulnar y circunducción⁶⁵.

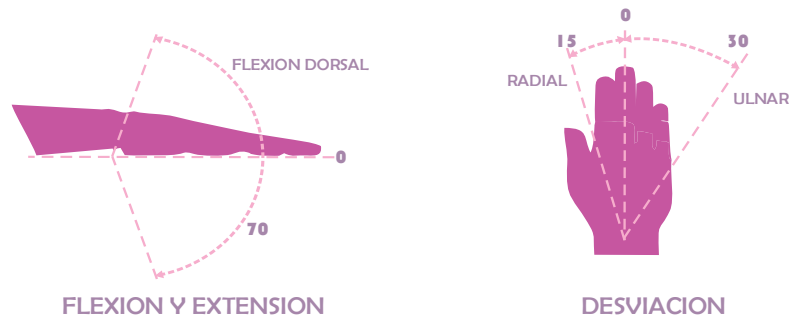
⁶⁴ AAMI, Association for the advancement of medical instrumentation. Human factors engineering guidelines and preferred practices for the design of medical devices. Universidad de California. 29 de Junio de 2011.

⁶⁸ CACHA, Charles A. Ergonomics and Safety in Hand Tool Design. Chapter 6, Anthropometry of the hand. CRC Press INC , 1999.

⁶⁹ AAMI, Association for the advancement of medical instrumentation. Op. Cit.

⁶⁹ LEAL SERRA, V.M. GONZÁLEZ CASANOVA J.C. Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor. Capítulo 11. Biomecánica de la mano. Editado por Antonio Viladot Voegeli. Editorial Springer

Figura 24. Movimiento articular de la mano

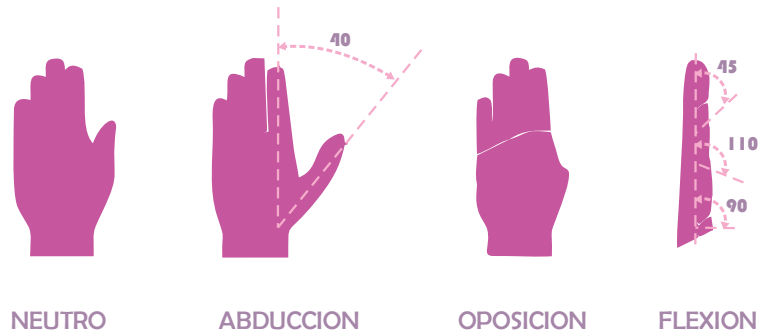


Fuente: PANERO, Julius. ZELNIK, Martin. Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Estándares antropométricos. México, D.F. Editorial Gustavo Gili. 1984. p 116.

Dedos. Las articulaciones en la base de los dedos permiten 2 grados de libertad y las uniones entre los segmentos individuales de los dedos son articulaciones de bisagra con 1 grado de libertad. El movimiento del dedo pulgar es de vital importancia ya que gracias a su fuerza, movilidad y capacidad de oponerse a cada uno de los demás dedos por igual y a la palma de la mano facilita el agarre de objetos⁶⁶.

⁶⁶ AAMI, Association for the advancement of medical instrumentation. Human factors engineering guidelines and preferred practices for the design of medical devices. Universidad de California. 29 de Junio de 2011.

Figura 25. Movimiento articulario de los dedos



PANERO, Julius. ZELNIK, Martin. Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Estándares antropométricos. México, D.F. Editorial Gustavo Gili. 1984. p 116.

La prensión de la mano. La prensión es una función motora de gran importancia; La posición de los dedos para agarrar los objetos y adaptarse a su forma tiene diversas modalidades, estas pueden ser de fuerza o de precisión, en las primeras los dedos mantienen objetos contra la palma de la mano y en las de precisión que se realizan con los dedos pueden darse con la participación o no de la palma de la mano.

Figura 26. Modalidades de prensión de la mano

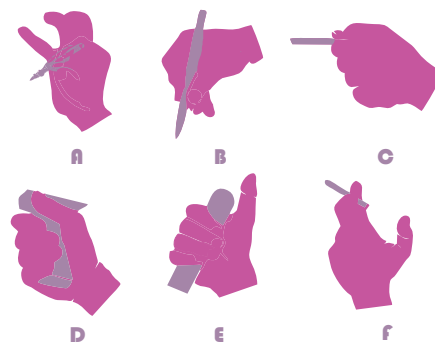
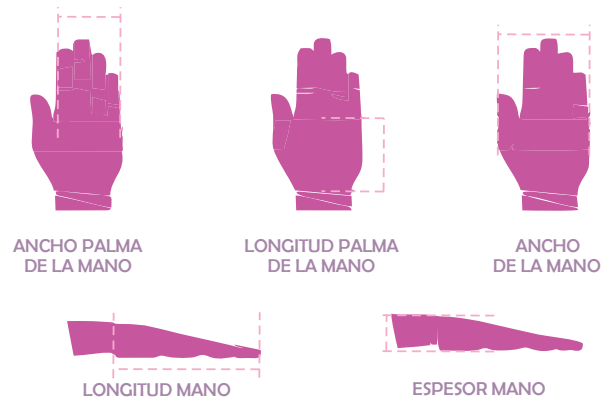


Imagen modificada por el autor. Fuente: LEAL SERRA, V.M. GONZÁLEZ CASANOVA J.C. Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor. Capítulo 11. Biomecánica de la mano. Editado por Antonio Viladot Voegeli. Editorial Springer

2.4.2 Medidas antropométricas. Un fundamento importante al considerar las medidas antropométricas para un diseño es el de incluir al mayor número de usuarios posible para lo cual se elige el criterio de diseño antropométrico para extremos y se consideran valores extremos de percentiles⁶⁷.

Figura 27. Dimensiones de la mano



Fuente: ESPINEL C. Francisco M, MARADEI G. M Fernanda, PEÑA L. Astrid A. Grupo de ergonomía producto y significado. Datos Antropométricos para el Diseño, Región Nororiental Colombiana 2008. Universidad Industrial de Santander Ediciones. 2009.

Postura. La postura, entendida como la disposición espacial de los segmentos corporales, es el resultado del trabajo ejecutado de manera constante por los músculos, los cuales realizan un esfuerzo sostenido para que el cuerpo no pierda su alineación⁶⁸.

⁶⁷ ESPINEL C. Francisco M, MARADEI G. M Fernanda, PEÑA L. Astrid A. Grupo de ergonomía producto y significado. Datos Antropométricos para el Diseño, Región Nororiental Colombiana 2008. Universidad Industrial de Santander Ediciones. 2009.

⁶⁸ FARRER, F. MINYA, G. NIÑO, J. RUIZ, M. Manual de ergonomía. 2 ed. Madrid: Editorial Mapfre, 1997. 620p.

Figura 28. Postura según plano de trabajo



Fuente: FARRER, F. MINYA, G. NIÑO, J. RUIZ, M. Manual de ergonomía. 2 ed. Madrid: Editorial Mapfre, 1997. 620p.

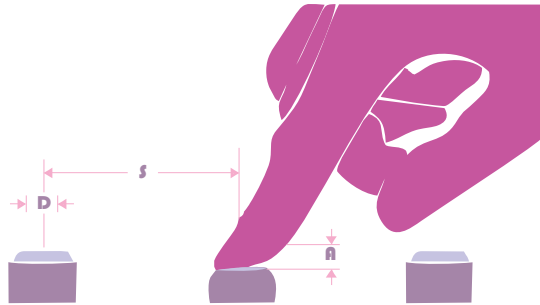
2.4.3 Ubicación y posición de los mandos. La disposición de los mandos debe definirse de manera que el espacio sea el suficiente para prevenir errores por la cercanía de los mismos o para evitar movimientos innecesarios.

- Recomendaciones para controles de mando:

	DESPLAZAMIENTO			SEPARACIÓN
	NUMÉRICA	ALFANUMÉRICA	DOBLE FUNCIÓN	S ENTRE TECLAS
MÍNIMO	0.8 mm	1.3 mm	0.8	6.4mm
MÁXIMO	4.8 mm	6.3 mm	4.8	
SUGERIDA				6.4mm

	DIMENSIÓN	RESISTENCIA		
	D DIÁMETRO	NUMÉRICA	ALFANUMÉRICA	DOBLE FUNCIÓN
MÍNIMO	10 mm	1n	250mn	250
MÁXIMO	19 mm	4n	1.5n	1.5n
SUGERIDA	13 mm			

Figura 29. Ubicación y posición de pulsadores



Fuente: AAMI, Association for the advancement of medical instrumentation. Human factors engineering guidelines and preferred practices for the design of medical devices. Universidad de California. 29 de junio de 2011. Disponible en: <http://www.aami.org/>

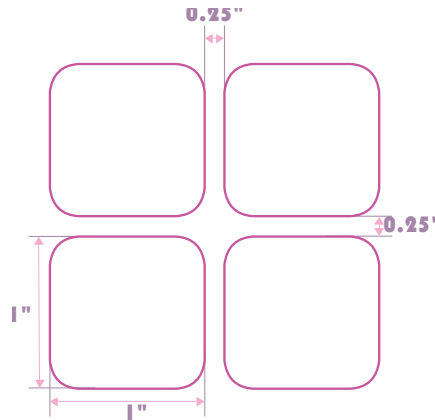
Recomendaciones para pantallas táctiles:

El tamaño y la separación de botones en una pantalla táctil es similar a la establecida en controles de mando con pulsadores:

El alto y el ancho de los objetos de pantalla debe ser de al menos 13 mm (0,5 pulgadas).

El espacio en las zonas adyacentes, debe tener al menos 6 mm (0,25 pulgadas). En general cualquier área destinada para la aplicación de botones en pantalla debe tener un espaciado de centros ideal no menos de 20 mm (0,8 pulgadas). Además debe ser evaluada según la criticidad de la tarea.

Figura 30. Dimensiones ideales para áreas de activación en pantallas táctiles



Fuente: AAMI, Association for the advancement of medical instrumentation. Human factors engineering guidelines and preferred practices for the design of medical devices. Universidad de California. 29 de junio de 2011. Disponible en: <http://www.aami.org/>

2.5 LA REHABILITACIÓN.

La rehabilitación es un proceso global y continuo con objetivos definidos, cuya finalidad es que el paciente recupere una función o actividad que ha perdido a causa de una enfermedad o traumatismo logrando independencia. Donde se incluye diversas terapias para ayudar a restaurar la función. Es importante recalcar que el tipo de tratamiento y resultados pueden variar en distintas personas⁶⁹.

La rehabilitación se divide en:

- Fisioterapeuta se encarga de ayudar a recuperar la movilidad y condición física
- Terapia Ocupacional se encarga de ayudar a realizar sus actividades cotidianas
- Tratamiento del dolor

⁶⁹ Definición de rehabilitación. Disponible en: <http://definicion.de/rehabilitacion/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

2.5.1 La terapia física. La terapia física ayuda al paciente a mejorar o mantener sus capacidades funcionales, incluyendo el desarrollo de la fuerza, flexibilidad y resistencia, así como el aprendizaje de la biomecánica apropiada (posturas). Existen terapias pasivas los cuales incluyen la manipulación ortopédica, estimulación eléctrica, la liberación miofacial, ultrasonido y aplicación de calor/hielo y las terapias activas incluyen ejercicios terapéuticos (equipo especial), terapia acuática o hidroterapia.

Esta forma de tratamiento es útil para los pacientes con enfermedades ortopédicas, neurológicas, degenerativas, en el pre y postoperatorio de enfermedades, para los que sufren parálisis cerebral, lesiones de nervios periféricos o de la medula espinal, enfermedades cerebrales, amputaciones, accidentes, lesiones deportivas, o para personas que sufran de algún malestar del sistema musculo esquelético, como podría ser un desgarre, esguince o contractura^{70, 71}.

Objetivos de la terapia. Los objetivos de la fisioterapia dependen de la enfermedad a tratar, si bien muchos factores influyen en la decisión del tipo de fisioterapia que se usará.

En general todos los objetivos se establecen en función de aumentar o restablecer la capacidad del cuerpo del paciente o de cualquiera de sus partes para realizar actividades funcionales normales, y a eliminar el dolor o malestar que cause la lesión⁷².

⁷⁰ Definición Miofacial. Disponible en: <http://terapiafisicaaplicada.blogspot.com.co/2010/04/sindrome-de-dolor-miofascial.html>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

⁷¹ Terapias físicas. Disponible en: http://terapiafisicaymasajes.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=22. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

⁷² Objetivos de la Terapia. Disponible en: http://terapiafisicaymasajes.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=22 [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Los objetivos de la fisioterapia del miembro superior incluyen:








- Disminuir el dolor.
- Disminuir la inflamación.
- Disminuir el espasmo y espasticidad muscular.
- Aumentar y mantener la fuerza
- Aumentar la movilidad de las articulaciones
- Aumentar la coordinación
- Favorecer la curación de lesiones de tejidos blandos
- Evitar la formación de contracturas y deformidades
- Disminuir las alteraciones de la marcha
- Corregir las desviaciones posturales
- Aumentar la independencia del paciente para realizar sus actividades de la vida diaria
- Reeducar la marcha y postura de acuerdo a cada lesión
- Enseñar a los pacientes y familiares como realizar en forma correcta los procedimientos de fisioterapia en el hogar del paciente.








Terapias utilizadas en rehabilitación de mano. En las terapias realizan actividades de coordinación entre la mano y la vista para sintonizar y sincronizar los movimientos de la mano durante las actividades funcionales. Existen tareas simples que utilizan los terapeutas ocupacionales que pueden ser fácilmente duplicadas y repetitivas⁷³.



⁷³ Ejercicios de terapia ocupacional de coordinación entre la mano y la vista. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/ejercicios-terapia-ocupacional-coordinacion-mano-vista-lista_123476/
[Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

2.5.2 Terapia con espuma

Tabla 1. Terapia con espuma

EJERCICIOS	DESCRIPCION	IMAGEN
Ejercicio 1	Tomar una bola suave y blanda en la mano.	
Ejercicio 2	Intentar hacer un cilindro con la mano.	
Ejercicio 3	Hacer movimientos circulares, dejando la bola lo más redonda posible.	
Ejercicio 4	Con la mano abierta hacer un rollo sobre una mesa.	
Ejercicio 5	Introducir y empujar los dedos al rollo haciendo hoyuelos.	
Ejercicio 6	Halar suavemente la espuma hacia el interior de la mano, como si se recogiera.	
Ejercicio 7	Aplanar o aplastar la espuma sobre la mesa hasta donde sea posible.	

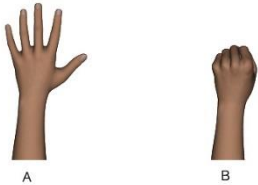


EJERCICIOS	DESCRIPCION	IMAGEN
Ejercicio 8	Con los dedos sobre la espuma, halar hacia el interior de la mano. Mover los dedos suavemente hacia el interior de la mano como recogiendo la espuma.	
Ejercicio 9	Con la mano abierta aplanar la espuma.	
Ejercicio 10	Con la mano abierta empuja el círculo de espuma para hacerlo más grande	
Ejercicio 11	Halar la espuma hacia el interior de la mano.	
Ejercicio 12	Con las dos manos sujeta la espuma con los dedos, halar hacia los extremos como estirándola	
Ejercicio 13	Sostener la espuma con una mano y con la otra hala como si se pellizcarla.	
Ejercicio 14	Tomar pequeños pedazos de espuma y con los dedos hacer bolas. Luego tratar de aplanarlas utilizando los dedos.	
Ejercicio 15	Poner la bolita entre todos los dedos de la mano y aplanarla.	


EJERCICIOS	DESCRIPCION	IMAGEN
Ejercicio 16	Enrollar la espuma en forma de serpiente entre los dedos separándolos y abriéndolos.	
Ejercicio 17	Hacer una bola con la mano (esperar) y después aplanarla. No utilizar la otra mano o una superficie para hacerlo.	

Fuente: Terapia con espuma. Disponible en: <http://www.clinicamedellin.com/informacion-pacientes/instructivos/medicina-fisica-y-rehabilitacion/terapia-de-mano#.Vi65yLcveUk> [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

2.5.3 Ejercicios de mano

Tabla 2. Ejercicios de mano

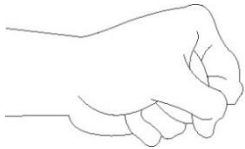
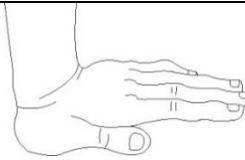
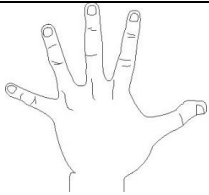

FIGURAS	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Movilidad de los dedos	Con la mano abierta, separar los dedos en forma de abanico todo lo posible (A), mantener la posición 5-10 segundos y descansar. Luego cerrar todo lo posible la mano, sin incluir el dedo pulgar dentro del puño (B), mantener 5-10 segundos y volver a la posición inicial de reposo.	
Movilidad de los dedos	Con la punta del dedo pulgar, intentar tocar la yema de cada uno de los otros dedos.	
Oposición del pulgar	Llevar el pulpejo del dedo pulgar a la base de cada uno de los dedos, comenzando por el índice y terminando por el meñique.	

FIGURAS	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Potenciación de la mano	Para conseguir fuerza nuevamente en la mano, debemos cerrar lentamente la misma todo lo que sea posible hasta lograr "hacer puño". Se puede utilizar una pelota blanda de goma o un globo lleno de harina o arroz, para apretarlo de vez en cuando.	

Fuente: Ejercicios de mano y muñeca. Disponible en: <https://traumatologiahellin.wordpress.com/ejercicios/ejercicios-de-mano-y-muneca/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

2.5.4 Movimiento de dedos y mano

Tabla 3. Movimiento de dedos y mano

FIGURAS	DESCRIPCION	IMAGEN
Figura 1	Cerrar lentamente la mano, todo lo que sea posible, hasta lograr hacer puño. Para ayudar a lograrlo, es aconsejable sujetar y apretar con la palma de la mano una pelota blanda de goma o una esponja. Se debe realizar de 15 a 20 veces por sesión	
Figura 2	Abrir la mano y extender los dedos al máximo, apretando la palma de la mano contra el plano de la mesa.	
Figura 3	Con la mano abierta, separar los dedos en forma de abanico, lo máximo posible.	
Figura 4	Con el pulpejo de cada dedo, contactar por separado con el pulpejo del dedo pulgar.	

Fuente: Ejercicio para las manos y dedos 2014. Washington, DC: Arthritis Foundation. Disponible en: <http://espanol.arthritis.org/espanol/ejercicio/ejercicios-acuaticos/ejercicios-acuaticos-ejemplos/ejemplos-ejercicios-acuaticos-jacuzzi/ejercicios-jacuzzi-manos>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Terapia lanzamiento de pelota. Lanzar y atrapar una pelota trabaja con los reflejos y la coordinación al exigir una respuesta rápida de las manos para reaccionar a la pelota que se mueve en el aire. Un terapeuta puede modificar esta tarea simple al aumentar la dificultad mediante el uso de una pelota más pequeña, pidiéndole al cliente que lance y atrape una pelota al mismo tiempo o de forma aleatoria alterna lanzándola y rebotándola⁷⁴.

Terapia clasificación de cartas. Una baraja de cartas se puede utilizar de múltiples formas para afinar la coordinación. Las actividades pueden ir desde jugar cualquier juego simple de cartas para los que tienen mayor discapacidad hasta la clasificación de las cartas rápidamente por el color. Puesto que estas son finas, son difíciles de manipular. Estas tareas requieren de exploración visual⁷⁵.

Terapia embocar en el hoyo. Las actividades con un tablero perforado incluyen una gran variedad de tareas que requieren que el cliente coloque los objetos en un agujero apropiado. Esta tarea es muy beneficiosa aumentando la coordinación debido a la repetición y al orden de la actividad. Los agujeros más pequeños son los más difíciles de manipular y requieren una coordinación normal entre la mano y la vista⁷⁶.

Terapia ejercicios con los dedos. Sin ningún equipo, los terapeutas pueden tratar la discapacidad de coordinación entre la mano y la vista haciendo que el paciente intente tocar su pulgar con cada dedo en orden uno a la vez. Los pacientes con problemas de coordinación en realidad tendrán dificultad manipulando sus dedos para que la yema del dedo toque la punta del pulgar, y a menudo se tocan el lado del mismo⁷⁷.

⁷⁴ Ejercicios de terapia ocupacional de coordinación entre la mano y la vista. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/ejercicios-terapia-ocupacional-coordinacion-mano-vista-lista_123476/

[Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

⁷⁵ Ibid

⁷⁶ Ibid

⁷⁷ Ibid

Terapia tuercas y tornillos. La maniobra de una tuerca enroscándose en un tornillo requiere una cantidad significativa de coordinación entre la mano y la vista. Los terapeutas ocupacionales a menudo utilizan un tablero prefabricado que tiene los tornillos unidos de modo que el paciente sólo tiene que manipular la tuerca en el mismo. Sin embargo, para ordenar una pila de tuercas y tornillos y unir las piezas juntas de manera apropiada se requiere un alto nivel de coordinación⁷⁸.

Terapia ejercicio con la nariz y la mano. Una herramienta de diagnóstico utilizada por los terapeutas durante su evaluación inicial también puede ser beneficiosa como una actividad de coordinación. El paciente se inicia colocando el dedo índice en la nariz y luego se estira para tocar la mano del terapeuta aproximadamente un pie (30 cm) delante de la cara del paciente, luego este vuelve a llevar el dedo a la nariz. Para elevar la intensidad de este ejercicio, el terapeuta puede animar al paciente a aumentar la velocidad de su movimiento⁷⁹.

2.6 PROTOCOLO DE LA REHABILITACIÓN EN TRAUMA DE MANO⁸⁰.

- A los 21 días valorar el retiro de la inmovilización, e iniciar con hidroterapia (Salud y terapia. Tomado de: <http://saludyfisioterapia.es/>) se inicia con ejercicios de movilidad activa a tolerancia de la mano incluyendo el segmento afectado.
- Aplicar crioterapia en forma intermitente directamente en el sitio lesionado por espacio de 10 minutos repetido tres veces al día.

⁷⁸ Ibid

⁷⁹ Ibid

⁸⁰ Protocolo de Rehabilitacion en Trauma de Mano. Vigil Sanchez. Calos Alexander, Marzo 31 de 2014. Disponible en: http://www.issv.gob.sv/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=14:documentacion-sase&download=253:rehabilitacion-de-mano-traumatica&Itemid=210. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

- Entre el 7 y 10 días iniciar con baños que consisten en sumergir en forma alterna en agua caliente (5 min.) y agua fría (2 min.) hasta completar 20 minutos de inmersión diariamente.
- En casos de alteración de la sensibilidad de acuerdo a la innervación** de la mano, se recomiendan las técnicas de desensibilización: Diferentes texturas (terciopelo, satín, franela, mezclilla, jerga, fibra verde),
- Utilizar un cepillo de cerdas naturales suaves; aplicar de la más suave a la más áspera, cada una 10 veces sobre la región afectada.
- Las sesiones concluyen con la textura que el paciente presente incomodidad y paulatinamente incrementar las más ásperas hasta terminar con el uso del cepillo. Se complementa con la inmersión del segmento sensible en un recipiente con semillas (fríjol, lenteja, mijo, arroz, maíz), además de golpeteo suave en el área afectada.
- Se recomienda valorar las funciones básicas de mano: oponencia, prensión esférica, cilíndrica y de gancho, en caso de limitación o ausencia de dichas funciones iniciar reentrenamiento de funciones básicas de mano
- En caso de lesiones tendinosas, previa aplicación de frío local se deberá realizar movilización pasiva protegida evitando incrementar el dolor en el segmento lesionado, efectuando 10 repeticiones tres veces al día

2.7 HERRAMIENTAS PARA CUANTIFICAR LA EVOLUCIÓN DE LA TERAPIA (COORDINACIÓN VISO-MOTORA Y FUERZA)




En la terapia de rehabilitación se utiliza el método de observación por evaluación, en el cual el proceso se lleva a través de un formato donde progresivamente el fisioterapeuta diligencia el avance del paciente, midiendo la recuperación de los

** Una contractura muscular es una contracción continuada e involuntaria del músculo o algunas de sus fibras que aparece al realizar un esfuerzo. Se manifiesta como un abultamiento de la zona, que implica dolor y alteración del normal funcionamiento del músculo.)

movimientos y fuerza. Dicho formato está definido por escalas establecidas por la institución o centro de rehabilitación en el cual se trabaja.

De igual manera, en algunos centros de rehabilitación utilizan el pinzómetro como herramienta de medición para la fuerza de los dedos. Esta medición se realiza al inicio, mitad y final de la terapia.

Tabla 4. Herramientas para cuantificar la evolución de la terapia

DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p>Mesa de Manos</p>	 <p>Fuente: Mesa de Manos. Disponible en: http://fisiocomsum.com/productos/rehabilitacion/mesa-de-manos.php</p>
<p>Tonning Ball</p> <p>Fuente: Tonning Ball. Disponible en: http://www.esfericos.com.ar/esferodinamica_productos.php</p>	
<p>Hand xtrainer ejercitador de dedos</p> <p>Fuente: Hand xtrainer ejercitador de dedos. Disponible en: http://www.tecnokines.com</p>	



DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p style="text-align: center;">Bandas de Látex</p> <p>Fuente: Bandas de Latex. Disponible en: http://www.esfericos.com.ar/esferodinamica_productos.php</p>	
<p>Ejercitador de mano - Handmaster Plus</p> <p>Fuente: Ejercitador de mano - Handmaster Plus. Disponible en: http://www.cuidado.es/ejercitador-mano-handmaster-plus.html</p>	
<p style="text-align: center;">TheraBolly</p> <p>Fuente: TheraBolly. Disponible en: http://www.esfericos.com.ar/esferodinamica_productos.php</p>	
<p>Ejercitador Dinamico De Dedos Aquarela</p> <p>Fuente: Ejercitador Dinamico De Dedos Aquarela. Disponible en: http://tutiendaortopedia.com/Terapia-Rehabilitacion/750-ejercitador-dinamico-de-dedos-aquarela.html</p>	




2.8 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

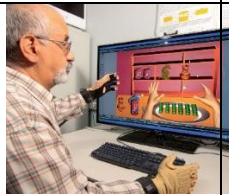



Se realizó búsqueda en Google mediante las siguientes palabras: rehabilitación, coordinación viso-motora, motricidad, terapias. Donde se obtuvieron los siguientes resultados: Pinzómetro, Pinzómetro Digital, Pinzómetro Hdraulico, Pinzómetro Hdraulico Digital, Cyberglove Systems, Finger Force Manipulandum, Finger TPS — Pressure Profile Systems, Force feedback data gloves based on pneumatic artificial muscle. También se realizó búsqueda en Google patents, donde se obtuvieron los siguientes resultados: apparatus for measuring thumb and fingerforce, finger force : methodology, determination of finger position, integrated virtual reality rehabilitation system, force feedback data gloves based on pneumatic artificial muscle, force measuring device and method, a continuación se muestra un cuadro donde se describen los datos encontrados:




Tabla 5. Revisión del estado del arte

Nombre	Descripción	Patente o Autor	Utilidad	Ventajas	Desventajas
Uso de herramientas para la cuantificación de fuerza	Estudios ergonómicos de la fuerza de agarre de la mano y empuje de los dedos, utilizando herramientas con valores constantes de fuerza mínimos para su utilización, Clip	Molenaar, 2011 [20]	Medición de fuerza relativa, mayor o menor de 0.2 o 0.1 kg.	Son elementos de uso cotidiano, son asequibles y accesibles.	La valoración es subjetiva, algunos usuarios se familiarizaron de manera más fácil con la herramienta, lo que les da mejores resultados.

Nombre	Descripción	Patente o Autor	Utilidad	Ventajas	Desventajas
	<p>de cepillo (< kg), y recogedor de objetos (0.2 kg).</p>				
<p>Pinzómetro</p> 	<p>Herramienta utilizada para la medición y cuantificación de la fuerza del pellizco, en las terapias de rehabilitación de mano.</p>	<p>No cuenta con registros relacionados [21]</p>	<p>Mide la fuerza del agarre del pellizco. El indicador permanece en el valor máximo hasta que se reinicia.</p>	<p>Mantiene la medición hasta que se reinicie. Es portable y libre de mantenimiento.</p>	<p>Inexactitud en las mediciones, y monofuncional.</p>

Nombre	Descripción	Patente o Autor	Utilidad	Ventajas	Desventajas
<p>Pinzometro Digital</p> 	<p>Herramienta utilizada para la medición y cuantificación de la fuerza del pellizco, en las terapias de rehabilitación de mano.</p>	<p>No cuenta con registros relacionados [22]</p>	<p>Mide la fuerza agarre de pellizco, de apriete y de soporte. Las mediciones son exactas y repetibles. Permite recolectar y almacenar datos en sesiones de rehabilitación.</p>	<p>Recoge automáticamente los datos, almacena los resultados, calcula estadísticas, y guarda registros para las próximas pruebas.</p>	<p>Permite únicamente la cuantificación del pellizco.</p>
<p>Pinzómetro Hidráulico</p> 	<p>Herramienta utilizada para la medición y cuantificación de la fuerza del pellizco, en las terapias de rehabilitación de mano.</p>	<p>No cuenta con registros relacionados [23]</p>	<p>Sistema hidráulico toma mediciones precisas y ofrece la posibilidad de repetir el test de presión (punta, base y superficie palmar). Registra hasta 22,7 kg.</p>	<p>Mantiene la medición hasta que se coloque la aguja en cero. Puede medir en libras o kilogramos.</p>	<p>Inexactitud en las mediciones, y monofuncional.</p>
<p>Pinzometro hidráulico digital</p> 	<p>Herramienta utilizada para la medición y cuantificación de la fuerza del pellizco, en las terapias de rehabilitación de mano.</p>	<p>No cuenta con registros relacionados [24]</p>	<p>Por medio de un sensor mide la fuerza de presión aplicada con los dedos. Fue diseñado tanto para evaluación como para terapias de rehabilitación</p>	<p>Tiene una pantalla para fácil lectura el cual permite registrar la medida, y guardar la anterior.</p>	<p>Permite únicamente la cuantificación del pellizco.</p>
<p>Cyberglove Systems</p>	<p>El Guante inalámbrico CyberGlove®</p>	<p>Inventor/es : González</p>	<p>Sensores: Permite medir la fuerza y</p>	<p>Mide la fuerza de los dedos y su movimiento</p>	<p>Entra en contacto directo con la mano (el contacto</p>

Nombre	Descripción	Patente o Autor	Utilidad	Ventajas	Desventajas
	<p>transforma el movimiento de la mano y dedos en tiempo real, agrupando datos.</p>	<p>de Santos, Pablo, Paredes Madrid, Leonel. Clasificación PCT: G06F3/01. [25]</p>	<p>movimientos de la mano, llegando a una comparación más precisa.</p>	<p>agrupado datos, dando un valor de cada movimiento. Permite hacer repeticiones.</p>	<p>entre el guante y heridas abiertas), restringe el tamaño de la mano.</p>
<p><i>Finger Force Manipulandum</i></p> 	<p>Permite el estudio de desplazamiento de fuerza de dedo de movimiento, uno tras otro o en conjunto.</p>	<p>Registered number: 504 635 921. [26]</p>	<p>Es una herramienta diagnóstica que permite evaluar la fuerza ejercida por la mano o los dedos.</p>	<p>Mide la fuerza y desplazamiento, generando gráficos inmediatos en una pantalla</p>	<p>Excluye el pulgar, las mediciones se alteran por la fuerza ejercida por la palma de la mano.</p>
<p><i>Finger TPS — Pressure Profile Systems</i></p> 	<p>Cuantifica de manera fiable las fuerzas aplicadas por los dedos.</p>	<p>US2011021 0943 A1 [27]</p>	<p>Es una herramienta diagnóstica que permite evaluar la fuerza ejercida por la mano o los dedos.</p>	<p>Permite la visualización de los movimientos en tiempo real, mide la fuerza de cada dedo por separado.</p>	<p>Entra en contacto directo con la mano (el contacto entre el guante y heridas abiertas), restringe el tamaño de los dedos.</p>
<p>Force feedback data gloves based on pneumatic artificial muscle.</p> 	<p>Exoesqueleto de retroalimentación de información muscular.</p>	<p>CN 2005100104 94 [28]</p>	<p>Mecanismo de medición, que incluye ángulo y la fuerza de los dedos.</p>	<p>Funciona tanto para la medición y recolección de información del paciente, como para su recuperación.</p>	<p>Entra en contacto directo con la mano (el contacto entre el guante y heridas abiertas).</p>

Nombre	Descripción	Patente o Autor	Utilidad	Ventajas	Desventajas
<p>B.A.T.</p> 	<p>Herramienta para la cuantificación de la fuerza de los dedos, para pacientes en rehabilitación con síndrome de túnel del carpio.</p>	<p>US 09/819,183 José Agraz PhD [29] [30]</p>	<p>Por medio de sensores resistivos, permite la medición de la fuerza de cada de dedo. Permite recolectar y almacenar datos en sesiones de rehabilitación.</p>	<p>Cuantificación individual y precisa de la fuerza de los dedos, Recoge automáticamente e los datos, almacena los resultados, calcula estadísticas, y guarda registros para las próximas pruebas.</p>	<p>Se necesita un dispositivo para cada mano. Requiere un dispositivo externo para la visualización y almacenamiento de los datos, no es portable. Es limitante el tamaño de la mano. Debido a la disposición de los pulsadores.</p>
<p>Simón dice</p> 	<p>Juego de memoria y coordinación viso-motora.</p>	<p>Milton Bradley [31]</p>	<p>El dispositivo incluye cuatro botones de colores, cada uno de los cuales produce un tono cuando se le presiona, además de varios modos de juego.</p>	<p>Portabilidad, multiniveles de juego.</p>	<p>Falta de visualización de resultados.</p>
<p>Loopz</p> 	<p>Juego de memoria y coordinación viso-motora.</p>	<p>Mattel [32]</p>	<p>El dispositivo incluye cuatro zonas en forma de U iluminados. El dispositivo produce un tono cuando un haz de luz en una zona</p>	<p>Portabilidad, multiniveles de juego.</p>	<p>Falta de visualización de resultados.</p>

Nombre	Descripción	Patente o Autor	Utilidad	Ventajas	Desventajas
			en forma de U en particular está roto, tal como cuando la mano de un jugador pasa entre las púas de la "U".		

2.9 HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA REALIZAR SESIONES DE TERAPIAS

En las figuras se observa algunas herramientas utilizadas para la realización de sesiones de terapia para la recuperación de fuerza, movilidad o agarre.

Figura 31. Mesa para realizar ejercicios de fuerza y agarre

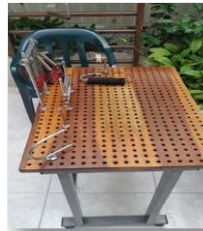


Figura 32. Elementos para realizar ejercicios de motricidad fina



Figura 33. Elementos para realizar ejercicios de motricidad fina



Figura 34. Elementos para realizar ejercicios de miembro inferior.



Figura 35. Elemento para realizar ejercicios de fuerza y agarre

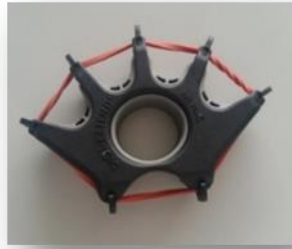


Figura 36. Elementos para realizar Ejercicios de agarre



Figura 37. Elementos para realizar ejercicios de agarre, fuerza y motricidad fina



3. METODOLOGÍA

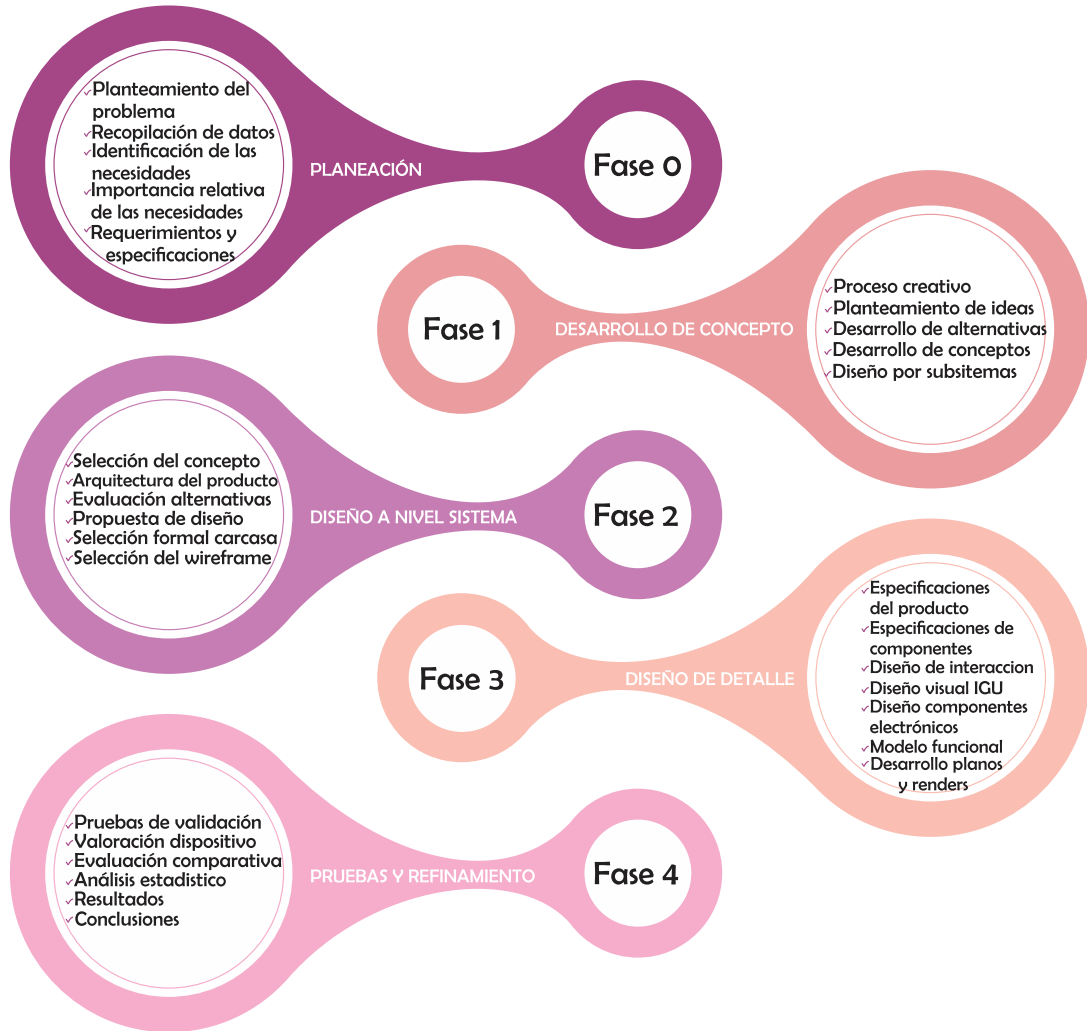
A partir de los requerimientos y las necesidades se escogió el modelo conceptual “Diseño y desarrollo de productos”. (c.2009) donde se establecen 5 fases, las cuales permiten analizar y comprender la situación de manera integral para resolver el problema.⁸¹

El proceso de diseño se realizó en colaboración de entidades como: Fomesalud, Centro de Rehabilitación Yolanda Pastrana, Centro de Rehabilitación Santa Isabel

⁸¹ Ulrich, K. y Espinger, S. 2009. Diseño y desarrollo de productos. 4 ed. México. Editorial: McGraw-hill

Figura 38. Esquema metodológico

ESQUEMA METODOLÓGICO



Fase 0 (Planeación)

Se identificó y planteo el problema y la idea a desarrollar, donde se realizó una revisión de soluciones existentes, necesidades del cliente, características del usuario y el alcance del proyecto, tomando como referencia libros y documentación informativa o de investigación, realizando entrevistas a expertos relacionados con el proceso de rehabilitación.

Objetivo: Se definió el problema y el producto a desarrollar, partiendo de las necesidades encontradas, las características de los usuarios y productos existentes en el mercado.

Se analizó los productos existentes en el mercado: Se realizó una búsqueda en internet (patentes, revistas científicas, artículos) donde se determinó soluciones existentes.

Se definió las características del usuario: Se entrevistó a un grupo de fisioterapeutas, donde por medio de una encuesta se determinó las características y necesidades del usuario primario y secundario.

Se definió los requerimientos y restricciones: Se entrevistó un grupo de fisioterapeutas, donde se dio a conocer las expectativas que el usuario tiene con respecto al producto que se está desarrollando.

Se definió las necesidades del cliente: Se recopiló los requerimientos encontrados en las entrevistas realizadas a los fisioterapeutas y se convirtió en necesidades.

Fase 1 (Desarrollo de concepto)

Se identificó el usuario y sus necesidades: A través de métodos de aproximación con los especialistas, se desarrollaron conceptos alternativos, teniendo en cuenta las falencias de los productos existentes, definiendo las características y requerimientos principales.

Se identificó las especificaciones del producto: Se realizó un listado a partir de las necesidades y requerimientos, obteniendo lo que el producto debe y espera tener.

Se generaron conceptos: Se realizó una lluvia de ideas, teniendo en cuenta las especificaciones y requerimientos que se encontraron en el proceso de planeación, adquiriendo así criterios para comenzar el proceso de bocetación a partir de las necesidades encontradas, dando paso a la creación de alternativas que permitieron dar posibles soluciones.

Fase 2 (Diseño a nivel sistema)

Se analizó la arquitectura del producto, basado en las alternativas, necesidades y requerimientos encontrados, proponiendo un modelo que se ajustó a los parámetros obtenidos, creando el esquema del producto, agrupando elementos y generando una geometría aproximada donde se identificaron las relaciones necesarias entre producto y usuario. Teniendo la arquitectura definida, se procedió a hacer el refinamiento del modelo seleccionado teniendo en cuenta los conceptos analizados.

Objetivo: Se estableció la arquitectura adecuada del producto, creando un esquema a partir de la evaluación de alternativas y propuesta de diseño, teniendo en cuenta las implicaciones que afectan el rendimiento y buen desarrollo del sistema. Partiendo de elementos importantes que conformaron el diseño del equipo.

Diseño de Interfaz de Programación: Se evaluó a partir de comprobaciones 3 diferentes interfaces, por medio de una encuesta en la cual se obtuvo resultados.

Diseño de carcasa: Se evaluó a partir de una comprobación 3 diferentes modelos, por medio de una encuesta en la cual se obtuvo resultados.

Se evaluaron las alternativas por medio de las comprobaciones realizadas, teniendo en cuenta los resultados para definir la forma del prototipo final.

Fase 3 (Diseño de detalle)

En el desarrollo de productos del diseño de manufactura (DFM) se integraron todos los procesos ya que mejoró la fabricación de piezas; analizando geometrías, valores y tolerancias, se utilizó en las primeras etapas de diseño para la disminución de costos de fabricación, teniendo en cuenta bosquejos, especificaciones de producto y costos, minimizando procesos en el desarrollo.

Objetivo: Se construyó un modelo funcional teniendo en cuenta las etapas y especificaciones encontradas en el proceso de diseño, aproximándose al prototipo final.

Se realizó comprobaciones técnicas y ergonómicas

Se evaluaron los componentes físicos, visuales, electrónicos a partir de los requerimientos encontrados por medio de una comprobación técnica y ergonómica.

Se definieron los componentes finales por medio de las comprobaciones realizadas.

Se realizaron planos y renders del modelo funcional.

Fase 4 (Pruebas y refinamiento)

Posterior a la generación de alternativas de solución, se desarrollaron pruebas de interacción, con el modelo aproximado, basado en los requerimientos y aspectos específicos establecidos. La prueba se realizó por partes, de acuerdo a los componentes establecidos, teniendo en cuenta la detección de fallos, pruebas de validación, comparación del dispositivo, resultados y conclusiones.

Objetivo: Se informó a los usuarios del procedimiento, dándoles a conocer el producto a partir de una breve explicación, presentando el modelo para posteriormente comenzar las pruebas. Al finalizar cada prueba se diligencio un formato para la calificación de conceptos (interfaz, carcasa). De igual manera se unificaron los componentes y posterior desarrollo de pruebas de validación de la propuesta elegida, teniendo en cuenta conceptos como estética, comodidad, seguridad y confiabilidad.

Finalmente, se realizaron los ajustes necesarios a la propuesta y por consiguiente al prototipo, comprobando la funcionalidad por medio de una evaluación que permita detectar fallos.

- **Construcción del Prototipo**

En el desarrollo de un prototipo se tuvo en cuenta los siguientes propósitos:

Aprendizaje: Demostrar que el dispositivo funcionó en todas sus dimensiones y su interacción con los usuarios.

Comunicación: Generar un canal de comunicación entre directivas, ingenieros electrónicos, diseñadores industriales para la realización del prototipo.

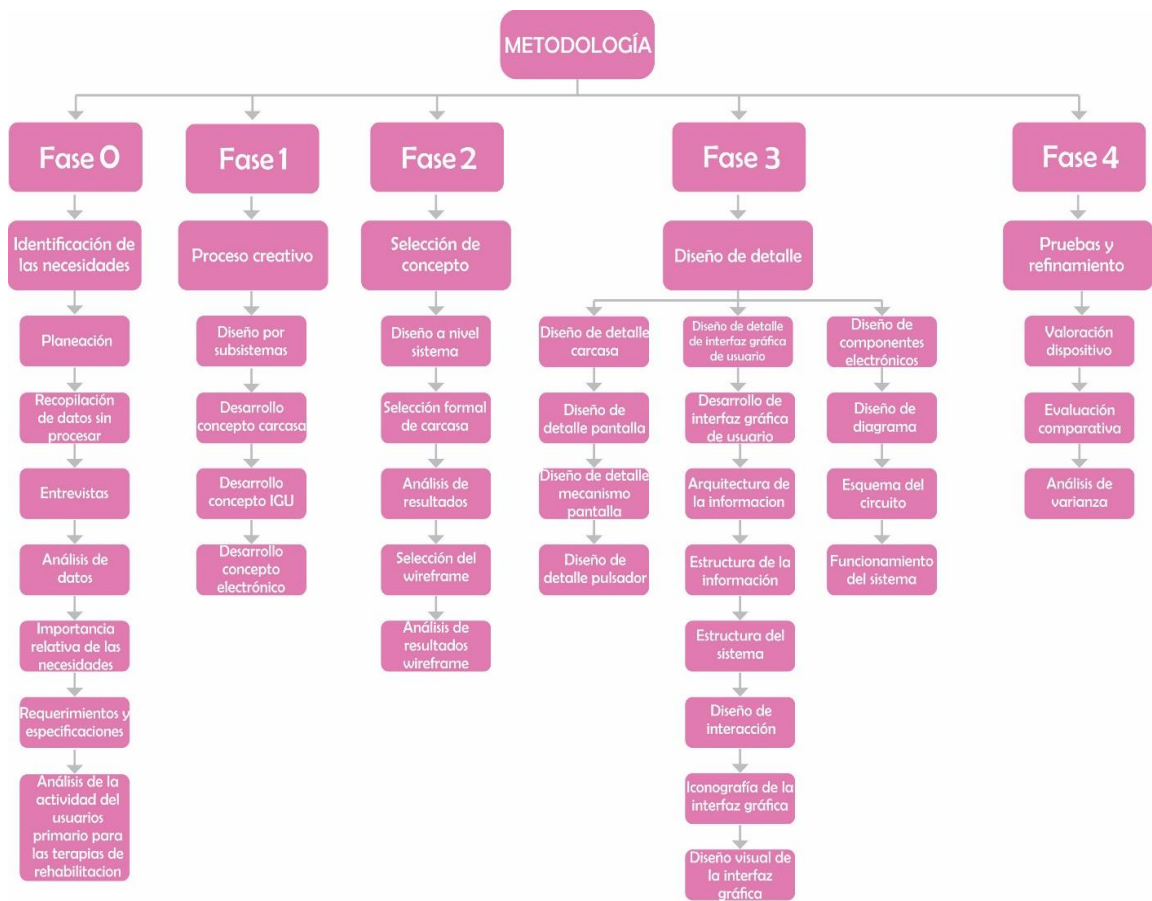
Integración: Se aseguró que los componentes y subsistemas funcionaran como es esperado.

Hitos: Se usó el prototipo para demostrar que el producto alcanzó un nivel de funcionalidad, proporcionando metas tangibles y demostrando progreso.

4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

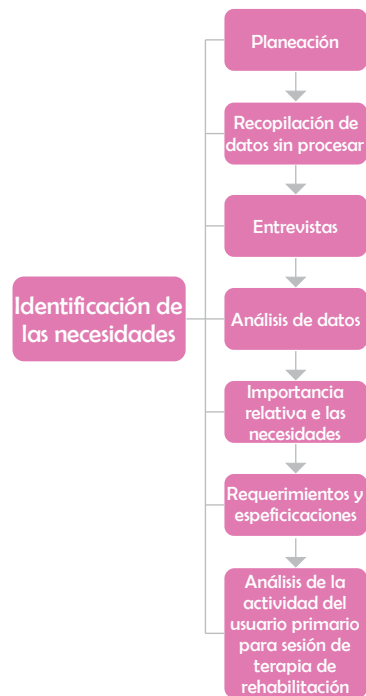
En el siguiente gráfico, se muestran las fases de la metodología implementada para el desarrollo y evaluación del proyecto. Cada fase se dividió en subfases que permitieron el seguimiento y evolución del mismo. El orden de la metodología se basó en el modelo conceptual de Ulrich, donde se tomó como referencia algunos capítulos que permitieron el buen desarrollo del proyecto, teniendo como resultado el desarrollo de un prototipo funcional.

Figura 39. Esquema metodológico



5. ETAPA DE IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES Y ANÁLISIS

Figura 40. Fase 0 (Planeación)



5.1 PLANEACIÓN

Se identificó el problema y la idea a desarrollar, donde se realizó una revisión de soluciones existentes, necesidades y características del usuario, como el alcance del proyecto, realizando entrevistas a profesionales que trabajan constantemente con pacientes en el proceso de rehabilitación. Es así como se creó una primera etapa de necesidades, que permitió dar inicio a la etapa creativa.

5.2 RECOPIACIÓN DE DATOS SIN PROCESAR

Es necesario recolectar Información referente a las opiniones que tienen los usuarios con respecto al producto a desarrollar, para la obtención de necesidades y especificaciones técnicas. Con este propósito se plantearon una serie de encuestas y entrevistas dirigidas a segmentos claves.

5.3 ENTREVISTAS DATOS SIN PROCESAR

Se inició con una entrevista a 7 fisioterapeutas de los distintos centros de rehabilitación, donde se indagó sobre los procedimientos realizados en una terapia de rehabilitación y las herramientas utilizadas; de igual manera, se trató sobre los problemas o necesidades que se encontraban al realizar algún tipo de ejercicio o seguimiento de la terapia.

Para la aplicación de la prueba, se tuvo en cuenta a los usuarios primarios en temas especializados de rehabilitación física y fisioterapia, definidos previamente por las necesidades planteadas. Se realizó una encuesta en la cual respondieron 7 preguntas, para la interpretación y organización de las necesidades según el modelo para la *identificación de las necesidades*. ANEXO A, B. (Capítulo de resultados)

Resultados: Ver capítulo de resultados

5.4 IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS NECESIDADES

Para establecer la importancia relativa de las necesidades, se realizó una encuesta a 7 usuarios primarios (Fisioterapeutas) donde se calificó las necesidades encontradas, haciéndose una valoración numérica de importancia con una escala descendente de 1 a 11 agrupándolas por nivel de importancia y seleccionándolas jerárquicamente de acuerdo a la necesidad más relevante. Ver Anexo C.

Tabla 6. Necesidades e Importancia Relativa

NECESIDAD	NIVEL IMPORTANCIA		IMPORTANCIA RELATIVA
Uso de elemento para medir fuerza del dedo	Muy importante	x	1
	Medianamente importante		
	Poco importante		
	Nada importante		
Tomar datos de la fuerza de cada dedo	Muy importante	x	3
	Medianamente importante		
	Poco importante		
	Nada importante		
Adaptación del dispositivo para medición de ambas manos	Muy importante	x	2
	Medianamente importante		
	Poco importante		
	Nada importante		
La toma de datos sea fácil	Muy importante		6
	Medianamente importante	x	
	Poco importante		
	Nada importante		
Organización de elementos	Muy importante		10
	Medianamente importante		
	Poco importante	x	
	Nada importante		
Fácil limpieza	Muy importante		11
	Medianamente importante		
	Poco importante	x	
	Nada importante		
Fácil mantenimiento	Muy importante		8
	Medianamente importante	x	
	Poco importante		

NECESIDAD	NIVEL IMPORTANCIA		IMPORTANCIA RELATIVA
	Nada importante		
Dispositivo manejable y cómodo.	Muy importante	x	5
	Medianamente importante		
	Poco importante		
	Nada importante		
Fácil transporte	Muy importante		7
	Medianamente importante	x	
	Poco importante		
	Nada importante		
Duración batería	Medianamente importante	x	9
	Poco importante		
	Nada importante		
Respuesta oportuna del funcionamiento del dispositivo	Muy importante	x	4
	Medianamente importante		
	Poco importante		
	Nada importante		

5.5 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES

Se estableció la traducción de las necesidades de los usuarios en requerimientos y parámetros, teniendo en cuenta una evaluación cualitativa donde se clasificó los requerimientos en taxativo (se limitó al cambio), deseable (se quiso tener) y opcional (considera cambios) haciéndose referencia al cumplimiento o implementación del requerimiento en el dispositivo final. Cada requerimiento hace referencia.

- Las especificaciones proporcionaron la idea precisa para el diseño de un sistema eficiente y estimar el costo de alternativas, proporcionaron orientación a las calificaciones de cada requisito mencionado.
- Los requerimientos sirvieron para determinar las condiciones del producto para su configuración y funcionamiento.

Una vez definidas, se analizaron respecto a las siguientes categorías de diseño:

- Requerimientos de uso: la funcionalidad, comportamiento producto – usuario, seguridad, mantenimiento, reparación, manipulación, percepción.
- Requerimientos de función: mecanismos, confiabilidad, versatilidad, resistencia, acabado.
- Requerimientos ergonómicos: medidas antropométricas, forma, dimensiones, posiciones, códigos de color.
- Requerimientos técnico – productivos: producción, normalización, estandarización, herramientas, maquinaria, materia prima, calidad, tolerancias.
- Requerimientos formal – estéticos: forma, apariencia, estabilidad formal, color, textura.
- Requerimientos expresivo – formales: seguridad al usarse, lenguaje de uso, contraste de colores.

5.5.1 Requerimientos de uso

Tabla 7. Requerimientos de uso

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Los periféricos conectados al equipo no deben entorpecer la movilidad del paciente.	TAXATIVO
Debe poder acomodarse sobre una superficie horizontal y estable	TAXATIVO
Debe poder ser transportado fácilmente por el usuario.	DESEABLE
Debe establecerse un espacio para la ubicación y posición de los pulsadores.	TAXATIVO

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Debe evaluar el estado del sistema cada vez que se ejecute una acción. (Sonido)	TAXATIVO
Debe reducir la carga mental del usuario.	TAXATIVO
Debe orientar al usuario manejar el dispositivo de manera intuitiva	TAXATIVO
La interfaz gráfica debe ser interactiva.	TAXATIVO
Debe visualizar la acción que se está realizando y el estado del dispositivo	TAXATIVO
Debe permitir la selección de la terapia de acuerdo a las necesidades del usuario	TAXATIVO
Debe permitir reiniciar los ejercicios mediante la configuración grafica	OPCIONAL

5.5.2 Requerimientos de función

Tabla 8. Requerimientos de función

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
La configuración formal del dispositivo debe ser adecuada para la ubicación de componentes electrónicos	TAXATIVO
La configuración electrónica del dispositivo debe ser acorde a los ejercicios planteados	TAXATIVO
Debe tener ventilación para el buen desempeño del dispositivo y sus componentes	TAXATIVO
Debe soportar la fuerza ejercida por el usuario cuando se realice algún tipo de prueba	TAXATIVO
Debe tener un elemento que midan la fuerza	TAXATIVO
Debe tener una tarjeta con periféricos de entradas y salidas analógicas y digitales	TAXATIVO
Debe tener una pantalla que permita realizar distintas funciones	DESEABLE
Debe poseer una memoria	OPCIONAL
Debe funcionar con baterías de larga duración	OPCIONAL
El uso del dispositivo debe ser igual para miembro superior izquierdo o derecho.	TAXATIVO
Las dimensiones del dispositivo deben ocupar poco espacio	DESEABLE

5.5.3 Requerimientos ergonómicos

Tabla 9. Requerimientos ergonómicos

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Debe utilizar el código de color para dispositivos médicos	TAXATIVO
Los elementos deben ser adecuados para la posición de la mano	TAXATIVO
Su forma debe ser redonda u ovalada, que no contenga aristas o protuberancias.	TAXATIVO
Las dimensiones de los pulsadores deben ser adecuadas	DESEABLE
Debe ser liviano	OPCIONAL
El tamaño de fuente debe estar de acuerdo a parámetros establecidos por normas respecto a la pantalla.	TAXATIVO
Las dimensiones deben estar basadas en medidas antropométricas dadas por las normas establecidas	TAXATIVO

5.5.4 Requerimientos técnico - productivos

Tabla 10. Requerimientos técnico productivos

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Debe ser accesible a sus componentes internos para mantenimiento y/o reparaciones.	DESEABLE
Las piezas deben ser reemplazables en caso de ser necesario	DESEABLE
Debe fabricarse en materiales aislantes de la electricidad.	TAXATIVO
El material debe soportar el esfuerzo producido durante la terapia.	TAXATIVO
La pantalla LCD debe tener un área mínima visible	OPCIONAL
Los componentes que se encuentran en contacto directo con el paciente deben ser de fácil limpieza	TAXATIVO
Los elementos deben encontrarse fácilmente en el mercado.	OPCIONAL
Debe contener un manual de servicio	OPCIONAL

5.5.5 Requerimientos formal - estéticos

Tabla 11. Requerimientos formal – estéticos

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Debe tener formas sencillas, curvas suaves y limpias.	DESEABLE
Mantener la percepción de pocos componentes formales que forman un conjunto.	DESEABLE
En la composición general la armonía estará dada por la aplicación de conceptos de diseño.	DESEABLE
Elementos visuales gráficos de la pantalla deben ser coherentes a la forma externa de la carcasa.	OPCIONAL
Carcasa agradable y coherente con uso de convenciones del color para dispositivos médicos.	TAXATIVO
Interfaz gráfica llamativa, clara, de alto contraste y de gran nitidez.	TAXATIVO
Debe poseer un estilo visual moderno que de sensación de estar bien construido y seguro.	DESEABLE

5.5.6 Requerimientos expresivo - formal

Tabla 12. Requerimientos Expresivo – Formal

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Debe transmitir seguridad y dar al usuario la confianza para su uso.	TAXATIVO
Debe generar interés del usuario, logrando motivación en la realización de la terapia (sencilla e intuitiva)	TAXATIVO
La configuración formal debe ser coherente con el contexto médico	TAXATIVO
La configuración formal debe ser innovadora y agradable al usuario	DESEABLE
Los contrastes de colores utilizados deben ser acordes con la estructura del equipo	DESEABLE
Debe tener un lenguaje de uso claro	TAXATIVO

5.6 REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS

Luego de la clasificación de los requerimientos, se describió cada uno de ellos con especificaciones, teniendo en cuenta medidas y elementos que garantizaran el buen funcionamiento y uso del modelo diseñado.

Tabla 13. Requerimientos Específicos

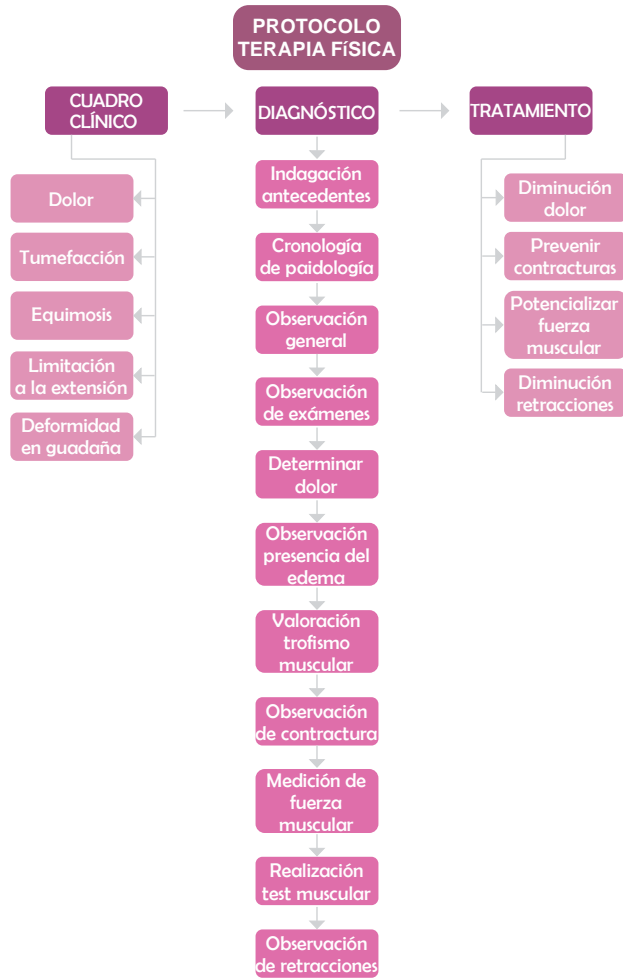
REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN
Debe poder acomodarse sobre una superficie horizontal y estable	La dimensión de la superficie horizontal debe tener medidas aproximadas de 15 x 15 cm^2
Debe poder ser transportado fácilmente por el usuario	El volumen del dispositivo no debe sobrepasar de 2300 cm^3
Debe establecerse un espacio para la ubicación y posición de los pulsadores.	El área de donde se ubica un pulsador debe medir 2 x 2 cm^2 aproximadamente
Debe evaluar el estado del sistema cada vez que se ejecute una acción. (Sonido)	El dispositivo debe tener un elemento de salida de audio de 80dB
Las dimensiones del dispositivo deben ocupar poco espacio	El dispositivo debe tener un área mínima de 28 x 30 x 3 cm^2
Debe visualizar la acción que se está realizando y el estado del dispositivo	Debe tener elementos visuales como leds de chorro
La configuración formal del dispositivo debe ser adecuada para la ubicación de componentes electrónicos	Las dimensiones de la carcasa deben tener un espacio aproximado de 10 x 10 cm^2 para sus componentes electrónicos
Debe soportar la fuerza ejercida por el usuario cuando se realice algún tipo de prueba	Debe soportar una fuerza aproximada de 6 kgf en posición sedente
Debe tener un elemento que midan la fuerza	Debe tener un sistema de adquisición de datos mediante la implementación de un sensor
Debe tener una tarjeta con periféricos de entradas y salidas analógicas y digitales	Debe tener una unidad de procesamiento
Debe poseer una memoria	Debe tener una memoria interna mínima de 512 MB
Debe funcionar con baterías	Debe tener una batería de 9v como requisito mínimo

REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN
Debe utilizar el código de color recomendado para dispositivos médicos	Se utilizó como referencia las normas AAMI y Normatividad de Equipos Médicos
Las dimensiones de los pulsadores deben ser adecuadas	Deben estar en un rango de 10 a 20 mm de diámetro
Debe ser liviano	Su peso debe ser menor o igual a 2 kg
El tamaño de fuente debe estar de acuerdo a parámetros establecidos por normas respecto a la pantalla.	Se utilizó como referencia las normas AAMI y Normatividad de Equipos Médicos
La pantalla LCD debe tener un área mínima visible	La pantalla debe tener una dimensión menor de 5"
Carcasa agradable y coherente con uso de convenciones del color para dispositivos médicos.	Se utilizó como referencia las normas AAMI y Normatividad de Equipos Médicos

5.7 ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL USUARIO PRIMARIO DURANTE LAS TERAPIAS DE REHABILITACIÓN

Durante la realización del trabajo de campo, se identificaron las actividades realizadas por el fisioterapeuta al inicio de tratamiento tanto de ejercicios, masajes o terapias por electro-estimulación. El esquema de la Figura 18, muestra las actividades que corresponden de acuerdo al diagnóstico que requiere el paciente, seleccionándose el protocolo de la lesión a tratar.

Figura 41. Protocolo Terapia Física

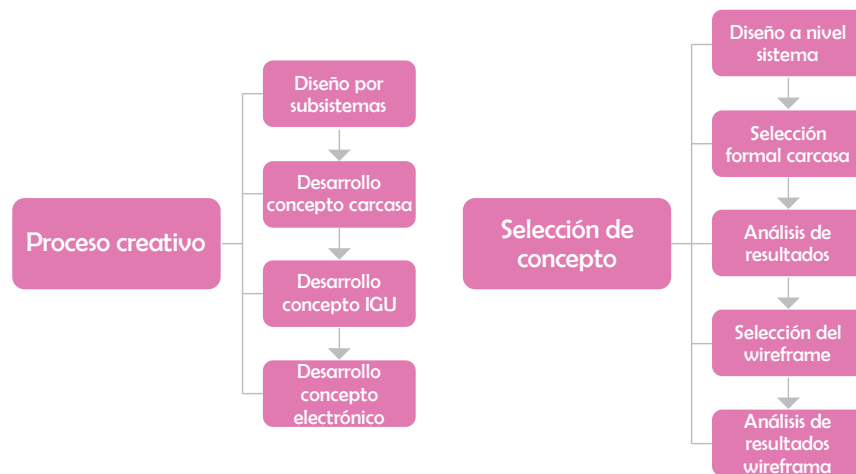


Fuente: Protocolo Terapia Física. Disponible en: <http://www.eselavirginia.gov.co/archivos/guias/protocolosterapiafisica.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

6. PROCESO CREATIVO

En este capítulo se describió de manera sintetizada el proceso de diseño que se desarrolló para generar el concepto que se evolucionó en la etapa posterior.

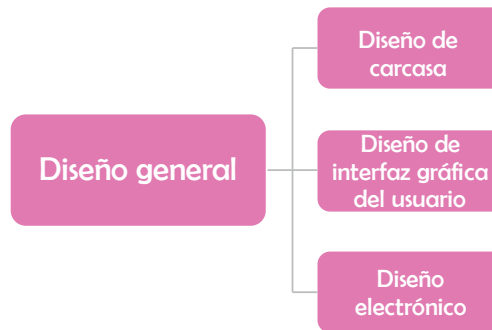
Figura 42. Fase 1 - 2 (Desarrollo De Concepto)



6.1 DISEÑO POR SUBSISTEMAS

El proceso de diseño se definió en tres secciones dentro del proceso creativo: diseño de carcasa, diseño de interfaz gráfica y diseño electrónico, donde cada uno debió ser abordado de manera paralela.

Figura 43. Diseño por subsistemas



6.2 DESARROLLO DE CONCEPTO CARCASA

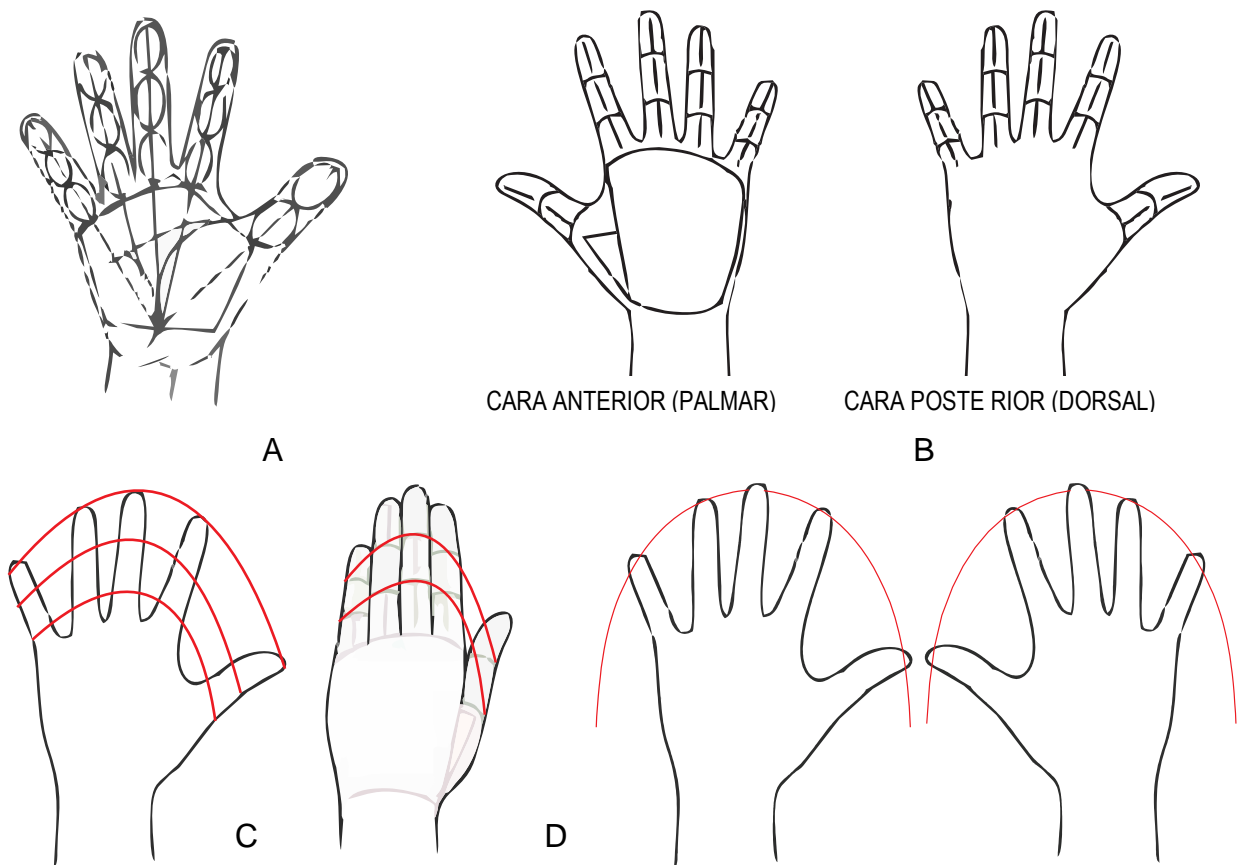
El concepto se definió usando la curva de los dedos, para garantizar la bilateralidad de las manos a partir de la geometrización y análisis de las curvas que hicieron parte de la estructura y función de la misma.

6.2.1 Análisis de curvatura. Se realizó una geometrización de la mano, teniendo en cuenta las formas a partir de figuras geométricas realizando una abstracción como se muestra en la figura A. Luego de tener dicha geometrización, se analizó la mano abierta por la cara anterior (palmar) y cara posterior (dorsal) de la mano izquierda; de igual manera las falanges y puntos de control como se muestra en la figura B.

Teniendo en cuenta la morfología de la mano, se trazó una curva cuyos puntos de control fueron las articulaciones de los dedos de la mano abierta; de igual manera se trazó la misma curva con la mano cerrada, tal como se muestra en la figura C.

Se trazó una curva que siguió los puntos de control ubicados en las yemas de los dedos con la mano (abierta) izquierda y derecha, donde se pudo concluir la simetría de la curva y la bilateralidad de las manos como se muestra en la figura D. También se analizó el tamaño de la mano a partir de los percentiles encontrados en el libro de los D.I María Fernanda Maradei y D.I Francisco Espinel, profesores asociados a la escuela de Diseño Industrial.⁸²

Figura 44. Análisis de la Geometría de la Mano

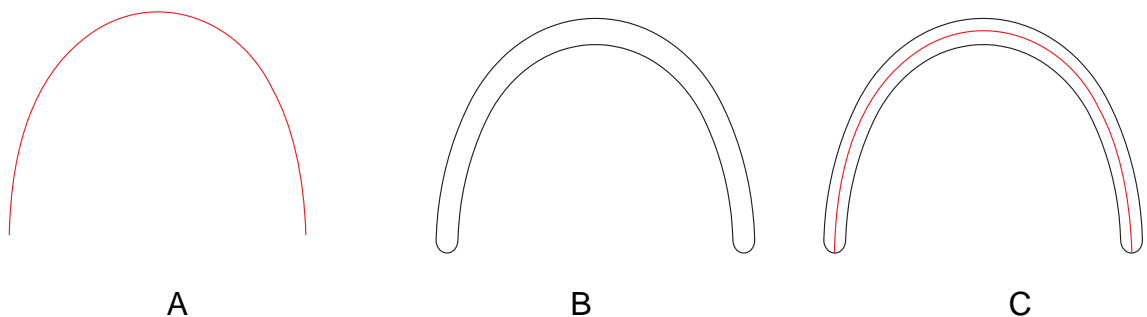


Fuente: Análisis de la Geometría de la mano. Disponible en: <http://ibiblio.org/pub/Linux/docs/LuCaS/Manuales-LuCAS/doc-unixsec/unixsec-html/node120.html> [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

⁸² DATOS ANTROPOMÉTRICOS PARA EL DISEÑO" En: Colombia 2010. ed: Ediciones Universidad Industrial De Santander

6.2.2 Definición del riel. Luego de tener la curva simétrica a partir de la yema de los dedos como se muestra en la figura A, se realizó un contorno a la curva, teniendo en cuenta la forma y el ancho de los dedos como se muestra en la figura B, dando como resultado el riel y contorno del mismo como se muestra en la figura C.

Figura 45. Análisis del arco y riel

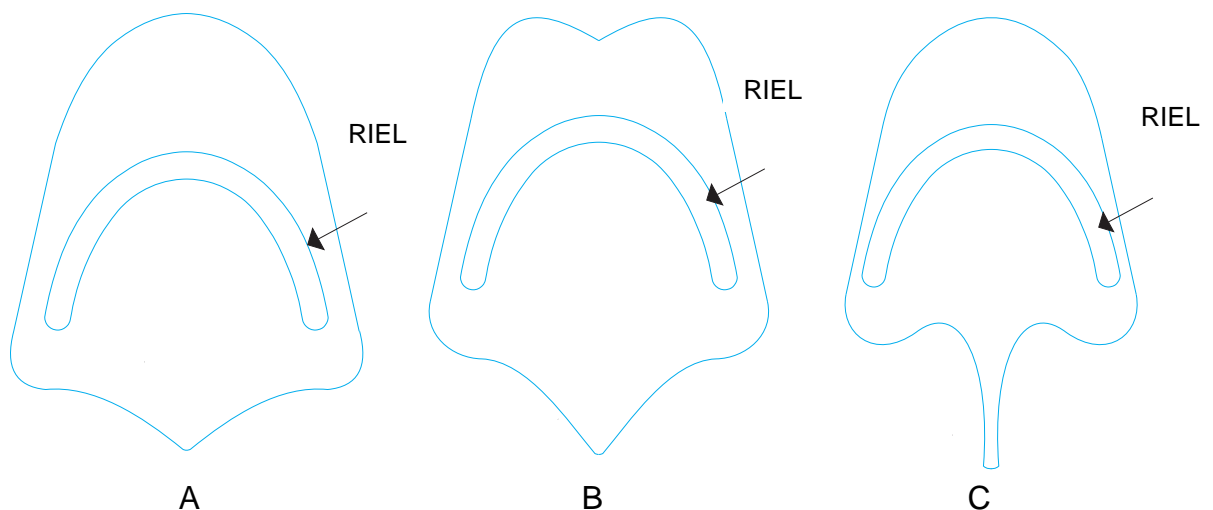


Teniendo el riel definido a partir de la curvatura de los dedos, se procedió a dar posibles ideas de la configuración formal junto a las necesidades encontradas en el capítulo anterior. Después de analizar las especificaciones y restricciones se tuvo en cuenta una posible configuración formal más precisa, ya que el riel debió permanecer de forma horizontal, garantizando la ubicación de la mano y por tanto, la realización de algunos ejercicios implementados en la terapia de rehabilitación física.

6.2.3 Configuración formal general. Para la idea se utilizó una superficie horizontal, donde se ubicaron los posibles elementos como partes electrónicas o pulsadores que se colocaron en el riel anteriormente mencionado.

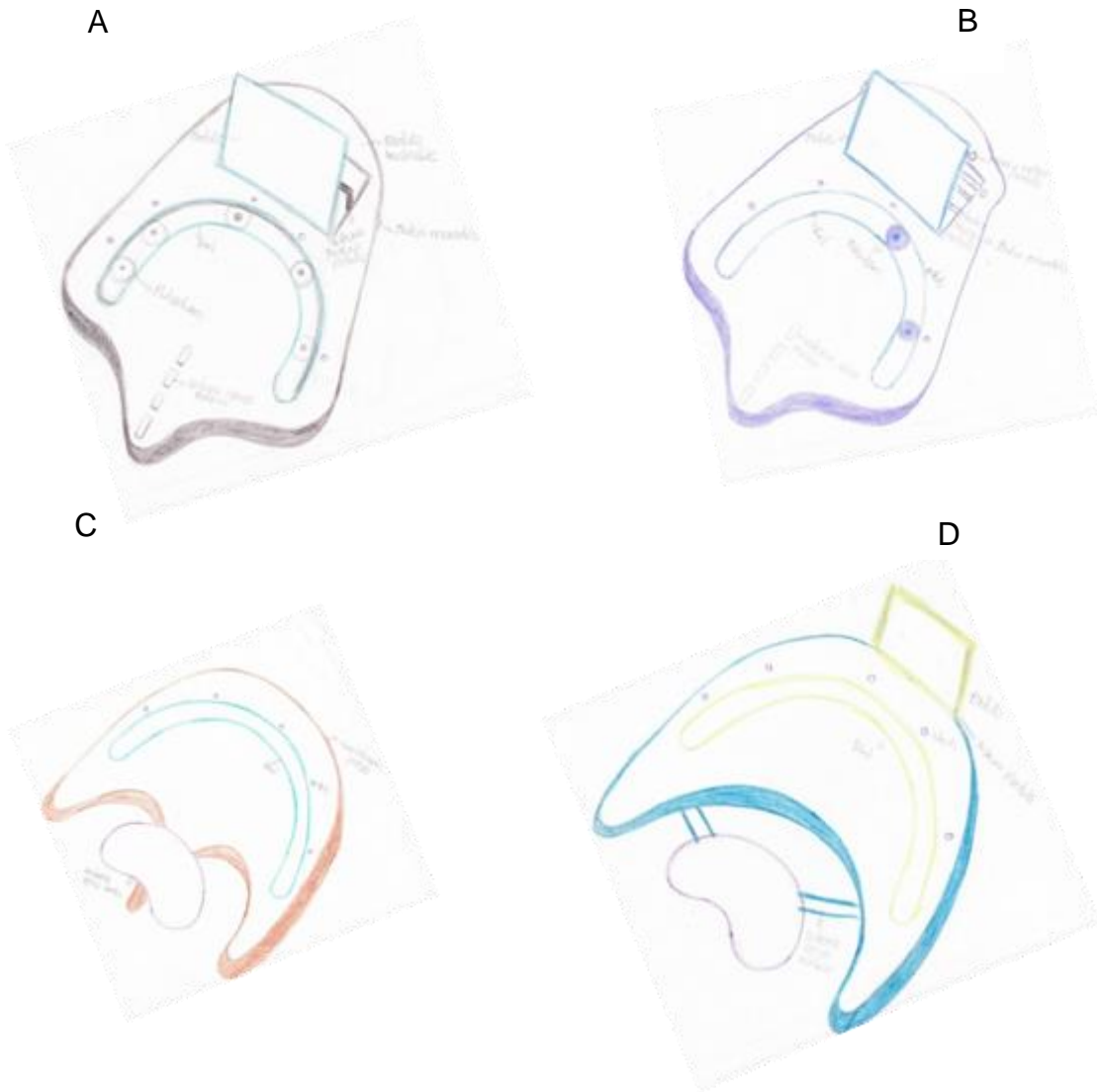
Se pretendió ubicar el brazo de manera horizontal en una zona donde no tuviera interferencia con los elementos de configuración. De igual manera se dispuso un espacio libre para la ubicación de la mano y se aseguró el correcto posicionamiento de la persona. La propuesta general hizo referencia a una restricción importante como lo fue, el riel donde se ubicaron los pulsadores ya que no fue posible cambiar su forma o tamaño pues de eso dependió la bilateralidad del dispositivo. Por esto se realizaron variaciones formales buscando coherencia formal.

Figura 46. Variación configuración formal



6.2.4 Bocetación. Luego de realizar algunas ideas para la configuración formal del dispositivo a diseñar, se generaron unos bocetos, en los cuales se tuvieron en cuenta otros elementos como, la pantalla o botones para la manipulación del dispositivo.

Figura 47. Bocetos: variaciones de configuración formal



6.2.5 Alternativa variación configuración formal. Para las alternativas, se presentaron elementos más específicos que permitieron tener una idea más cercana de la alternativa final, y se dio comienzo a la construcción del modelo funcional.

En las 3 alternativas se aprovecharon los espacios, intentando reducir el volumen, a partir de eliminación o disminución de elementos que se pudieran considerar internamente. Se pensó en la utilización de mecanismos que permitieron guardar los elementos cuando no estuvieran en uso.

Figura 48. Alternativa 1.

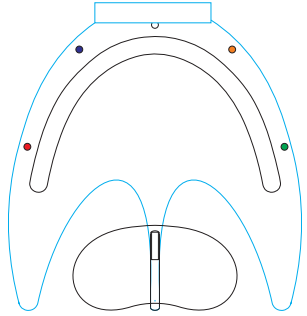


Figura 49. Alternativa 2.

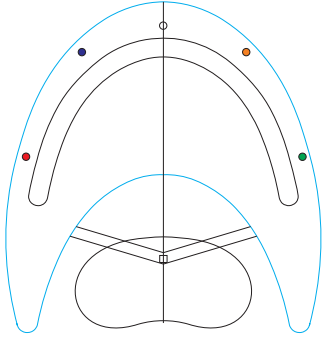
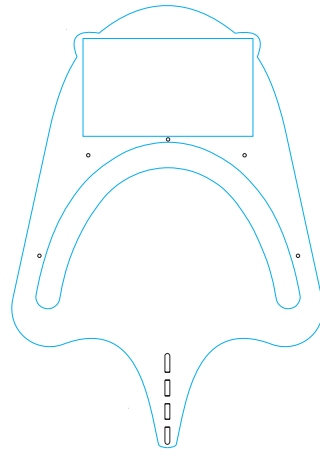


Figura 50. Alternativa 3



6.2.6 Selección formal de carcasa

6.2.6.1 Diseño a nivel sistema. Se evaluaron las alternativas por medio de pruebas técnicas. De esta manera, se especificaron las características del dispositivo obteniéndose una propuesta de diseño ajustada de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas. Ver Anexo D.

Resultados: Ver capítulo de resultados

Figura 51. Modelos en madera y cartón



MODELO 1



MODELO 2



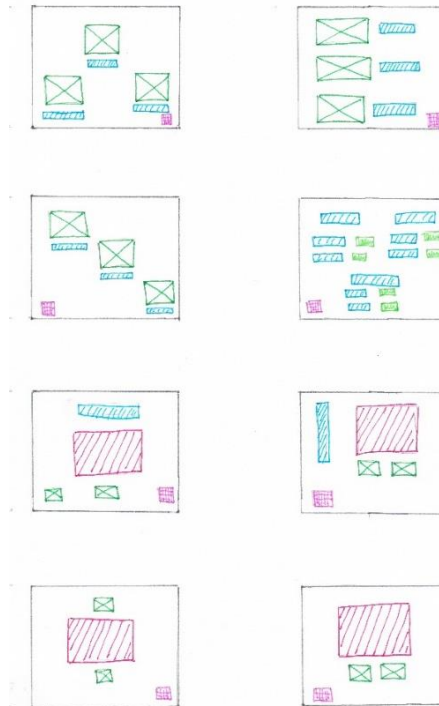
MODELO 3

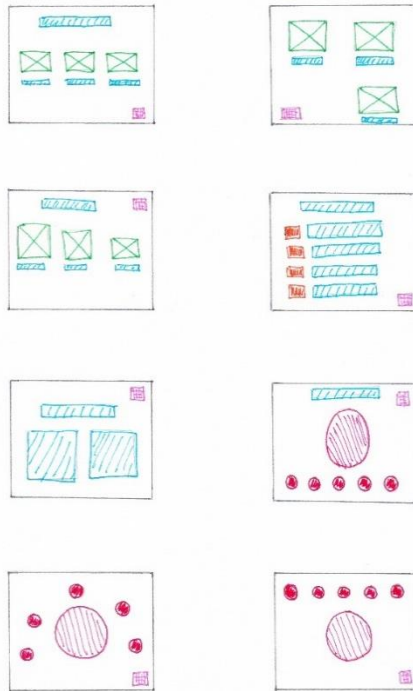
6.3 DESARROLLO DE CONCEPTO INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO








La interfaz se desarrolló en tres etapas: primero, se realizó un prototipo de papel donde se indagó acerca de la funcionalidad de la interfaz gráfica de usuario, seguido por el diseño del wireframe, donde se mostraron las funcionalidades y el esquema de interacción con el usuario. Finalmente se realizó la parte gráfica.

6.3.1 Prototipos de papel interfaz. Cuando se diseñaron los primeros prototipos de la GUI, se tuvo en cuenta los elementos o características que debía incorporar el sistema, con el fin de tener una idea más detallada de lo que se quería implementar en las ventanas y la navegación.

Figura 52. Prototipos de papel



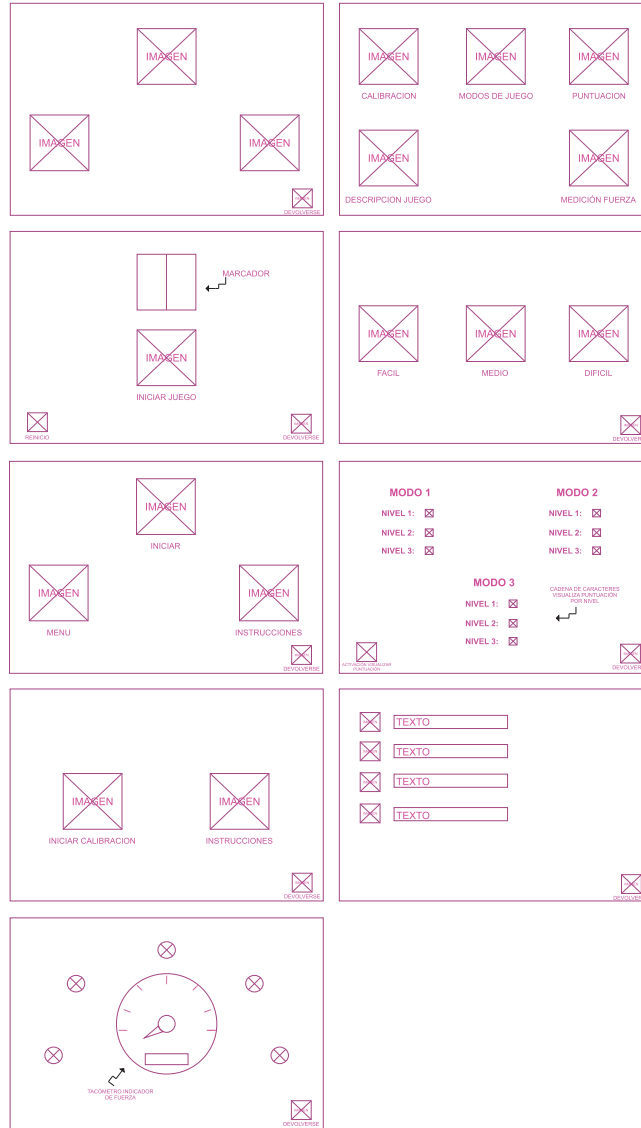


-  TEXTO ESTÁTICO
-  BOTÓN de ACCIÓN, DEVOLVERSE.
-  BOTÓN de ACCIÓN CON IMAGEN
-  TEXTO DINÁMICO
-  HERRAMIENTA DINÁMICA (TACOMETRO, CONTADOR).
-  BOTÓN de ACCIÓN.
-  BOTÓN ESTÁTICO.

6.3.2 Bosquejos Wireframes interfaz. Se generaron conceptos, esquemas o una guía visual de la interfaz gráfica, que representara el esqueleto o estructura visual de un sitio web o una aplicación móvil. El wireframe ayudó a esquematizar el diseño de una página; usualmente este esquema carecía de estilo tipográfico, color o aplicaciones gráficas, ya que su principal objetivo residía en la funcionalidad, comportamiento y jerarquía de contenidos.

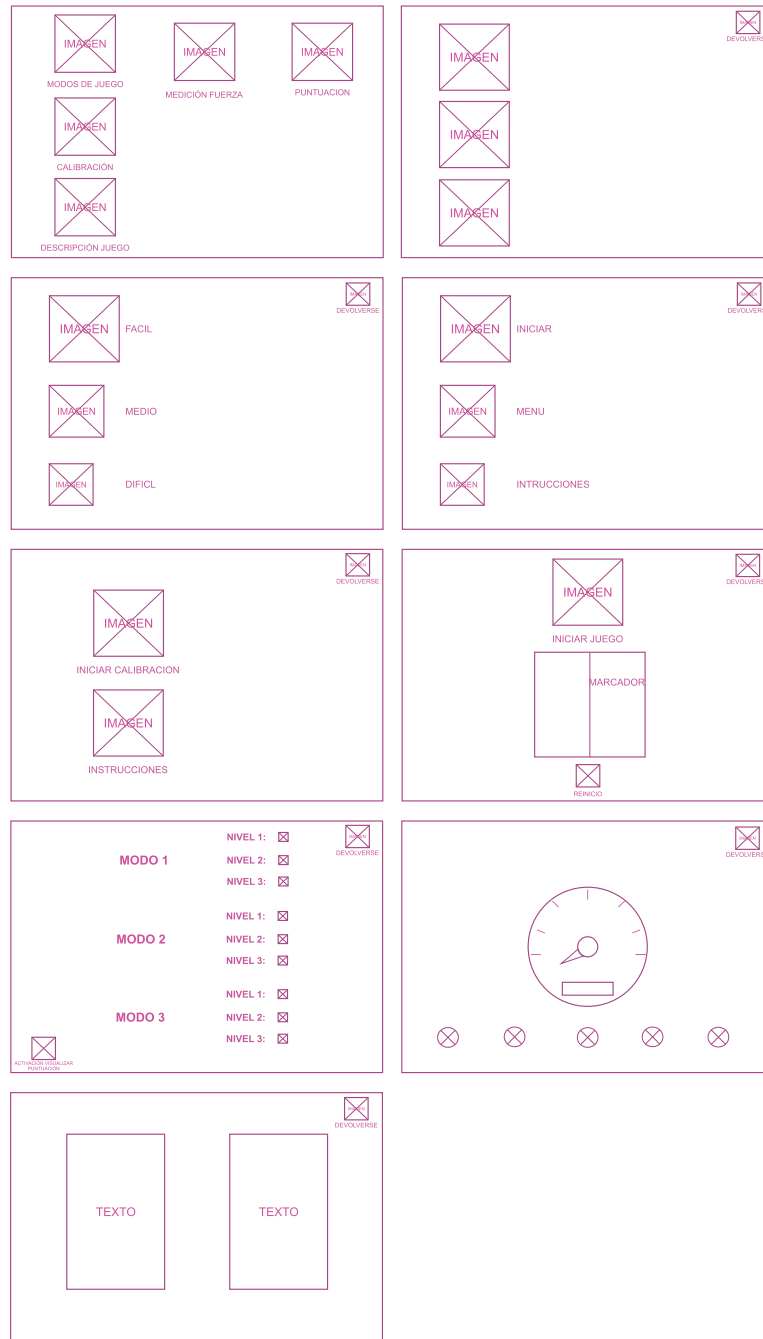
6.3.2.1 Bosquejo 1 diagramación de interfaz

Figura 53. Ventanas bosquejo 1



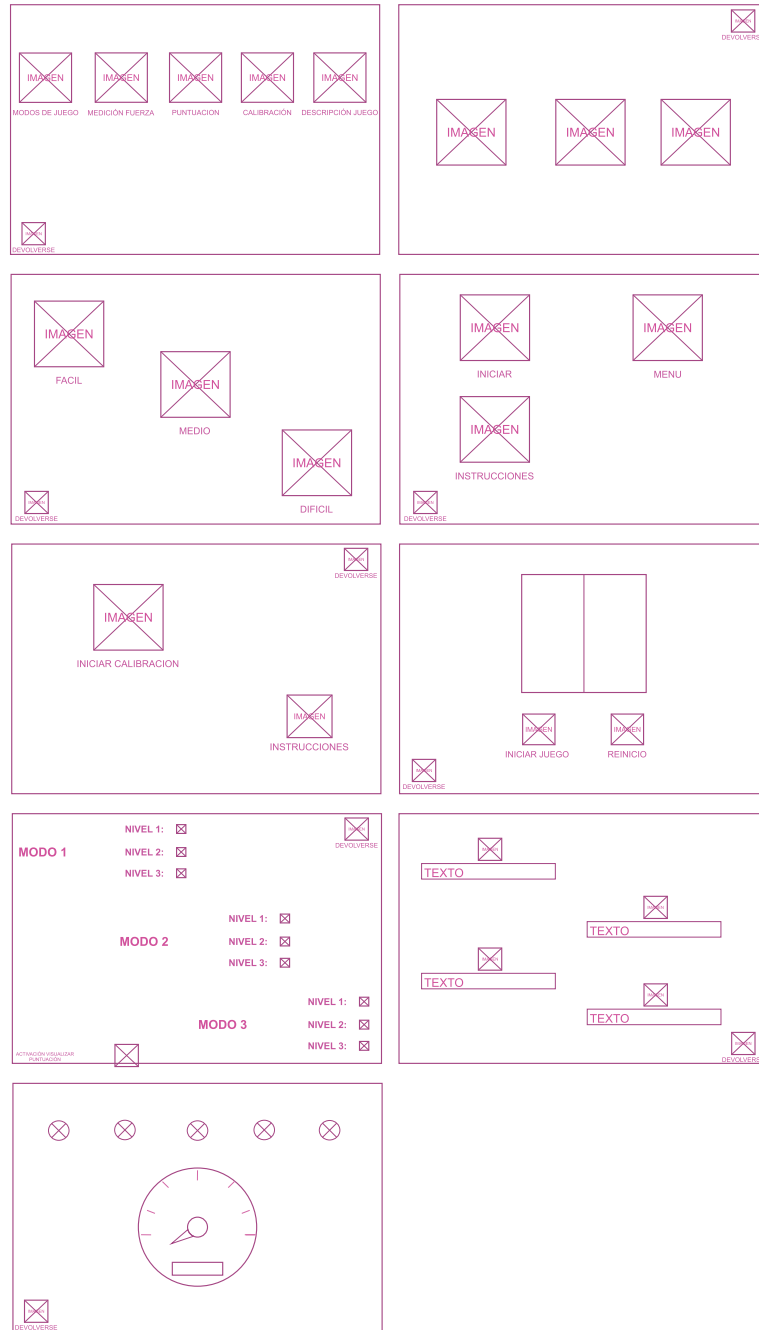
6.3.2.2 Bosquejo 2 diagramación de interfaz

Figura 54. Ventanas bosquejo 2



6.3.2.3 Bosquejo 3 diagramación de interfaz

Figura 55. Ventanas bosquejo 3



6.3.3 Selección de concepto del Wireframe

6.3.3.1 Diseño a nivel sistema. Se evaluaron las alternativas por medio de pruebas técnicas. Se especificaron los elementos de la interfaz gráfica teniendo en cuenta los componentes necesarios y su distribución. Ver Anexo E
Resultados: Ver capítulo de resultados

6.4 DISEÑO DE CONCEPTO COMPONENTES ELECTRÓNICOS

6.4.1 Selección unidad de procesamiento y adquisición de datos.

Identificando los requerimientos del sistema inicial a desarrollar, se planteó un módulo para la manipulación de una pantalla gráfica y la adquisición de datos, generados por el sensor a seleccionado.

En la selección del sistema de adquisición de datos, se plantearon como alternativas los siguientes dispositivos: FPGA, Micro controlador, Procesador, cada uno de ellos con características especiales. Teniendo en cuenta lo anterior, se evaluaron las alternativas y por tanto se escogió el micro controlador por los siguientes factores:

- Fácil programación.
- Bajo costo.
- Fácil implementación de periféricos (Pantalla grafica).
- Buena tasa de muestreo de bits.

A continuación, se muestran las figuras con los elementos electrónicos considerados para el funcionamiento del dispositivo propuesto; para la toma de datos y realización de ejercicios activos propuestos en la programación.

Figura 56. Procesador ARM-Cortex M0



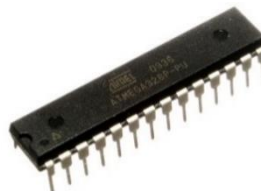
Fuente: Procesador ARM-Cortex M0. Disponible en: <http://www.arm.com/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Figura 57. FPGA spartan-3A



Fuente: FPGA spartan-3A. Disponible en: <http://www.xilinx.com/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Figura 58. Microcontrolador Atmega328p



Fuente: Microcontrolador Atmega328p. Disponible en: <http://www.atmel.com/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

6.4.2 Selección sensor. Para la selección del sensor se evaluaron las distintas clases de sensores existentes en el mercado, para que se adaptaran de la mejor forma, a los requerimientos por el sistema de acuerdo a la realización de ejercicios activos en la sesión de terapia.

El sensor requerido debía medir fuerza; existen dos clases de sensores de fuerza electrónicos: piezoeléctricos y strain gauge.

Evaluando las características y propiedades de estos dos últimos, se seleccionó el sensor piezoeléctrico por los siguientes factores:

- Fácil implementación.
- Bajas dimensiones.
- Bajo costo.

A continuación, se muestran las figuras con los elementos electrónicos considerados para la adquisición de datos de la fuerza generada por los usuarios por medio del dispositivo propuesto.

Figura 59. Sensor Piezoresistivo A301



Fuente: Sensor Resistivo. Disponible en: <https://www.tekscan.com/product-group/embedded-sensing/force-sensors?tab=products-solutions>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Figura 60. Celda de carga



Fuente: Células de Carga. Disponible en: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-fuerza---C%C3%A9lulas-de-carga_69/. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

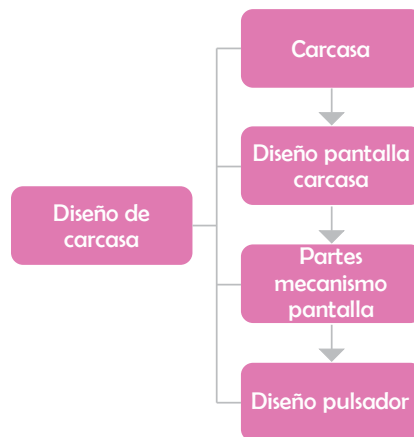
7. DISEÑO DE DETALLE

Figura 61. Fase 3 (Diseño de detalle)



7.1 DISEÑO DE DETALLE CARCASA

Figura 62. Diseño por subsistemas



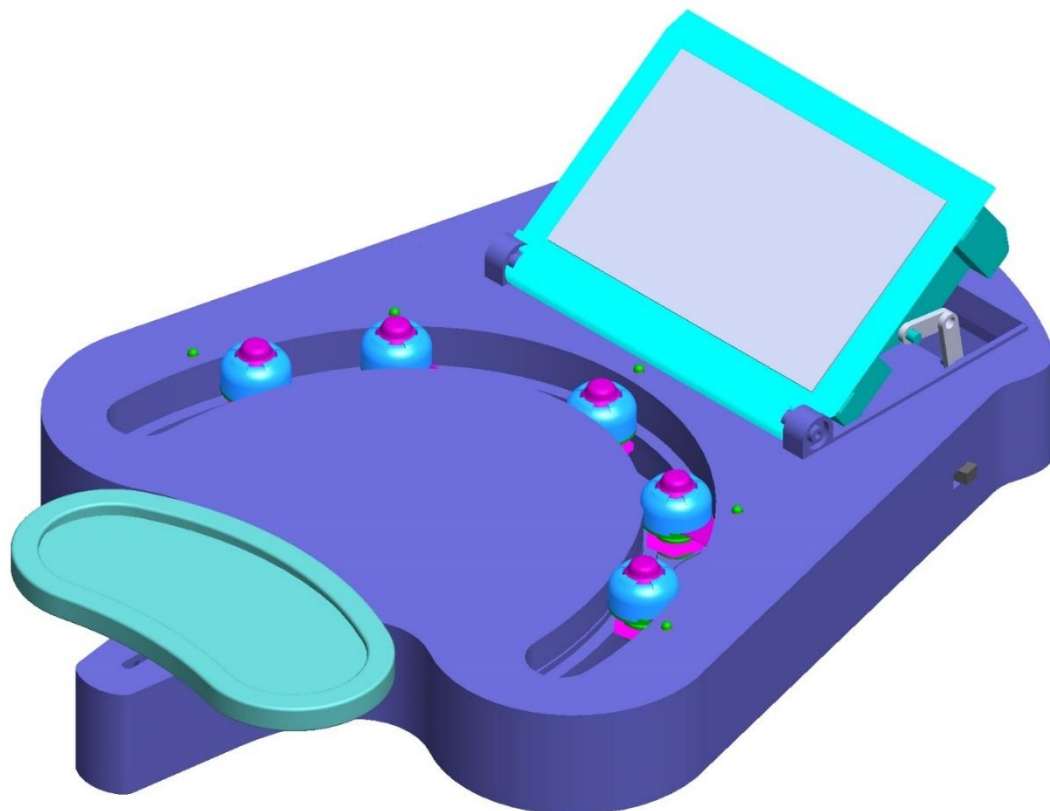
En el siguiente capítulo se describió de manera sintetizada los elementos seleccionados y utilizados en la carcasa final, teniendo en cuenta la evaluación anterior y las especificaciones del dispositivo final.

Para la construcción del modelo funcional, se realizó el diseño de elementos acordes a las necesidades encontradas que involucrara el buen funcionamiento del dispositivo, teniendo en cuenta los requerimientos y necesidades establecidas.

7.1.1 Diseño carcasa. En esta etapa se dimensionaron los componentes para poder generar el volumen, dando paso a la aplicación de los conceptos y características que darían la correcta función de la carcasa y del dispositivo. Mediante el software Solid Works 2014 se modelaron todas las piezas, dando así una idea final: teniendo en cuenta agujeros, pestañas, bordes, rieles, conectores, pasa cables, etc.

7.1.1.1 Vista isométrica Mofin

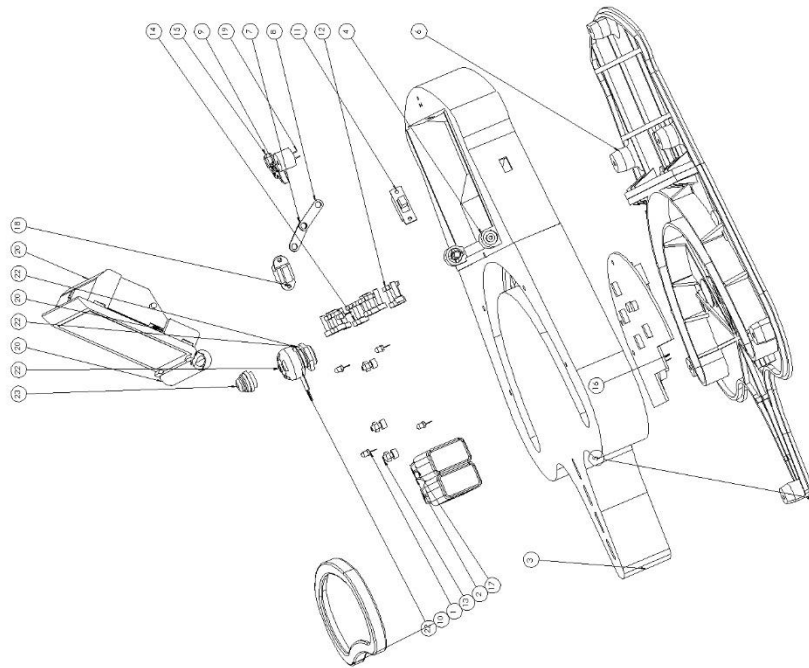
Figura 63. Vista isométrica MOFIN



7.1.1.2 Vista explosionada Mofin

Figura 64. Vista explosionada MOFIN

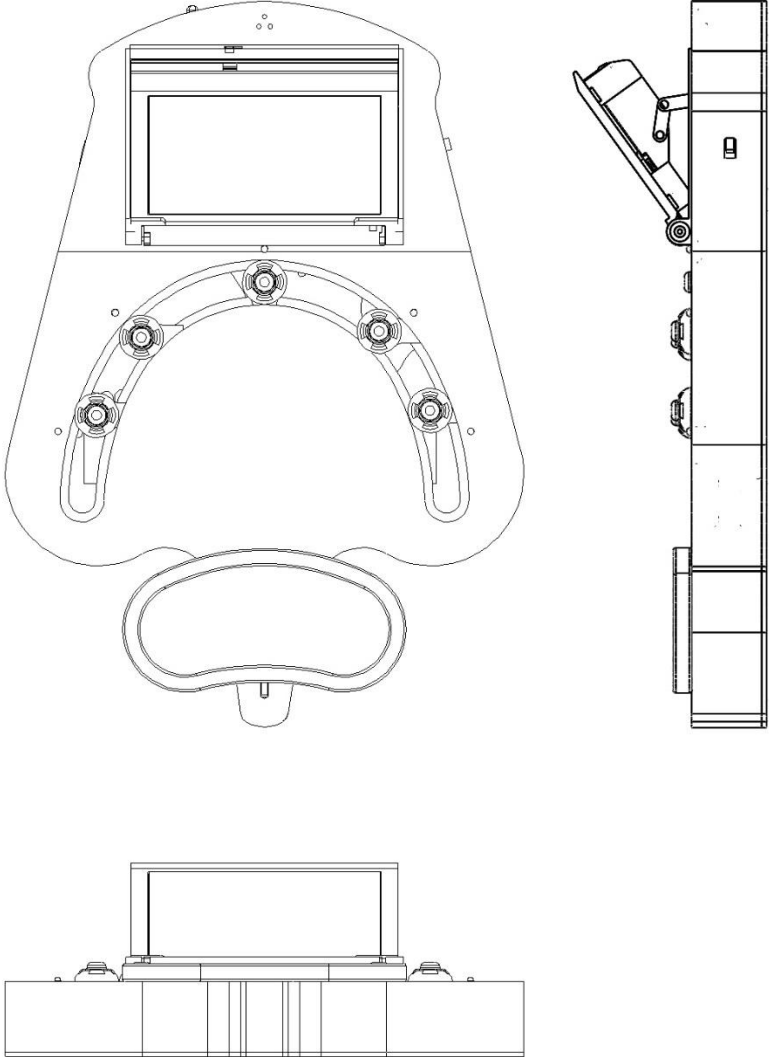
Nº DE ELEMENTO	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	LED 3 mm		5
2	Cableado/BateríaPV		2
3	Carcasa1		1
4	Carcasa2		1
5	Tapal1		1
6	Tapal2		1
7	Brazo1		1
8	Brazo		1
9	Pin_lcd		1
10	BaseAlmohadilla		1
11	Switch		1
12	Nut-1/8-inch_inox		15
13	Screw-bistol_1-8x1_inch_inox		3
14	Screw-bistol_1-8x1.5_inch		16
15	Pin2		1
16	Baqueilla		1
17	BateríaPV		2
18	Jack_conectorPV		1
19	BUZER		1
20	Ens_lcd		1
21	Hand-rit-Arm-5d		1
22	Acoplobotones		1
23	Copaboton-New		1



ESCALA: 1:1

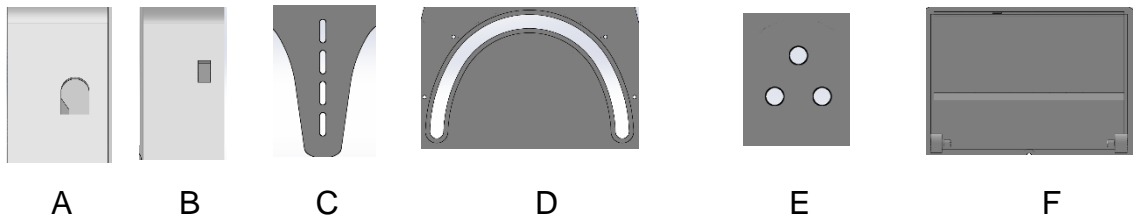
7.1.1.3 Planos Mofin

Figura 65. Planos Mofin



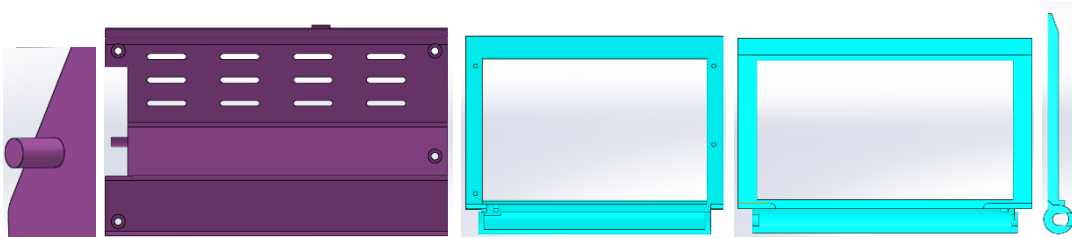
7.1.1.4 Agujeros carcasa. La carcasa contó agujeros, que están dispuestos para una mejor distribución y buen uso del sistema. La figura A, se introdujo el elemento que se encargaría de alimentar el dispositivo. Para esto se utilizó un “Jack de alimentación”, usado en dispositivos comunes de electrónica. La figura B, se introdujo el switch que encendía y apagaba el dispositivo. La figura C se propuso un sistema que permite adecuar el “apoya muñecas”, ajustándose a cualquier tamaño de mano. La figura D es el riel donde se ubicaron los pulsadores, los cuales se ajustan a cualquier tipo y tamaño de mano. La figura E, permite la salida de audio por medio de un buzzer. La figura F, cuenta con dos pivotes que permitieron encajar la carcasa de la pantalla con la carcasa del dispositivo.

Figura 66. Componentes agujeros carcasa



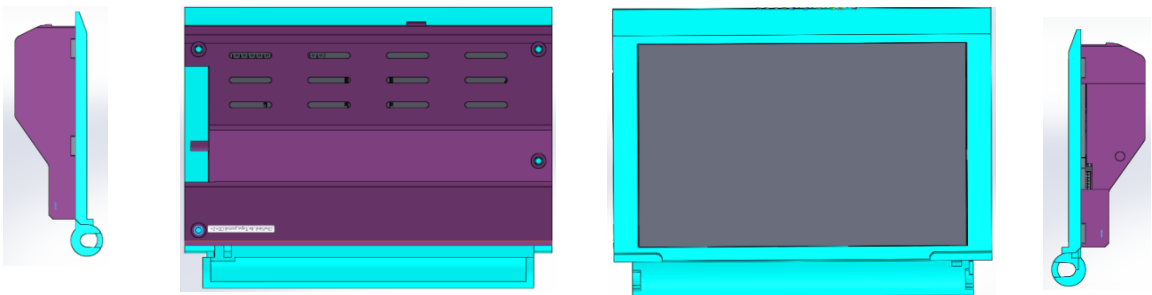
7.1.2 Diseño carcasa pantalla. Se diseñó de acuerdo a las medidas de la pantalla seleccionada. La carcasa se dividió en el marco y la estructura que sostiene la pantalla. También contó con un pivote al lado derecho, que permite restringir la inclinación de la pantalla.

Figura 67. Carcasa pantalla



7.1.2.1 Ensamble carcasa pantalla. El sistema permitió inclinar la pantalla por medio de resortes retractiles los cuales se ubicaron en la parte inferior del marco. De igual manera tiene un mecanismo que restringió la inclinación evitando así, que sobrepasaran el ángulo de visión sugerido encontrado en el libro de los D.I María Fernanda Maradei y D.I Francisco Espinel, profesores asociados a la escuela de Diseño Industrial.⁸³.

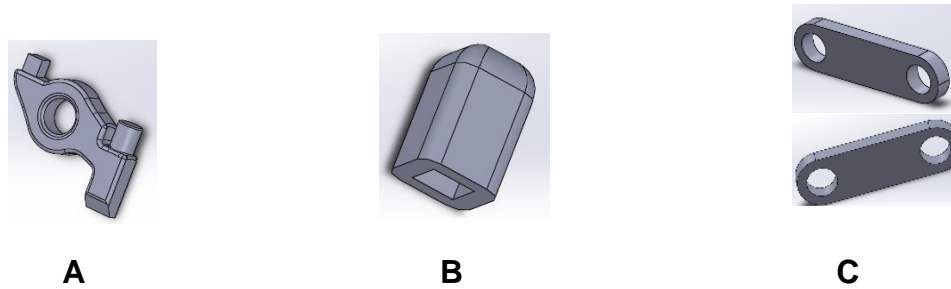
Figura 68. Ensamble carcasa pantalla



7.1.3 Partes mecanismo pantalla. La pantalla cuenta con dos mecanismos principales para su buen funcionamiento. La figura A y B, son las que permitieron accionar el seguro y viceversa, la figura C es la que sujetó al pivote restringiendo el ángulo de inclinación de la pantalla, cuando se accionaba.

⁸³ DATOS ANTROPOMÉTRICOS PARA EL DISEÑO" En: Colombia 2010. ed: Ediciones Universidad Industrial De Santander

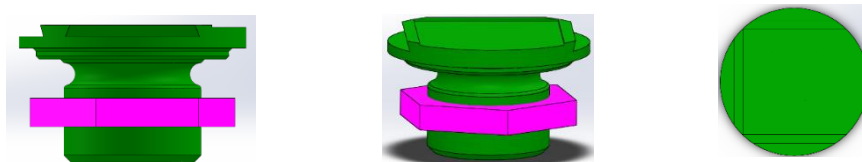
Figura 69. Partes mecanismo pantalla



7.1.4 Diseño pulsador. El diseño del pulsador está compuesto por tres partes: parte inferior, parte superior y la copa, los cuales permitieron accionar el sensor en su área de presión permitiéndose dar un valor.

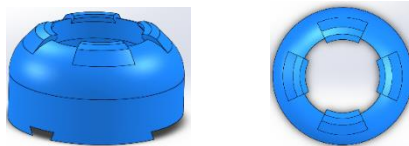
7.1.4.1 Parte inferior pulsador: La parte inferior de los pulsadores, permitió encajar el sensor en la ranura diseñada con la forma y dimensiones del mismo; teniendo en cuenta el área de contacto donde se ejerce la fuerza. La base del pulsador tuvo dimensiones que se ajustaron al riel, permitiendo el desplazamiento del mismo.

Figura 70. Parte inferior pulsador



7.1.4.2 Parte superior pulsador: La parte superior de los pulsadores, tuvo unos dientes que sobresalen del botón, los cuales encajaron con la parte inferior del pulsador permitiendo ajustar y unir las dos partes. Además, contó con un orificio donde se ubica la copa del pulsador.

Figura 71. Parte superior pulsador



7.1.4.3 Copa pulsador: La copa del pulsador estuvo diseñada para sobresalir en la parte superior del pulsador, permitiéndose ser oprimido hasta la parte inferior del mismo. Sus dimensiones están de acuerdo al área de contacto del sensor abarcando su totalidad.

Figura 72. Copa pulsador

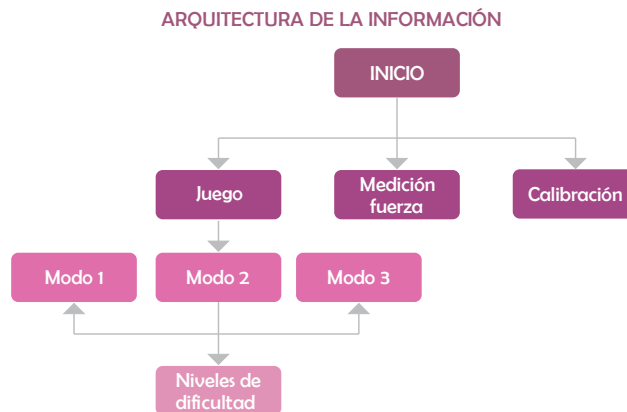


7.2 DISEÑO DE DETALLE INTERFAZ

7.2.1 Desarrollo Interfaz Gráfica (IGU). El desarrollo de la interfaz gráfica se realizó con el software IDE Workshop4. Este software proporcionó una plataforma de desarrollo de software integrado para toda la familia de procesadores gráficos de la empresa 4D System. El IDE combinó editor, compilador, vinculador para desarrollar el código de aplicación 4DGL.

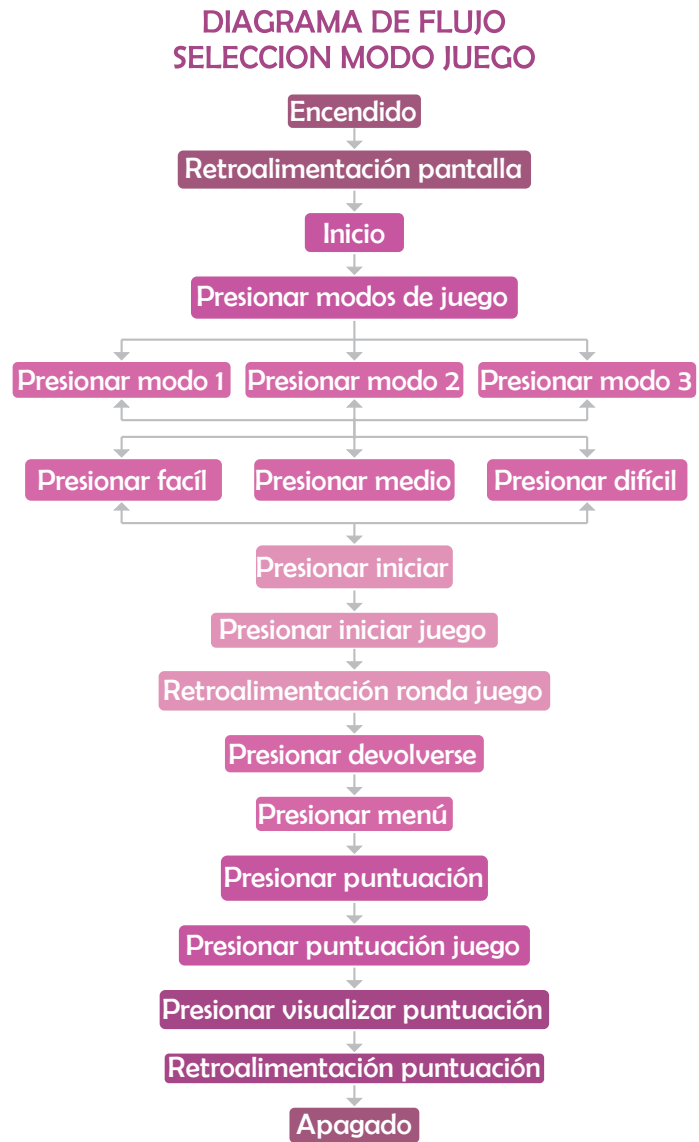
7.2.2 Arquitectura de la información

Figura 73. Diagrama arquitectura de la información



7.2.3 Estructura de la información. La interfaz estuvo diseñada para tener una estructura lineal, con la posibilidad de devolverse a pantallas anteriores.

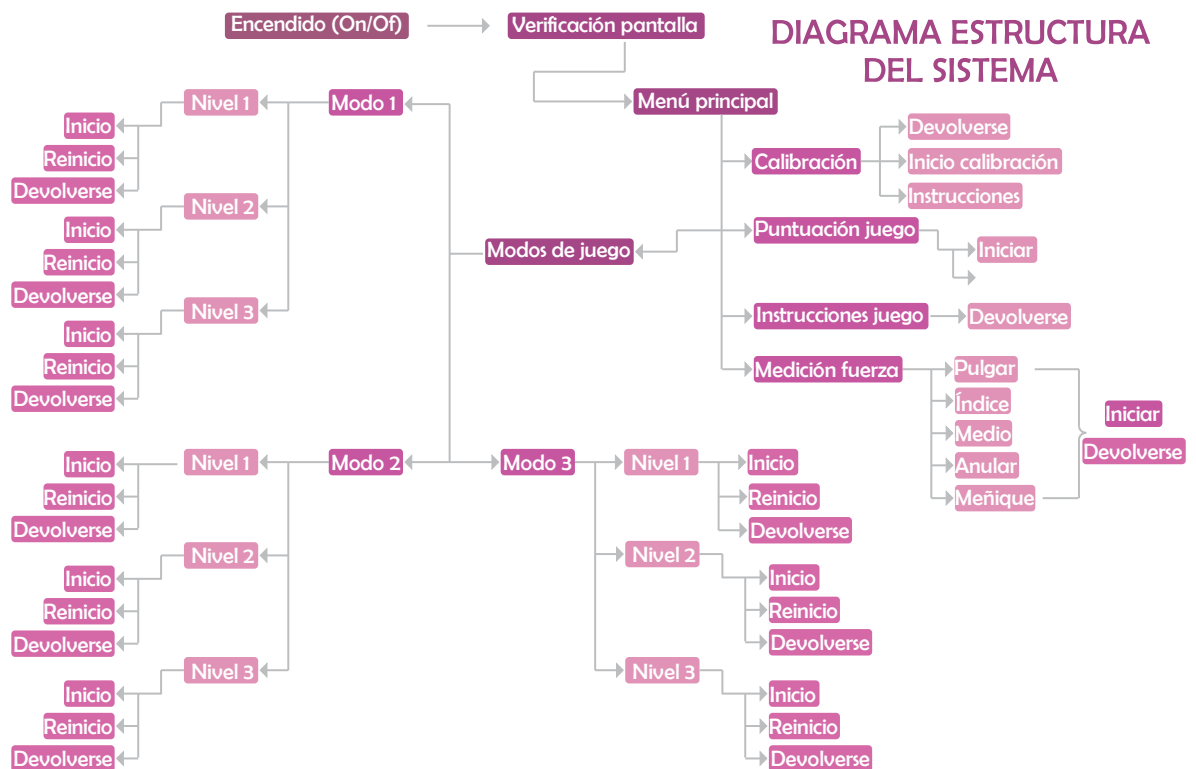
Figura 74. Diagrama flujo selección modo juego



En el diagrama de flujo se presentó la secuencia que se debió seguir, para elegir un modo de juego y realizar el debido proceso. El sistema de navegación es lineal, por lo cual el usuario comprendió como está estructurado el sistema. En caso de que el usuario requiriera devolverse de ventana, este contaba con un botón de regreso.

En la ventana de modo de juego A, contaba con la opción de menú principal, que permitía devolverse automáticamente al menú de inicio. Cuando se iniciaba el juego, tendría un límite de 5 rondas, que se mostraba en la pantalla como indicador de “marcador”. Posteriormente de haberse culminado el juego, se regresaba al menú principal para poder visualizar la puntuación realizada en el correspondiente nivel.

Figura 75. Diagrama estructura del sistema



a. Parámetros de configuración: La interfaz presentaba un menú, donde se seleccionaban las distintas configuraciones del juego como son: puntuación, medición de fuerza, modos de juego, etc.

b. Calibración: Si se requería antes de iniciar la sesión con cada paciente, era opcional realizar una calibración previa a la terapia, ya que de esta forma se determina un umbral de fuerza para cada dedo de la mano.

La opción calibración contó con instrucciones, para su funcionamiento.

c. Puntuación juego: Como se implementó un sistema de juego con niveles, este debió contar con puntuación el cual proporcionó la calificación del paciente en cada modo de juego.

d. Instrucciones juego: La configuración contaba con instrucciones, donde explicaba la metodología de los niveles encontrados.

e. Medición fuerza: Se contaba con un sistema que cuantificaba la fuerza de los dedos; de esta forma, se obtenía la fuerza de cada dedo individual con un botón de inicio para cada dedo de la mano, sin importar su orden. Para tener una noción de cuanta fuerza se estaba ejerciendo, la medición contaba con un tacómetro que le indicaba la fuerza medida. La medición de la fuerza se daba en valores de libras.

f. Modos de juegos: Contaba con tres opciones de juego, donde cada opción tenía tres niveles; cada nivel de juego contó con botones de selección como: inicio, reset y devolverse, además contaba con la visualización de las rondas jugadas.

7.2.4 Diseño de interacción. Basado en la estructura de tareas y la tecnología de la pantalla, se planteó un sistema touch multipunto.

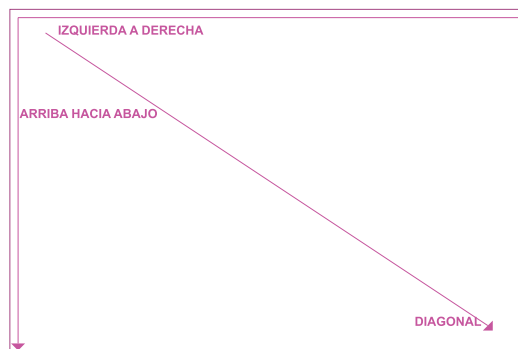
a. Orientación. Generar una visión general del esquema del sistema, permitió al usuario identificar las rutas de acceso y las posibilidades de interacción.

b. Jerarquía visual. Organizar los elementos con base en cierto grado de importancia. Se hizo uso de diversos elementos visuales y se pusieron en práctica distintos fundamentos del diseño. Uno de éstos es la jerarquía visual que permitía a los diseñadores organizar elementos e información para que el mensaje principal llegara al usuario.

Cuando se organizan elementos con base en cierto grado de importancia, se emplea en jerarquía y en éste mismo, se diferenciaron los elementos con base en la forma como lucen. Su apariencia es un indicador del orden de importancia y su relación con otros elementos. Los elementos que se usaron para generar una jerarquía visual fueron: tamaño, contraste, color, proximidad, alineación y repetición.

Es importante tener en cuenta la forma como se visualizaron las diferentes formas y colores de los objetos, haciéndose rápidamente un barrido visual en diagonal, desde la esquina superior izquierda hasta la esquina inferior derecha.⁸⁴

Figura 76. Barrido visual del usuario

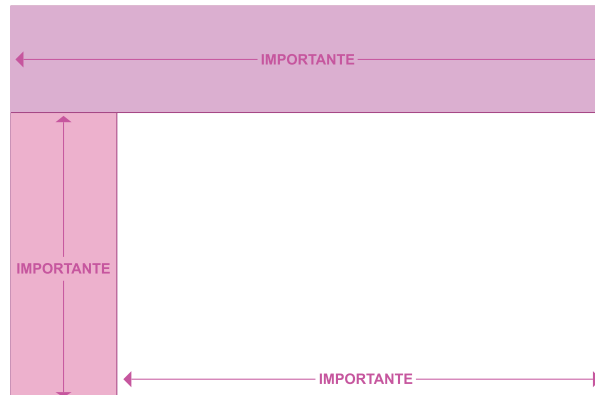


Fuente: Barrido Visual del Usuario. Disponible en: Diseño e implementación del portal web de la FCV, Eugenio Sarmiento, Tesis de Grado

⁸⁴ MARIÑO CAMPOS, Ramón. Diseño de páginas web y diseño gráfico. Metodología y técnicas de implementación de sitios web y para el diseño gráfico. Primera Edición. España. Ideas Propias Editorial. 2005. P 25

Teniendo en cuenta el barrido visual del usuario, se pudo organizar el contenido de una composición, situando los elementos más importantes en la zona superior izquierda.

Figura 77. Jerarquía visual en software



Fuente: Barrido Visual del Usuario. Disponible en: Diseño e implementación del portal web de la FCV, Eugenio Sarmiento, Tesis de Grado

c. Sistema de orientación y pantallas de visualización. El usuario se orientó mediante la presentación de menús y sus estados de activación respectivos; cada uno de estos, se agruparon según la información correspondiente en distintas pantallas de visualización.

d. Navegación. La GUI contó con un menú principal, en el cual se encontraban todas las tareas principales del sistema. Cada tarea tiene submenús que indicaban al usuario las rutas de acceso a las diferentes especificaciones.

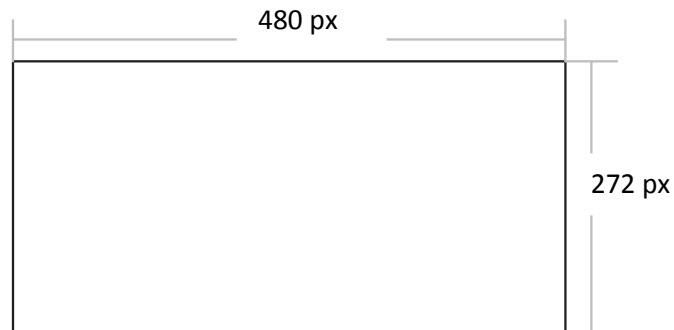
e. Resolución pantalla. La resolución correspondía al número de píxeles que pudieron ser mostrados en la pantalla. Ésta viene dada por las dimensiones de la LCD, donde el fabricante presentaba las dimensiones, ancho por alto, dadas en píxeles.

Figura 78. Dimensión en milímetros. Pantalla Ulcd-43PT



Fuente: Pantalla Táctil. Disponible: http://www.4dsystems.com.au/product/uLCD_43PT_AR/.
[Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Figura 79. Dimensión en pixeles (4.3). Pantalla Ulcd-43PT











Fuente: Pantalla Táctil. Disponible: http://www.4dsystems.com.au/product/uLCD_43PT_AR/.
[Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

7.2.5 Iconografía de Interfaz. A continuación, se presentaron los iconos usados en la GUI.

Tabla 14. Iconografía Interfaz Grafica

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	ICONO
Modos de Juego	Su función consistió en abrir la ventana que selecciono los 3 modos de juego existentes en el dispositivo.	
Instrucciones Dispositivo	Dio las indicaciones del uso adecuado del dispositivo.	
Puntuación Juego	Abrió la ventana que permitió la visualización de la puntuación realizada en los distintos niveles de juego.	
Fuerza	Este ícono abrió la ventana que permitió la medición de la fuerza en cada dedo.	
Puntuación	Abrió la ventana que permitió la selección de la puntuación de fuerza y juego.	
Play	Es el que genero la acción de inicio en cada nivel de juego.	
Menú	Permitió regresar al menú principal del juego.	
Inicio Calibración	Dio la acción de inicio de calibración.	
Modo 1	Selecciono el modo de juego 1.	

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	ICONO
Modo 2	Selecciono el modo de juego 2.	
Modo 3	Selecciono el modo de juego 3.	
Reinicio	Retornó la primera ronda del juego	
Devolverse	Botón que permitió devolverse de ventana.	
Viñeta	Indicó las instrucciones de cada nivel.	
Dificultad Fácil	Seleccionó dificultad baja de nivel.	
Dificultad Media	Seleccionó dificultad media de nivel.	
Dificultad Difícil	Seleccionó dificultad alta de nivel.	

7.2.6 Diseño visual de la interfaz. Establecer criterios de diseño coherentes con la identidad buscada que lograron ser agradables para el usuario, es una base importante para desarrollar un buen diseño de una GUI. Definición de estilos, tipografía, colores, imágenes y formas, mantuvieron un equilibrio visual a la hora de componer la interfaz final.

Figura 80. Diseño Visual



7.2.6.1 Valoración de la interfaz gráfica

Interacción interfaz gráfica. Se diseñaron una serie de tareas de programación a partir de los requerimientos planteados anteriormente, suponiendo que se realiza una terapia de rehabilitación, teniendo en cuenta los modos propuestos en la interfaz gráfica. Ver Anexo F.

Resultados: Ver capítulo de resultados

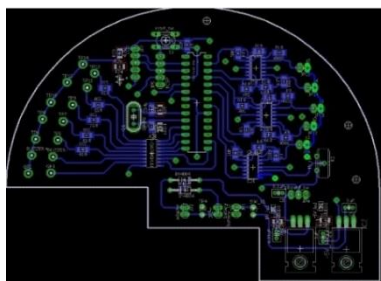
Figura 81. Usuario interactuando con la interfaz gráfica



7.3 DISEÑO COMPONENTES ELECTRÓNICOS

7.3.1 Diseño del diagrama PCB

Figura 82. Vista superior e inferior de la PCB terminada.



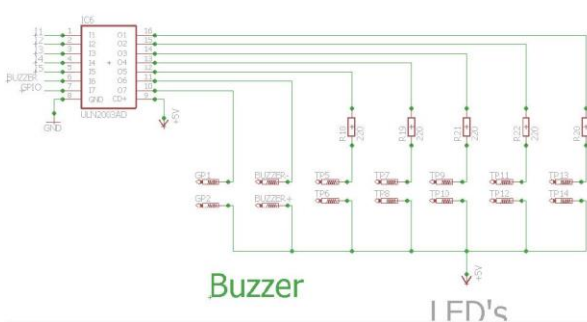
CARA BOTTON



CARA TOP

7.3.2 Esquema del circuito. Para el dispositivo de rehabilitación se utilizó led's y un buzzer. Para estos casos, es recomendable usar un integrado como el ULN2003 ya que cuenta con un arreglo de transistores, que proveen a los led's de un constante suministro de corriente. Ya que, por variaciones de tensión en las baterías, se podía perder intensidad tanto para los led's como para el buzzer.

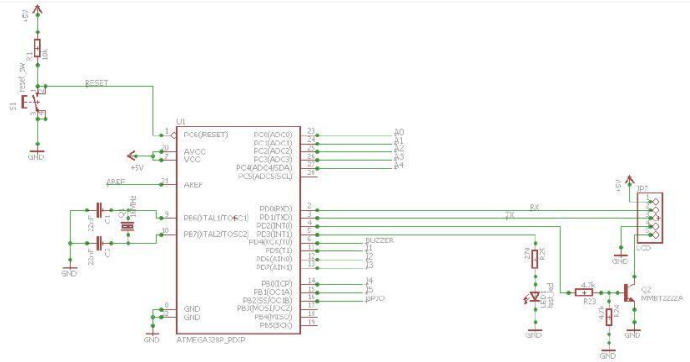
Figura 83. Esquema leds implementados



El microcontrolador empleado fue el atmega328p, usado en las placas arduino. Se usó este integrado por la programación e implementación de accesorios, como fue el caso de la pantalla touch lcd.

El integrado cuenta con recursos necesarios para su funcionamiento, desde un cristal de 16MHZ, hasta un botón de reset que permitió reiniciar las rutinas del microcontrolador; también cuenta con un led que indicó si el microcontrolador estaba correctamente encendido.

Figura 84. Esquema microcontrolador implementado



La etapa de amplificación es la parte donde se adquiere los datos del sensor y como su mismo nombre lo indica, se amplificó la señal de entrada porque en este caso, las variaciones de tensión que generaba un sensor de presión podían estar entre el orden de los micro voltios a los mili voltios, teniendo una buena salida de lectura en el microcontrolador, en el orden de los voltios.

El esquema planteado solucionó este inconveniente, presentado una salida en un orden de 0 a 4.17V, suficiente para caracterizar el sensor.

Figura 85. Esquema amplificación implementado

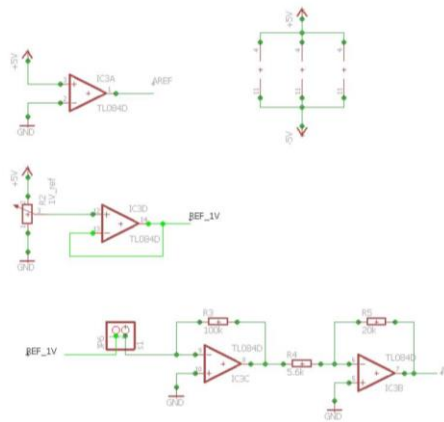


Figura 87. Esquema funcional

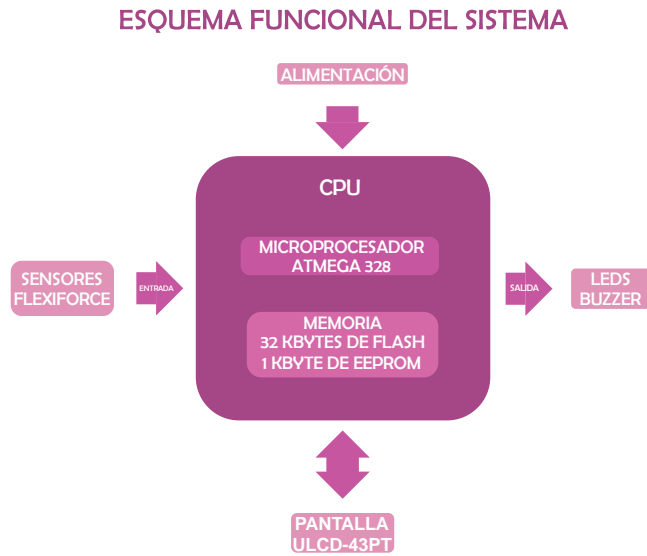
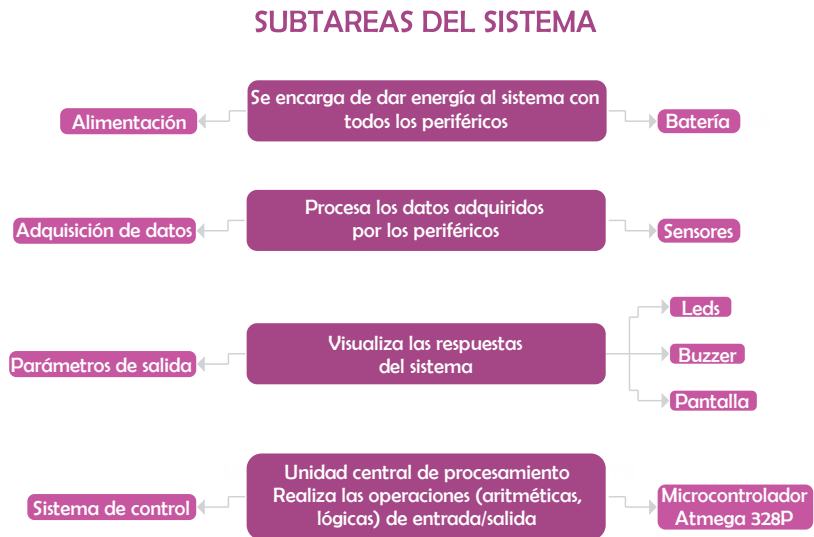


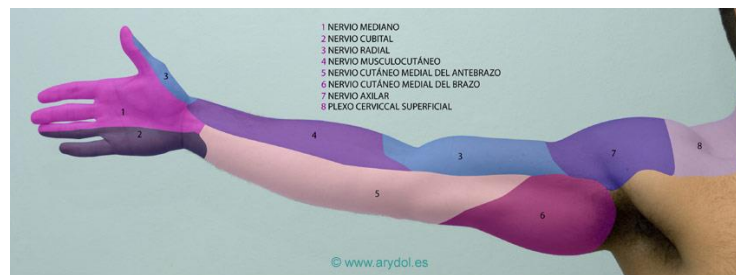
Figura 88. Descripción tareas



7.4 DISEÑO DE IMAGEN GRÁFICA

La parte gráfica correspondió a la distribución de la inervación sensitiva del miembro superior, representadas por divisiones de colores.

Figura 89. Distribución de la inervación sensitiva. Dermatomas miembro superior



Fuente: Distribución de la inervación sensitiva. Disponible en: <http://www.arydol.es/anatomia-plexo-braquial.php>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

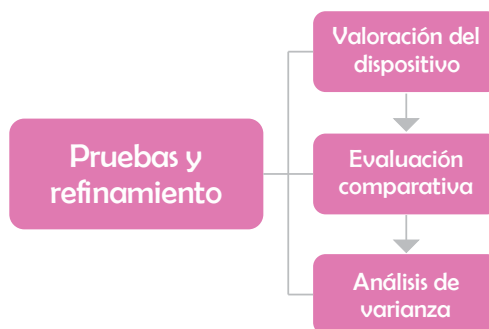
El nombre del producto Mofin, nació de las palabras Motricidad Fina. En primera instancia, de la contracción de la palabra Mo (Motricidad) y Fin (Fina), haciendo referencia a la función del dispositivo que ayuda recuperar la movilidad y fuerza, el cual forma parte de la motricidad fina y todo lo que concierne al movimiento del miembro superior.

Figura 90. Logo dispositivo.



8. PRUEBAS Y REFINAMIENTO

Figura 91. Fase 4 (Pruebas y refinamiento)



8.1 VALORACIÓN DISPOSITIVO

A partir de las valoraciones anteriores, se realizó la validación del modelo funcional por medio de una prueba a los usuarios. Se presentó el modelo final y se inició a la simulación de la actividad en la sesión de terapia de rehabilitación, donde el usuario interactuaba con los componentes del equipo.

Al finalizar cada prueba con cada participante, se completó un formato para la calificación de los componentes del dispositivo.

8.1.1 Interacción dispositivo. La prueba se aplicó a 7 usuarios primarios (fisioterapeutas), los cuales interactuaron con el sistema, realizando las tareas propias de una terapia de rehabilitación. Del mismo modo, se integró a los pacientes para que la prueba se desarrollara lo más real posible. Ver Anexo G, H. Resultados: Ver capítulo de resultados

Figura 92. Usuario interactuando con el dispositivo



8.2 EVALUACIÓN COMPARATIVA

Con el modelo funcional se comparó el dispositivo Mofin, respecto al dispositivo “Biometrics Ltd (Datalog MWX8)”, que contaba con la última tecnología en adquisición de datos desarrollado para satisfacer las necesidades de los investigadores para la recopilación de datos de forma remota y tener un monitoreo de la condición humana, en campos como la investigación médica, la ergonomía industrial, ciencias del deporte y entornos educativos. La empresa Biometrics Ltd mantiene el más alto nivel de un sistema de gestión de calidad que está acreditado de forma independiente por las siguientes normal: ISO 9001:2008, ISO 13485:2003 y la ISO 13485:2003⁸⁵.

Igualmente es un sistema de medición de señales biológicas, que también permitió el censado de fuerza de los dedos de la mano. El equipo perteneciente al grupo GEPS de la escuela de Diseño Industrial⁸⁶.

⁸⁵ Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biometricsltd.com/quality.htm>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

⁸⁶ GEPS, 2005. Grupo de ergonomía, producto y significado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Diseño Industrial. Disponible en: <http://scienti.colciencias.gov.co:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000003569>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

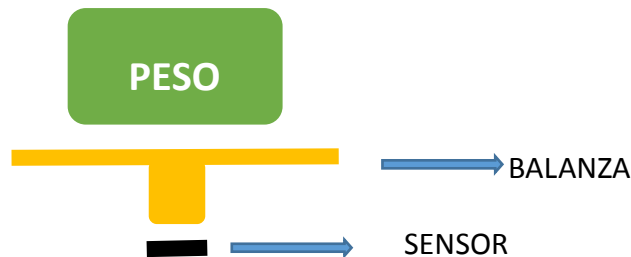
8.2.1 Validación sistema de adquisición Biometrics Datalog / Mofin. Se propuso que el dispositivo diseñado cuantificara valores de fuerza de los dedos.

Para ello se contó con un sistema patrón que (DataLog MWX8) que permitió calibrar y comparar la medida de la fuerza, para así demostrar que el dispositivo diseñado (Mofin) arrojaba valores cercanos en comparación con el dispositivo patrón.

8.2.2 Calibración dispositivo. Para calibrar el dispositivo, se utilizó una balanza que tuviera las mismas dimensiones del área de contacto del sensor (1 cm de diámetro) y suministrara distintos valores de peso, para que el sensor arrojara los valores correspondientes de cada uno de los pesos.

A continuación, en la figura 93 se muestra la forma cómo se calibró el dispositivo.

Figura 93. Calibración dispositivo



Cuando se realizó la calibración, los sistemas arrojaban datos en unidades diferentes, ya que el dispositivo “DataLog MWX8”⁸⁷ generó los valores en Kg. Mofin, generó los valores en niveles de tensión o voltaje. De acuerdo con esto,

⁸⁷ Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

siendo el peso A el peso patrón, que estaban entrando en ambos sistemas. En la figura 94 se representa lo mencionado anteriormente.

Figura 94 Esquema de entrada y salidas de los dos dispositivos

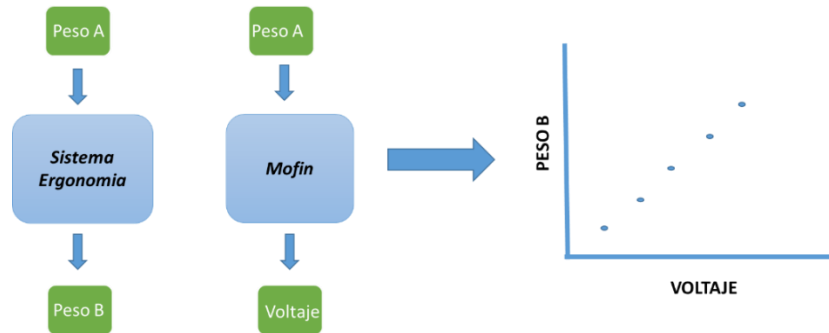
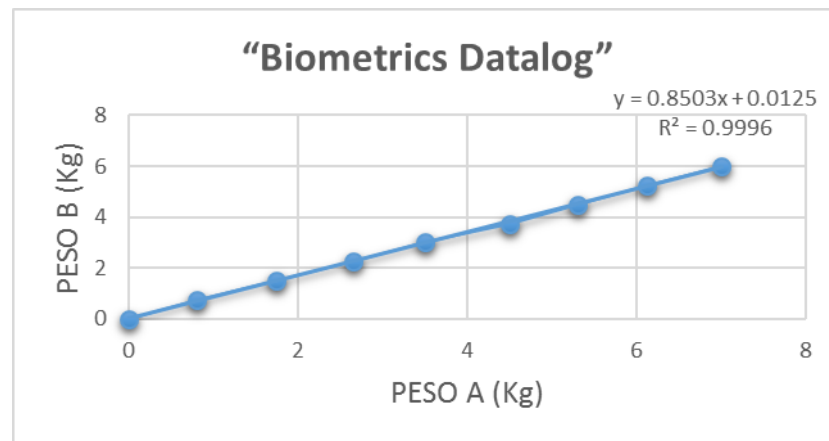


Figura 95. Regresión lineal peso A vs peso B



Se realizó una regresión lineal para obtener su ecuación característica y se observó que tiene una correlación del 99,96%, la cual es aceptable al momento de hacer la medición con el dispositivo diseñado.

Para la solución de la regresión lineal, hecha en Excel, se empleó el método por mínimos cuadrados, dando un conjunto de pares ordenados: variable independiente y variable dependiente. Se encontró la función continua dentro de dichas variables, que se ajustan a los datos.

Donde la función encontrada se expresa mediante la siguiente expresión:

$$Y = Ax + B$$

Donde A es la pendiente de los datos analizados y B es el corte en el eje de las ordenadas. A continuación, se presentan las ecuaciones usadas:

$$a = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad b = \frac{(\sum y_i) - a(\sum x_i)}{n}$$

Donde n representa el número de medidas. También se usó el coeficiente de correlación. El coeficiente de correlación, era otro parámetro para el estudio de una distribución bidimensional, que indicaba el grado de dependencia entre las variables X e Y. El coeficiente de correlación r es un número que se obtuvo mediante la fórmula:

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2][n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2]}}$$

Los pesos usados en la prueba fueron los siguientes: 0.750kg, 1.5 kg, 2,25 kg, 3 kg, 3,75 kg, 4,5 kg, 5,25 kg, 6 kg.

El sensor utilizado en Mofin tiene un rango máximo de 25 lb, aproximadamente 11 kg. Para este caso, no fue necesario suministrar más peso ya que en las pruebas realizadas la presión del dedo no sobrepasa este umbral.

El siguiente paso fue realizar el montaje de pesos con el sistema de prueba (Mofin); para ello se realizó la prueba con cada uno de los 5 sensores, ya que por defectos de fabricación, sus valores varían significativamente.

A continuación se presenta la entrada en voltaje versus su salida en Kg.

Figura 96. Montaje peso sensor 1

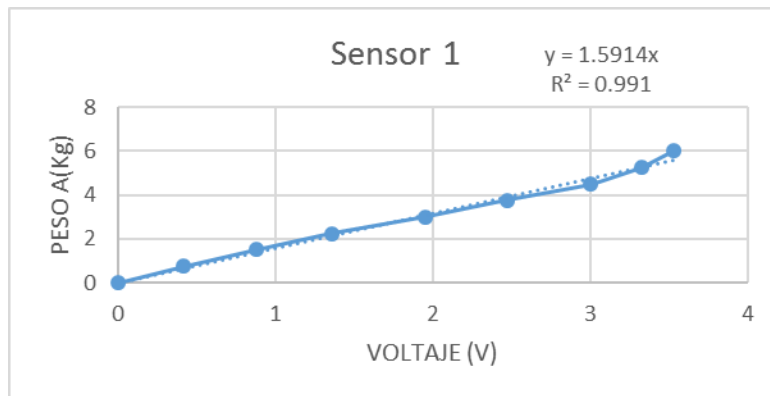


Figura 97. Montaje peso sensor 2

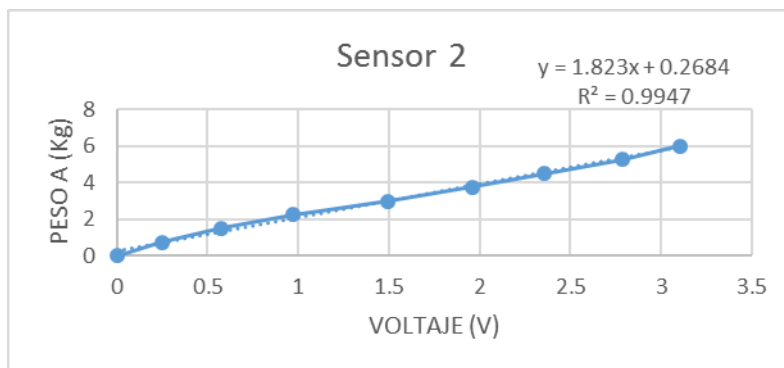


Figura 98. Montaje peso sensor 3

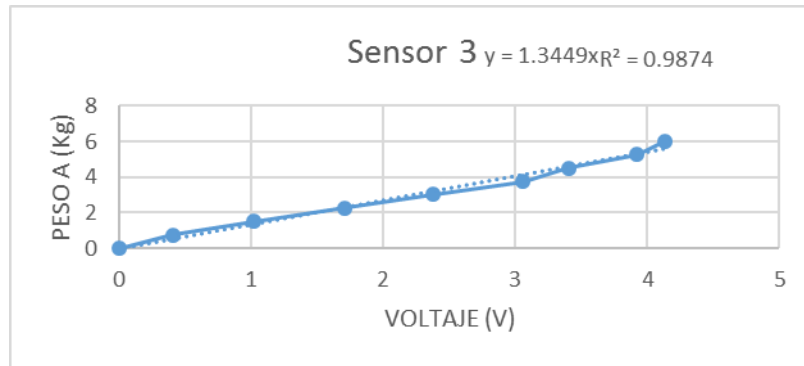


Figura 99. Montaje peso sensor 4

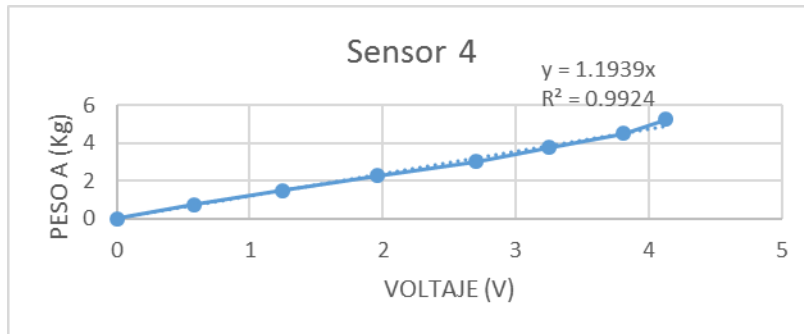
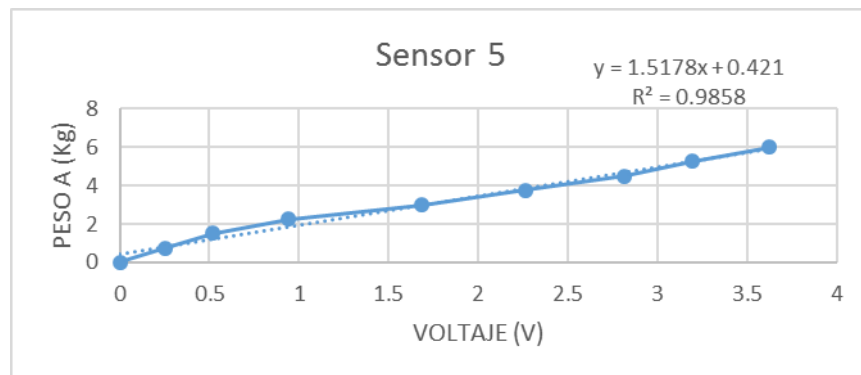


Figura 100. Montaje peso sensor 5



Luego de realizar las regresiones, se observó que los 5 sensores tuvieron una correlación mayor al 90%. Esto asegura que la prueba es fiable, ya que como se mencionó anteriormente las pruebas realizadas no arrojaban una regresión completamente lineal.

Luego de tener los sensores “calibrados”, se compararon los sistemas para corroborar que los valores del dispositivo “DataLog MWX8” y los valores del dispositivo Mofin se ajustaban a una medida real.

Las dos entradas de los sistemas, se evaluaron con los mismos pesos, arrojando cada uno de ellos, una salida correspondiente. Por último, se tomaron los pesos de salida (Peso B) del sistema “DataLog MWX8” reemplazándolos por los pesos de entrada del sistema Mofin, obteniendo las siguientes regresiones lineales. De esta forma, se aseguraron datos muy cercanos a los arrojados con el sistema “DataLog MWX8”. En la figura 101 se pudo demostrar el esquema de entrada y salida⁸⁸.

Figura 101. Esquema entrada y salida



⁸⁸ Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Nota: Las últimas gráficas en el eje de las ordenadas estuvieron expresadas en unidad de libras.

Figura 102. Peso B vs voltaje sensor 1

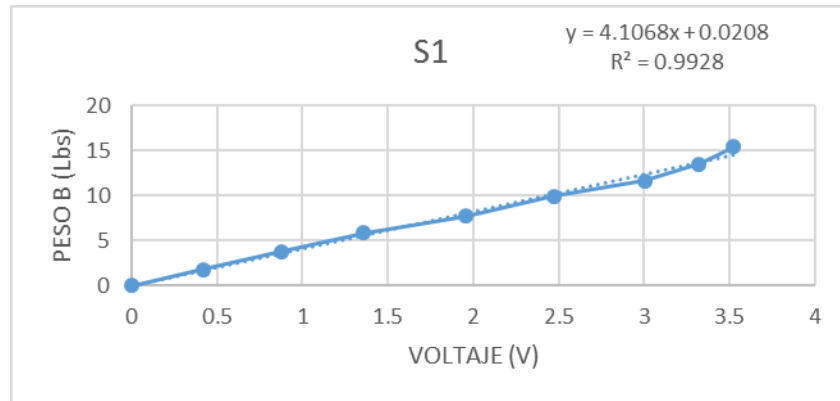


Figura 103. Peso B vs voltaje sensor 2

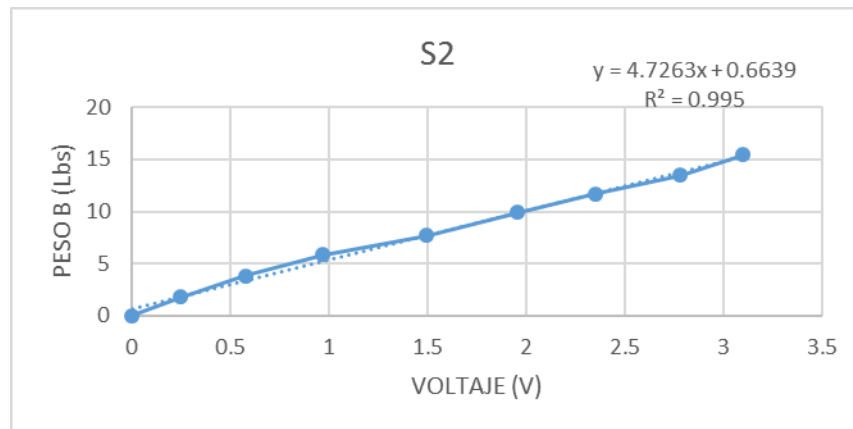


Figura 104. Peso B vs voltaje sensor 3

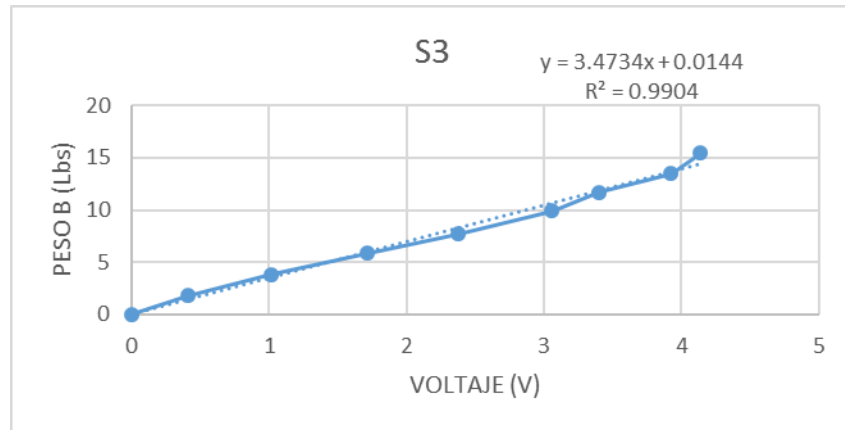


Figura 105. Peso B vs voltaje sensor 4

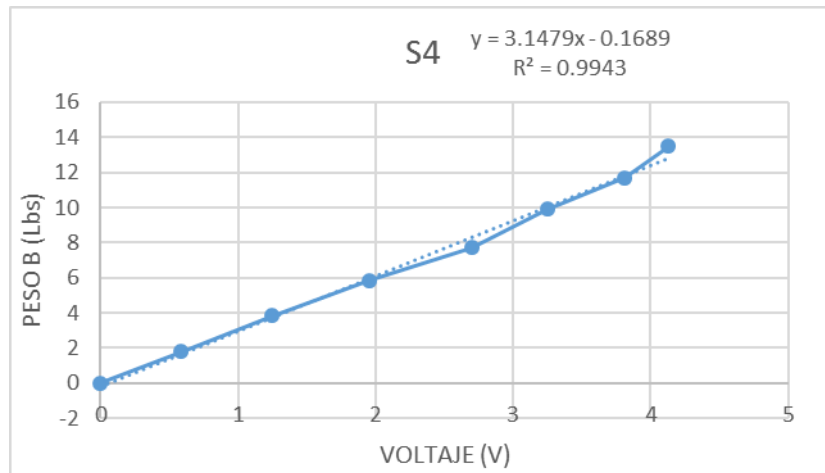
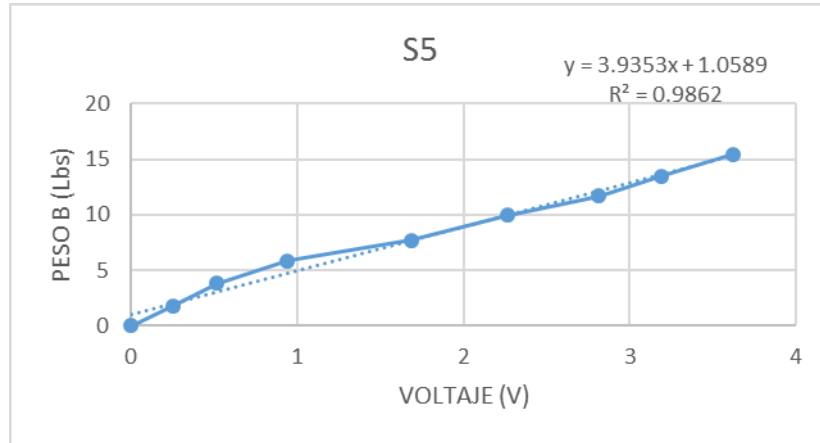


Figura 106. Peso B vs voltaje sensor 5



Estas últimas ecuaciones fueron, las que se implementaron en el dispositivo Mofin y sus salidas estaban en los rangos de salida del sistema “DataLog MWX8”⁸⁹. Generando una igualdad o similitud de datos. Como validación se pudo observar que los 5 sensores tenían una correlación mayor al 90%.

8.3 ANÁLISIS COMPARATIVO MÉTODO DE VARIANZA

Para validar el dispositivo fue necesario llevar a cabo un método de comparación, que constó en determinar si existía diferencia alguna entre dos distribuciones de datos. El método empleado fue el ANOVA (análisis de varianza), sugerido por expertos en el área de estadística de las escuelas de ingeniería electrónica y matemáticas, entre otras. De esta forma, se compararon los dos sistemas, analizando sus salidas y determinar si existían o no diferencias entre las medidas a las cuales fueron sometidas.

⁸⁹ Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Resultados: Ver capítulo de resultados

Para que la prueba ANOVA se llevará a cabo se debió cumplir con las siguientes características:

- a.** Los grupos debían ser independientes.
- b.** La variable dependiente debía estar en un nivel de medida de intervalo.
- c.** La distribución de las variables debía ser normal.
- d.** Presencia de homoelasticidad.

La condición A se cumplió ya que las muestras eran totalmente independientes, dado que los dos sistemas no dependían uno del otro.

La condición B se cumplió ya que cada prueba se hizo con un determinado dedo y observando la recolecta de datos, a cada dedo se le atribuyó un rango de fuerza; este rango dependía del paciente que tanta fuerza pudiera ejercer, desplazando el intervalo teniendo una tendencia en un valor inicial a un valor final.

La condición C se cumplió ya que las distribuciones de cada dedo presentaban en cierta forma, el comportamiento de una curva normal o campana de gauss. Presentando una mayor tendencia de datos en el centro y una dispersión de datos, en los extremos. Es de aclarar que las curvas normales no tenían un parecido a la curva normal ideal, ya que los datos que se obtuvieron son aleatorios y existe una ligera modificación en los datos obtenidos; debido al método de calibración empleado, ya que no fue el más sofisticado para generar una relación de datos correspondientes al de la curva normal, pero aun así se pudo evidenciar que las gráficas presentadas tenían un ligero parecido al comportamiento y por sugerencia de los expertos se dice que fueron válidos para los datos muestreados.

La condición D se cumplió ya que existió una varianza común entre los datos; es decir, que existieron similitudes entre los datos analizados.

8.3.1 Análisis de distribuciones normales. Para un posterior análisis de los datos adquiridos y como método de comparación entre ambos sistemas, se usó la distribución normal también llamada distribución gaussiana. Su importancia se debe fundamentalmente, a la frecuencia con la que distintas variables asociadas a fenómenos naturales y cotidianos siguen aproximadamente.

Para realizar una distribución normal se debía tener conocimiento de las siguientes especificaciones:

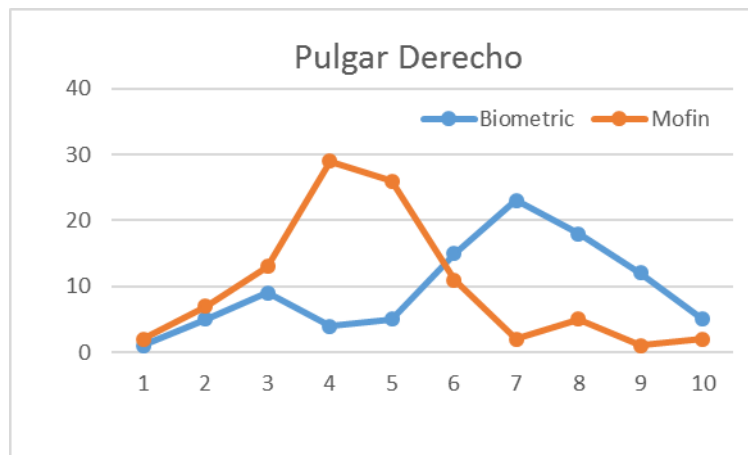
1. Encontrar en cada grafica que contara con la forma simétrica de una curva de campana. Donde en el centro debía estar la mayor concentración de datos. Los extremos izquierdo y derecho serían donde se encontrase la menor concentración de datos.
2. Para realizar la curva de gauss, se tomó como punto de partida un total de 100 muestras, con el objetivo de generar una mejor aproximación.
3. El área bajo la curva, tiene un área igual a 1, que equivalían a los 100 datos de muestras.

8.3.1.1 Método de análisis de las distribuciones normales

1. Se sobrepusieron las dos distribuciones normales, teniendo en cuenta que el eje de las abscisas, correspondía a 10 intervalos que son equivalentes a la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo sobre 10. Por lo cual, las dos distribuciones no estaban centradas y estaban ligeramente desfasadas entre sí.
2. Se aseguró que ambas distribuciones, tuvieran un comportamiento normal.

3. Se identificó la zona central con mayor tendencia de valores que estuvieran por encima de un 68% y se calculó la media, siendo el pico de la distribución normal.
4. Las zonas de los extremos (superior e inferior), analizar el rango y porcentaje en la cual se encontraban.
5. Por último, se procedió a analizar las dos distribuciones.

Figura 107. Distribución normal pulgar derecho



"Biometrics Datalog"		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[1,83 2,58]	27,0%
Central	[2,58 3,18]	68,0%
Lateral Derecho	[3,18 3,33]	5,0%
	Total	100,0%
Media	3,03	

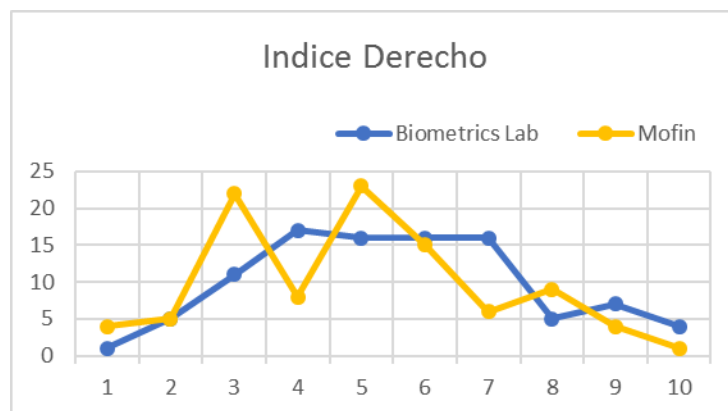
Mofin		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[1,25 1,69]	11,0%
Central	[1,69 2,58]	79,0%
Lateral Derecho	[2,58 3,46]	10,0%
	Total	100,0%
Media	2,13	

OBSERVACIONES

Se observó que las distribuciones presentaban un comportamiento normal. Los picos o medias de cada distribución se encontraban a una diferencia de 0.9 kg.

La distribución de “DataLog MWX8” tuvo un comportamiento más a la derecha, ubicando un 73,0% de sus valores en este extremo y un restante del 27% en la zona lateral izquierda. La distribución de Mofin tuvo un comportamiento inverso, ubicando un 90,0% de sus valores en la zona lateral izquierda y un 10,0% restante en la zona lateral derecha⁹⁰.

Figura 108. Distribución normal índice derecho



⁹⁰ Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Mofin		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[1,69 2,04]	9,0%
Central	[2,04 2,74];	68,0%
Lateral Derecho	[2,74 3,44]	23,0%
	Total	100%
Media	2,57	

"Biometrics Datalog"		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[2,28 2,594]	8,0%
Central	[2,594 3,379]	76,0%
Lateral Derecho	[3,379 3,85]	16,0%
	Total	100%
Media	2,908	

OBSE

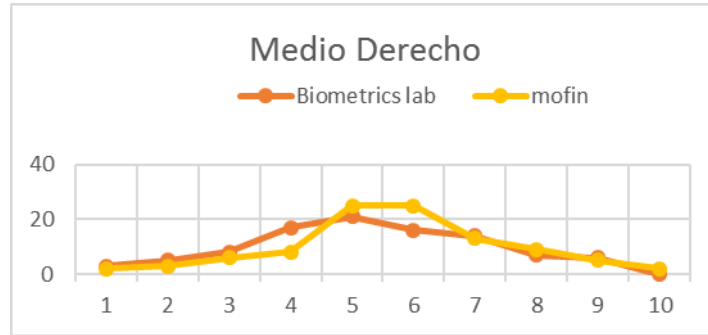
RVACIONES

En la distribución de Mofin, se pudo apreciar un extraño efecto donde se tuvo dos tendencias de curvas centrales, no muy comunes en estos casos. Los picos de ambas distribuciones estaban en una diferencia de 0.338 kg.

La distribución de Mofin presentaba un 91% de datos ubicados a la derecha de la distribución normal y un restante de 9% en la zona lateral izquierda. La distribución de "Biometrics Datalog" tenía un comportamiento más uniforme en comparación con la distribución de Mofin, ya que la zona central tuvo un rango de 0.785 kg con un porcentaje de 76% de datos, tendiente a tener un comportamiento a la campana ideal de gauss. Y unos restantes 8 y 16% en la banda lateral izquierda y derecha correspondiente⁹¹.

⁹¹ Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Figura 109. Distribución normal medio derecho



Mofin		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[1,47 1,93]	8,0%
Central	[1,93 2,62]	76,0%
Lateral Derecho	[2,62 3,11]	16,0%
	Total	100%
Media	2.37	

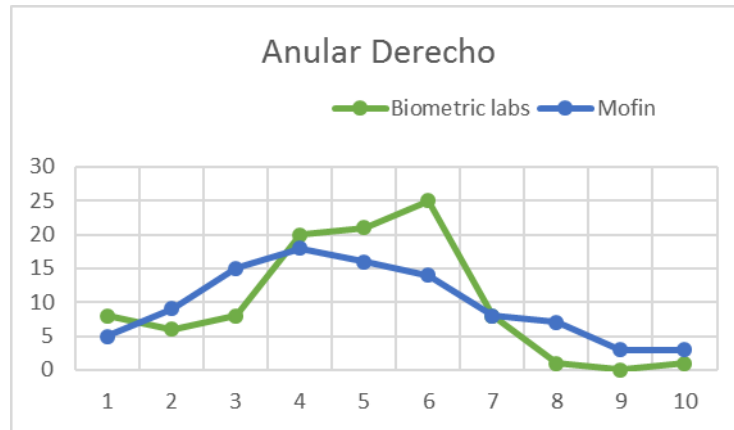
"Biometrics Datalog"		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[1,91 2,47]	16,0%
Central	[2,47 3,22]	68,0%
Lateral Derecho	[3,22 3,78]	16,0%
	Total	100%
Media	2,755	

**OBS
ERVA
CION
ES**
Se

pudo observar en esta gráfica que las dos distribuciones tenían una semejanza en el comportamiento, sus zonas centrales estaban casi una debajo de la otra. Cabe resaltar que la distribución de "DataLog MWX8", presentaba un porcentaje perfecto en las zonas, sugerido por distintas curvas de distribución normal, donde la zona central se contaba con un total de datos del 68% y en sus extremos, el equivalente de 16%, generando en teoría un comportamiento "ideal".

El comportamiento de la distribución de Mofin, se asemejaba en un alto grado a la distribución de "DataLog MWX8", presentando en su zona central un porcentaje del 76%, en la zona izquierda un 8% y en la zona derecha un 16%.

Figura 110. Distribución normal anular derecho



Mofin		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[1,06 1,32]	14,0%
Central	[1,32 1,96]	71,0%
Lateral Derecho	[1,96 2,09]	15,0%
	Total	100%
Media	1,515	

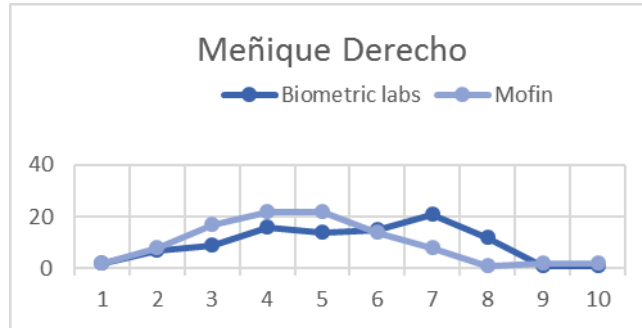
"Biometrics Datalog"		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[1,23 1,85]	22,0%
Central	[1,85 2,67]	74,0%
Lateral Derecho	[2,67 3,28]	4,0%
	Total	100%
Media	2,155	

OBSERVACIONES

La distribución de Mofin presentaba un comportamiento uniforme y mejor distribuido en comparación con el de "DataLog MWX8", que presentaba la mayor tendencia de sus valores en la zona izquierda media.

La curva de Mofin presentó una relación de porcentajes, teniendo una tendencia central de datos del 71% y en sus extremos izquierdo y derecho 14% y 15%, respectivamente y teniendo un comportamiento muy parecido al binomial. A diferencia de la distribución presentada por "DataLog MWX8", que presentó una zona central del 74% y la zona izquierda un 22%, dejando solo un 4% en la zona derecha y tendiendo a una curva con el mayor porcentaje de datos, al semiplano izquierdo.

Figura 111. Distribución normal meñique derecho



Mofin		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[0,86 1,05]	12,0%
Central	[1,05 1,44]	75,0%
Lateral Derecho	[1,44 1,82]	13,0%
	Total	100%
Media	1,245	

"Biometrics Datalog"		
Zona	Rango (Kg)	Porcentaje
Lateral Izquierdo	[1,17 1,52]	20,0%
Central	[1,52 2,1]	78,0%
Lateral Derecho	[2,1 2,33]	2,0%
	Total	100%
Media	1,81	

OBSERVA

CIONES

La tendencia de datos en Mofin presentó un comportamiento casi ideal, ya que su zona central tenía un porcentaje del 75% y en sus extremos distribuidos, un 12% y 13%.

CONCLUSIONES DISTRIBUCIONES NORMALES

- Se observó que en la mayoría de distribuciones presentaban una tendencia central exacta del 68%, sugerida como método de análisis.
- El rango de fuerzas del dispositivo Mofin en la mayoría de casos tendia a estar por debajo del rango de valores, obtenidos por el dispositivo de "DataLog MWX8"⁹².

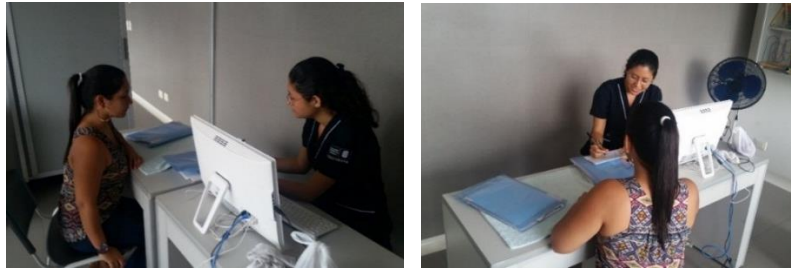
⁹² Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

9. RESULTADOS

9.1 RESULTADOS ENTREVISTAS DATOS SIN PROCESAR

A continuación, se presentan los datos tabulados para cada una de las preguntas realizadas en las entrevistas y con base en esto, se definieron las necesidades que determinaron los requerimientos en el desarrollo del proyecto.

Figura 112. Usuario Primario



1. Indique cuantas veces al día realiza sesiones de terapias del miembro superior, especialmente mano. Los resultados se muestran en la figura 113.

Figura 113. Terapias realizadas al día

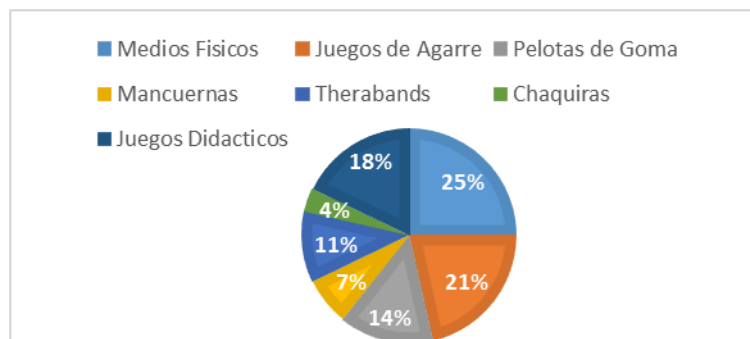


De acuerdo a los usuarios entrevistados, el número de pacientes que se atienden por día, depende de la demanda que existe en el momento. Generalmente por cada fisioterapeuta, se tiene una mayor participación de pacientes entre 1 y 5, le sigue entre 6 a 10 por día. Casos en los cuales se atienden más de 11 pacientes, indica una alta demanda según las personas entrevistadas.

2. Que tipos de herramientas utiliza en las terapias de rehabilitación del miembro superior.

Los resultados se muestran en la figura 114.

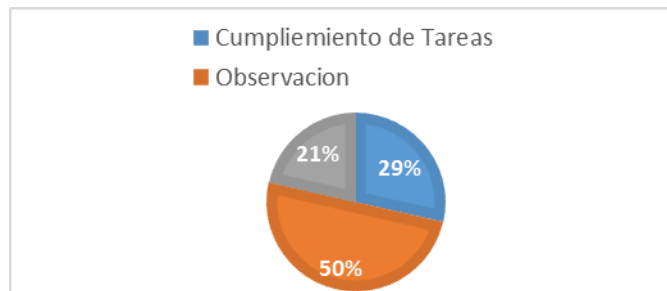
Figura 114. Herramientas usadas



De acuerdo a los usuarios entrevistados, existen gran variedad de herramientas usadas en la rehabilitación, ya que se clasifican en diferentes categorías, donde la realización de la terapia depende de las patologías existentes.

3. De qué manera evalúa la evolución del paciente. Los resultados se muestran en la figura 115.

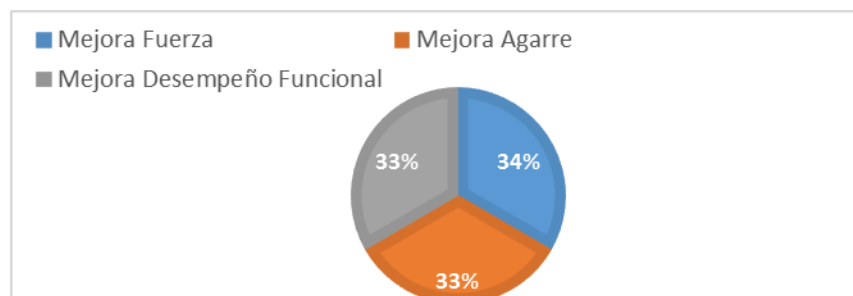
Figura 115. Evaluación del paciente



De acuerdo a los usuarios entrevistados, el método más usado es la observación del desarrollo de las actividades, ya que mediante esta metodología se puede evaluar que, tanto el paciente ha cumplido sus tareas o que tan bien ha realizado los ejercicios.

4. Como determina que el paciente se ha recuperado de manera satisfactoria. Los resultados se muestran en la figura 116.

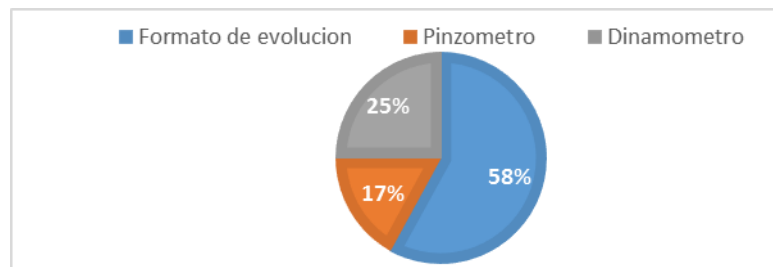
Figura 116. Evaluación de recuperación



De acuerdo a los usuarios entrevistados, la forma de evaluar la recuperación satisfactoria del paciente, consiste en realizar actividades específicas como el desarrollo de tareas cotidianas, las cuales involucran el uso de fuerza y agarre que se ve reflejado en el desempeño funcional del miembro superior del paciente.

5. Utiliza algún elemento o herramienta para el control o seguimiento del paciente en la terapia de rehabilitación. Los resultados se muestran en la figura 117.

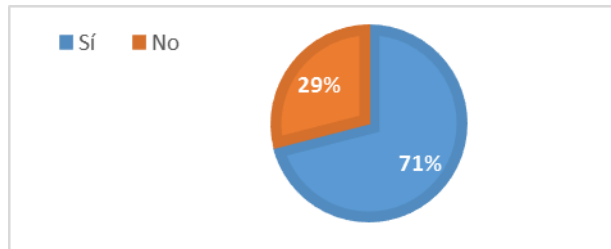
Figura 117. Herramienta para control



De acuerdo a los usuarios entrevistados, los formatos de control diario es el método más utilizado, el cual da una idea inicial y final de la evolución; igualmente se implementan las herramientas como el pinzómetro y dinamómetro de manera menos frecuente.

6. Considera necesario cuantificar la fuerza de los dedos por separado en las terapias de rehabilitación del miembro superior, especialmente mano. Los resultados se muestran en la figura 118

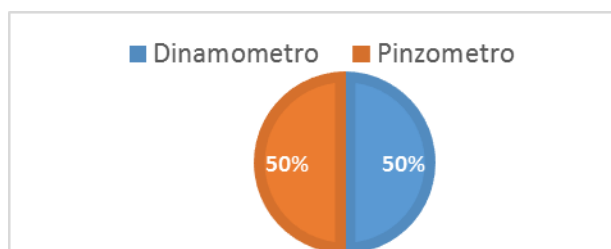
Figura 118. Importancia cuantificación fuerza



Los fisioterapeutas entrevistados, opinaron sobre la importancia de contar con una herramienta que cuantificara la fuerza de los dedos en los pacientes por separado, ya que ellos lo determinan por medio de la observación y tareas cumplidas. Al contar con una herramienta que mida la fuerza, podrían tener un seguimiento más preciso de la evolución de la terapia. Es importante resaltar que la terapia se puede realizar sin tomar datos; pero para el avance de los pacientes es necesario tener un método que cuantifique la evolución.

7. Conoce algún dispositivo o herramienta que cuantifique la fuerza de los dedos o similares. Los resultados se muestran en la figura 119

Figura 119. Herramienta de cuantificación



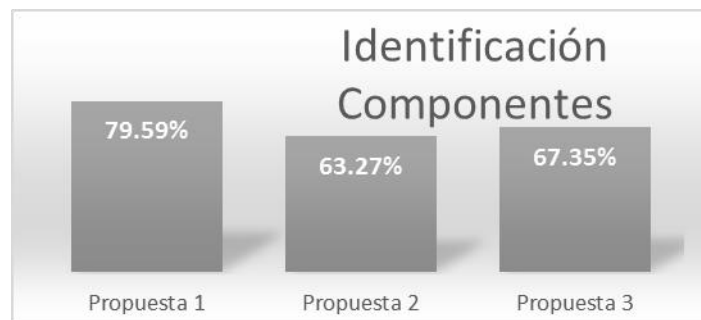
De acuerdo a los usuarios entrevistados, en los centros de rehabilitación utilizan las herramientas más comunes como son el pinzometro y dinamómetro para medir la fuerza del miembro superior; su utilización depende de las patologías a tratar y el objetivo que se quiera cumplir con la medición.

9.2 RESULTADOS SELECCIÓN FORMAL DE CARCASA

9.2.1 Análisis de resultados selección formal de carcasa. Se entrevistaron 7 usuarios primarios (Fisioterapeutas), donde se promedió los resultados de cada propuesta en cada una de las 3 preguntas mostradas a continuación.

1. A la pregunta: Identifique si los componentes que hacen parte de cada carcasa son de fácil ubicación. Los resultados se muestran en la figura 120

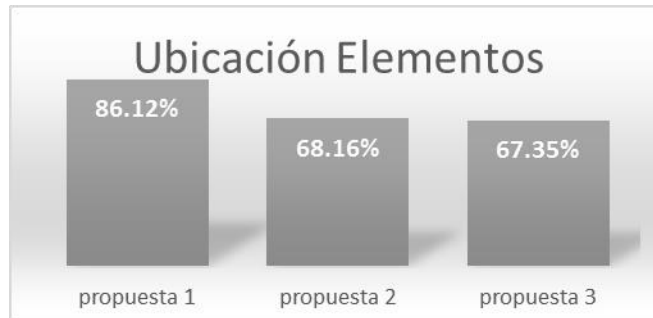
Figura 120. Identificación de componentes



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 120 se pudo observar que en el modelo 1, los componentes se identificaron con mayor facilidad. De igual manera, algunos usuarios recomendaron darle mayor campo visual a los elementos como la conexión del cable o el encendido.

2. A la pregunta: Evalúe por medio de una escala, la ubicación de cada componente. Los resultados se muestran en la figura 121

Figura 121. Ubicación de elementos



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 121 se pudo observar que el modelo 1, presentó una mejor distribución de los elementos ya que presentan una ubicación adecuada para su uso.

3. A la pregunta: A continuación, se le mostrarán una serie de calificativos que deberá asignar a cada modelo. Los resultados se muestran en la figura 122

Figura 122. Evaluación de calificativos



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 122 se pudo observar que el modelo 1, tuvo mayor aceptación por parte de los usuarios, teniendo en cuenta la manipulación de cada modelo presentado en la prueba.

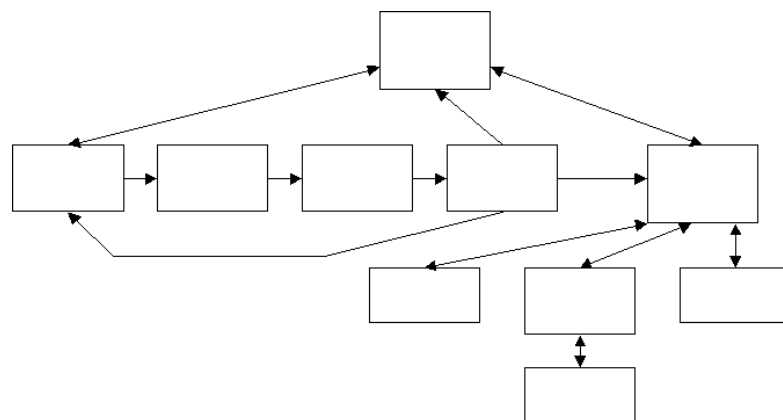
9.3 RESULTADOS WIREFRAME

9.3.1 Análisis de resultados Wireframe. La evaluación del wireframe, se realizó de la siguiente manera.

Se presentaron al usuario las 3 alternativas de la estructura del wireframe. en las cuales cada ventana estuvo estructurada por un modelo de capas; donde el menú fue ubicado en una capa superior y la ventana de juego en las capas inferiores. Todo esto con el objetivo que el usuario entendiera las formas de navegación.

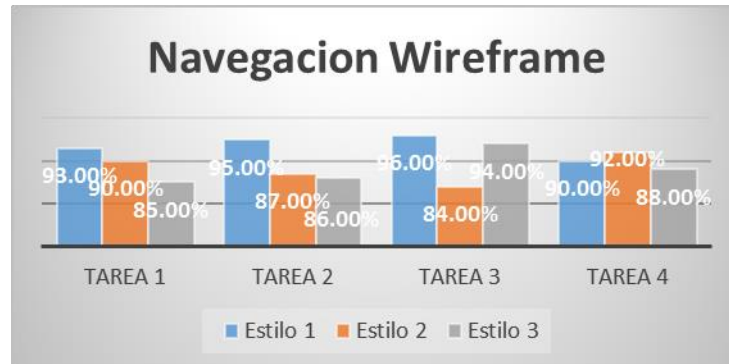
Se evaluaron 2 aspectos importantes como el diseño y el ordenamiento de cada ventana

Figura 123. Modelo de capas



1. Identifique cuál de las alternativas del wireframe presenta una fácil navegación de acuerdo a la tarea propuesta. Siendo 5 la mayor calificación y 1 la menor calificación

Figura 124. Navegación wireframe



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, la alternativa 1 tuvo el mayor porcentaje de aceptación ya que permitió desplazarse a lo largo de las diferentes ventanas, teniendo facilidad en la navegación. El tiempo para realizar la tarea se desarrolló de manera continua, permitiendo una mayor comprensión por parte del usuario.

2. Indique cual alternativa del wireframe presenta un mejor diseño de ventana, teniendo en cuenta tamaño y disposición de los elementos que la conforman. Siendo 5 la mayor calificación y 1 la menor.

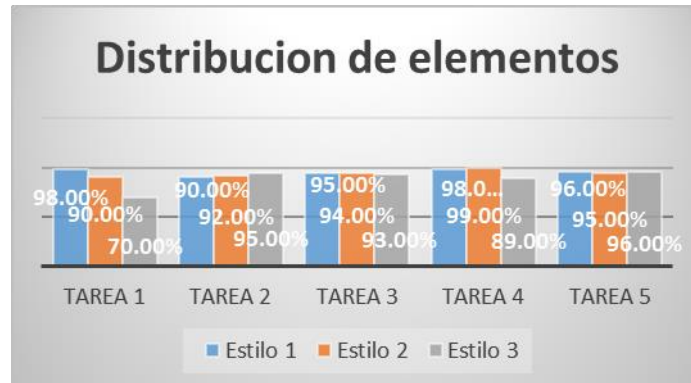
Figura 125. Diseño de ventana wireframe



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, indicaron que las tres alternativas tenían un buen diseño, ya que los elementos y su distribución no generaban ningún tipo de confusión; de igual forma, los usuarios se inclinaron por los elementos de mayor tamaño y por tanto recomendaron incluirlos en las ventanas.

3. De las alternativas del wireframe, indique cual presenta mejor distribución de los elementos que conforman las ventanas. Siendo 5 la mayor calificación y 1 la menor calificación.

Figura 126. Distribución elementos wireframe



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, los 3 estilos presentaron un buen manejo de distribución, por lo cual se escogieron las ventanas de cada estilo, que presentaron una mejor ubicación de elementos y presentarlos así, en un diseño final de wireframe.

El factor que marcó la diferencia en la selección de la wireframe fue la navegación, el modo en el cual el usuario encontró las tareas de una forma más sencilla. Por tanto, se recomendó utilizar la navegación de la alternativa uno, utilizando características de las 3 wireframes.

9.4 RESULTADOS INTERACCIÓN INTERFAZ GRAFICA

9.4.1 Valoración de la interfaz gráfica. Tarea 1: Realizar una terapia a un paciente que inicia y requiere retomar fuerza en los dedos.

Figura 127. Número de intentos ejercicios activos



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, el método de evaluación consistió en contabilizar, cuántos intentos llevó a cada usuario a completar la tarea.

La interfaz cuenta con botones de accionamiento visibles; por tanto no se encontraron dificultades para interactuar con el sistema y el buen desarrollo de las actividades. La implementación de los ejercicios en una terapia de rehabilitación a través del dispositivo, permitieron visualizar los resultados de la coordinación visomotora. Se promedió el número de intentos de todos los usuarios. Cabe resaltar que en algunos casos, se tuvo que redondear la respuesta.

Tarea 2: Realizar medición de fuerza de los dedos a un paciente para registrar su evolución

Figura 128. Número de Intentos Fuerza



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, la aplicación de la toma de fuerza en una sesión de terapia de rehabilitación fue sencilla, ya que se desarrolló de manera rápida y fácil, permitiéndole al fisioterapeuta tomar valores a través de la pantalla de visualización de fuerza y conocer el estado del paciente.

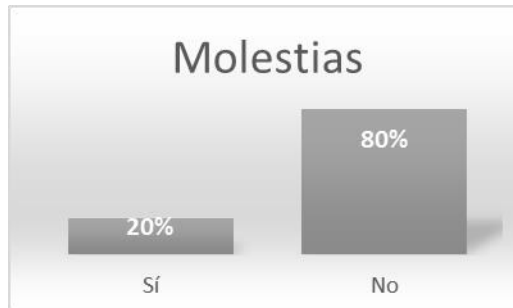
9.5 RESULTADOS INTERACCIÓN CON EL DISPOSITIVO

9.5.1 Análisis de resultados interacción con el dispositivo

a. A continuación, se muestran los resultados de la prueba realizada para la valoración del modelo funcional. Ver Anexo G

1. ¿Algún elemento que conforma el dispositivo le generó molestia al paciente para realizar la tarea propuesta en la terapia de rehabilitación?

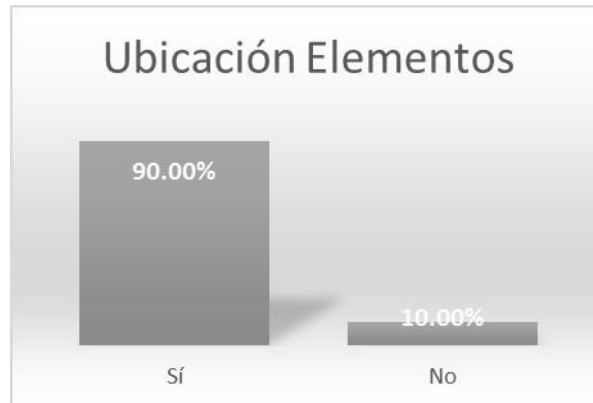
Figura 129. Molestias



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 129, los usuarios encontraron que el dispositivo no les generaba molestias. Recomendaron tener en cuenta él apoya muñecas, más fijo.

2. ¿Los elementos que conforman el dispositivo se encuentran bien ubicados e integrados a la carcasa principal?

Figura 130. Ubicación elementos



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 130, los usuarios encontraron que los elementos se encontraban bien ubicados e integrados a la carcasa principal. Recomendaron, la corrección del elemento que sostiene la pantalla.

3. ¿El dispositivo permite acomodar el miembro superior al paciente de acuerdo a las necesidades para realizar la terapia con normalidad?

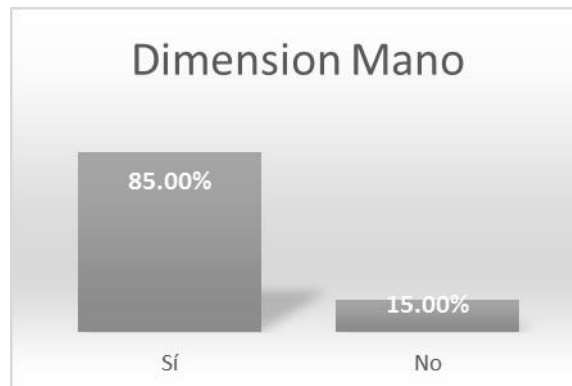
Figura 131. Acomodar miembro superior



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 131, los usuarios encontraron que el dispositivo permitió acomodarse a las necesidades que cada paciente tenía, dependiendo de la patología o necesidad.

4. ¿La dimensión donde descansa la mano y el brazo es adecuada para realizar los ejercicios propuestos?

Figura 132. Dimensión mano



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 132, los usuarios encontraron que la dimensión donde descansa la mano es adecuada, pero era importante tener en cuenta posibles aumentos en la parte inferior, teniendo en cuenta pacientes con manos o brazos más grandes.

5. ¿El tamaño del dispositivo permite el ajuste a la talla de su mano?

Figura 133. Dimensión dispositivo



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 133, los usuarios encontraron que el dispositivo permitió realizar la terapia correctamente, ya que se presentó con las posibilidades para acomodar el miembro superior. Los ejercicios activos propuestos se realizaron de manera satisfactoria.

6. ¿La señal lumínica es visible para realizar los ejercicios propuestos?

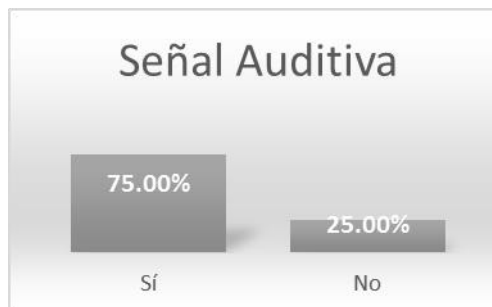
Figura 134. Señal lumínica



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 134, los usuarios encontraron que la señal lumínica estaba bien ubicada, pero se recomienda utilizar luces que tengan mayor intensidad.

7. ¿Las señales auditivas son claras y fuertes?

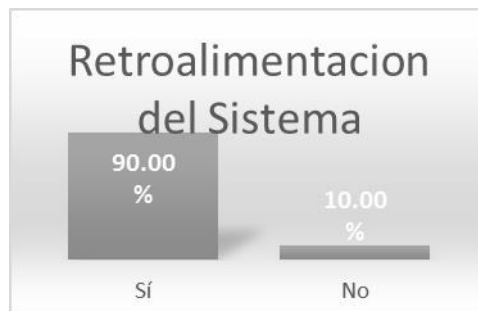
Figura 135. Señal auditiva



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados en la figura 135, los usuarios encontraron que los sonidos estaban acordes con cada actividad que se realizaba en el dispositivo, igualmente recomendaron que la intensidad del sonido fuera graduable.

8. ¿La retroalimentación del sistema confirma la acción realizada?

Figura 136. Retroalimentación del sistema



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 136, los usuarios encontraron que la retroalimentación del dispositivo era correcta, ya que las pausas de tiempo eran adecuadas.

9. ¿Los mandos de manipulación de la interfaz gráfica realizan las acciones de manera correcta?

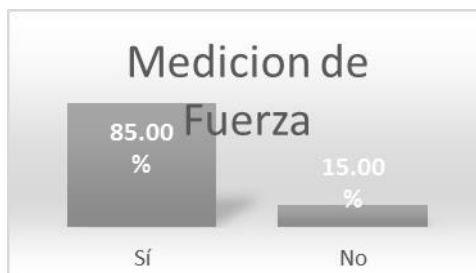
Figura 137. Visualización pantalla



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 137, los usuarios encontraron que los íconos, colores y elementos que la conforman, permitieron buena manipulación e interacción, desarrollando correctamente las tareas propuestas.

10. ¿Al presionar el pulsador para medir la fuerza, la información que brinda el dispositivo permite comprender el valor de la fuerza ejercida?

Figura 138. Medición de fuerza



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 138, los usuarios encontraron que la medición de la fuerza se puede realizar de manera clara, ya que la visualización de la medida es inmediata.

11. ¿Con qué frecuencia utilizaría el dispositivo para realizar las sesiones de terapias?

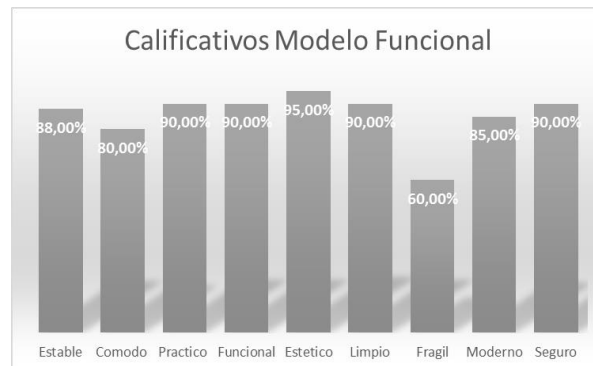
Figura 139. Implementación del dispositivo



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 139, los usuarios encontraron que el dispositivo era una herramienta que ayudaba al seguimiento de la sesión de terapia y estado del paciente, ya que se tiene un valor real de la fuerza del paciente.

12. ¿Evalúe el modelo funcional de acuerdo a los calificativos mostrados a continuación?

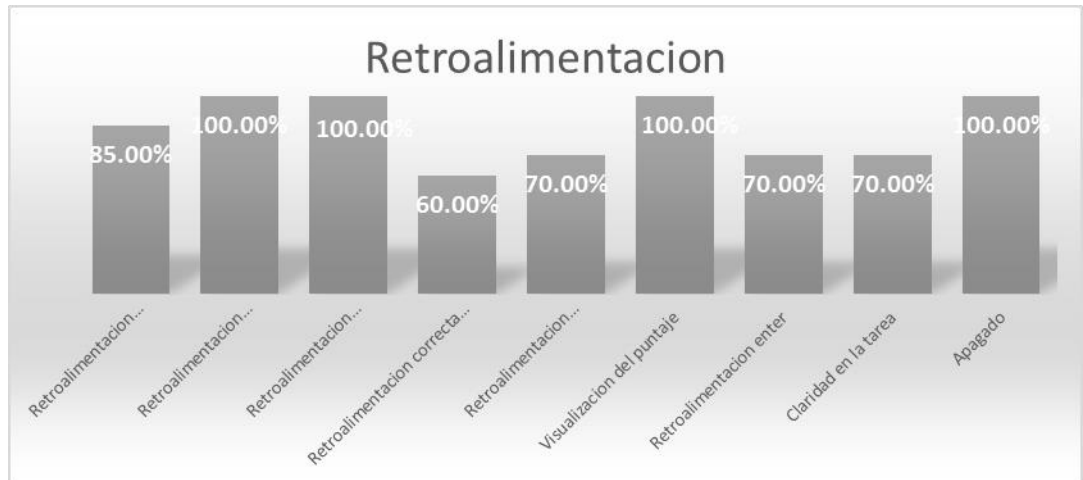
Figura 140. Calificativos modelo funcional



b. A continuación se muestran los resultados de la prueba realizada para la valoración de retroalimentación del modelo funcional. Ver Anexo H

Por favor realice una terapia de rehabilitación implementando el dispositivo diseñado. Seleccione la opción que considere apropiada para cada variable de acuerdo a la prueba realizada. Marque con un X si la retroalimentación del dispositivo fue clara en cada etapa.

Figura 141. Resultados retroalimentación



Conclusión: De acuerdo a los usuarios entrevistados, en la figura 91, los usuarios encontraron que el dispositivo presentaba buena retroalimentación, ya que realizaron la tarea de manera correcta y no generó confusión alguna, cuando se manipuló el dispositivo y la interfaz.

9.6 RESULTADOS MÉTODO ANOVA

Luego de usar la herramienta ANOVA de Excel, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 15. Resultados varianza dispositivo Mofin.

Prueba con $\alpha=0,05$				
Mano	Dedo	Valor F	Probabilidad	Valor crítico
Derecha	Pulgar	122,3099614	2,32369E-22	3,88983922
	Índice	138,737118	1,64943E-24	3,88983922
	Medio	99,0453151	4,10096E-19	3,88983922
	Anular	93,65165874	2,53139E-18	3,88983922
	Meñique	278,6692215	2,26669E-39	3,88983922

Prueba con $\alpha=0,05$				
Mano	Dedo	Valor F	Probabilidad	Valor crítico
Izquierda	Pulgar	177,1714938	3,83448E-29	3,88983922
	Índice	80,96950387	2,10849E-16	3,88983922
	Medio	21,36714108	6,9079E-06	3,88983922
	Anular	344,3680361	7,16716E-45	3,88983922
	Meñique	293,3777278	1,14827E-40	3,88983922

Existieron dos criterios para determinar que no había diferencias significativas, entre los datos comparados.

- 1) Que la probabilidad fuera mayor al nivel de confianza elegido ($P > 5\%$)
- 2) Que el valor F calculado fuera menor al valor crítico ($F < \text{valor crítico}$).

Estas dos condiciones se debían cumplir para que el ANOVA fuera válido; de otra forma, se podía proceder con la hipótesis alternativa. En la cual para este nivel de confianza, existían diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los dos grupos.

Posibles fuentes de error

Se identificaron posibles fuentes de error, que pudieran llevar a que las dos muestras grupales no tuvieran una tolerable similitud entre ambas.

1. El sistema de calibración no fuera el más óptimo.
2. Mejorar el trabajo en diseño de hardware.
3. Ruido como posible fuente de error en el sistema electrónico.
4. Tomará un grupo de muestras más significativo y acotará con los valores más indicados.

Conclusiones del método Anova

- El método empleado fuera argumento para verificar si los dos sistemas presentaban alguna similitud. Se pudo apreciar que el nivel de confianza fuera del 95%. Lo cual cumplió con los criterios esperados en similitud de estos dispositivos.
- Según lo sugerido por los expertos, al no cumplirse el método implantado no quería decir, que el dispositivo no cumpliera con sus funciones propuestas, ni que los valores que estaba arrojando no se asemejaban en nada a lo esperado. Se podría hacer un análisis más detallado de fuentes de error.
- Vale recordar que el sistema patrón, es un sistema que cuenta con más estudio de ingeniería y está avaluado por normal que lo hacen un dispositivo fiable en el campo de adquisición de señales biomédicas; lo que hace al dispositivo Mofin una versión inicial de pruebas, pero totalmente funcional para el objetivo por el cual fue diseñado.

10. CONCLUSIONES

- La evaluación previa en las etapas iniciales del proyecto, a través de la aproximación, permitió tener una clara visión de la problemática y de sus posibles soluciones, reconociendo y determinando los requerimientos del producto, contando con el apoyo de personal calificado como son, los profesionales de fisioterapia, expertos en el tema a tratar y así conocer las posibles fallas que se pudieran encontrar en el trabajo diario realizado.
- Con la aproximación inicial en los centros de rehabilitación, se identificaron necesidades y en el procesamiento de datos se encontró que, no contaban con un método de cuantificación de la evolución del paciente. De acuerdo con esto se propuso la creación de una herramienta que cumpliera con más de una especificación, como lo era la cuantificación de fuerza y coordinación visomotora integrada en un mismo dispositivo, debido a que en el mercado se encontraron dispositivos que realizaban solo una tarea específica.
- A partir de las necesidades encontradas se identificó y evaluó los requerimientos que sirvieron como inicio para el desarrollo de alternativas, y el diseño del concepto formal y funcional, donde se alojaron los componentes necesarios, teniendo en cuenta los métodos empleados para la realización de la sesión de terapia y las patologías encontradas, definiendo las especificaciones y elementos implementados en el prototipo final.
- La implementación de estímulos audiovisuales obtuvo una buena respuesta por parte de los usuarios, ya que la realización de la sesión de terapia se desarrolló de manera intuitiva permitiendo un mayor desempeño en el cumplimiento de los ejercicios propuestos, cuantificando la fuerza de los dedos por separado y la

coordinación visomotora a través del conteo de las rondas planteadas en cada uno de los tres ejercicios activos presentados en el dispositivo.

- Durante la etapa de comprobación, se hizo notable que en la implementación de estímulos audiovisuales, el dispositivo generaba una interacción más directa con el usuario, ya que realizaban los ejercicios de manera adecuada, ejerciendo la fuerza suficiente para la cuantificación individual en cada dedo, de igual manera se obtuvo la cuantificación de la coordinación visomotora, por medio de los resultados que aparecían al final de cada ronda de ejercicios.
- En la comprobación final se determinó la eficacia, donde los usuarios evaluaron el modelo funcional en el cual se observó, la aceptación por parte de ellos, ya que el dispositivo ayudaba a cuantificar la fuerza de los dedos por separado, y evaluar la coordinación visomotora a través de los ejercicios activos propuestos, lo cual permitía identificar la evolución y posibles lesiones presentadas en los pacientes
- Dentro de las pruebas técnicas, en el diseño de la interfaz, obtuvo una buena respuesta por parte de los usuarios, ya que no contó con operaciones complejas que pudieran confundirlos y se comprobó que la implementación del modelo lineal de capas la navegación fue práctica y entendible realizando las tareas propuestas en la menor cantidad de intentos.
- Se realizó la comparación entre el sistema de medición “DataLog MWX8”. y Mofin, para analizar la similitud entre estos dos dispositivos. Para ello, se calibró a Mofin con el sistema patrón - en este caso - “DataLog MWX8”., generó una regresión lineal con una correlación mayor al 98%. Este método de calibración se soportó con el método ANOVA, con un nivel de confianza del 95%. Para este

nivel de confianza, los resultados de la prueba indicaron que entre los dos dispositivos no existía una diferencia estadísticamente significativa.⁹³

⁹³ Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

11. RECOMENDACIONES

- En un posterior desarrollo del dispositivo, se propuso mejorar características del hardware, para mejorar el nivel de error del dispositivo y tuvieran una gran similitud, entre el dispositivo patrón usado como punto de referencia; ya que el hardware implementado, le falta acondicionar etapas de filtrado, para adquirir una señal más limpia y estable sin variaciones que alteran la medición de fuerza del dispositivo. Mejorarse el uso de energía permitiendo una autonomía en duración de la carga, para una mayor eficiencia.
- La pantalla Lcd Touch Screen utilizada, no contaba con las mejores herramientas para desarrollar un dispositivo médico en la parte visual, por lo cual se recomendó mirar opciones que permitieran tener una interfaz con mayor manejo de diseño.
- La carcasa como diseño inicial pretendió suplir las necesidades básicas del problema planteado. Para una posterior versión de diseño se planteó, reducir el peso y las dimensiones del dispositivo, haciéndolo más práctico a la hora de realizar las actividades propuestas.

BIBLIOGRAFÍA

AAMI, Association for the advancement of medical instrumentation. Human factors engineering guidelines and preferred practices for the design of medical devices. Universidad de California. 29 de Junio de 2011. Disponible en: <http://www.aami.org/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

ACEITUNO GÓMEZ J, XIMÉNEZ VERRESEN M. 2015, Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología. Elsevier España S.L. Disponible en: <http://goo.gl/pPyYb9>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Adecuación Señal. Disponible en: <https://www.tekscan.com/products-solutions/force-sensors/a301>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Análisis de la Geometría de la mano. Disponible en: <http://ibiblio.org/pub/Linux/docs/LuCaS/Manuales-LuCAS/doc-unixsec/unixsec-html/node120.html>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Barrido Visual del Usuario. Diseño e implementación del portal web de la FCV, Eugenio Sarmiento, Tesis de Grado

Bioseñales. Disponible en: http://es.slideshare.net/siderio_orion/01-bioseales-y-sensores.

CACHA, C. A. Ergonomics and Safety in Hand Tool Design. Chapter 6, Anthropometry of the hand. CRC Press INC, 1999.

Células de Carga. Disponible en: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-fuerza---C%C3%A9lulas-de-carga_69/. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Daniels, L. 1996. Pruebas funcionales musculares. 6 ed. Editorial: Marban Libros

Distribución de la inervación sensitiva. Disponible en: <http://www.arydol.es/anatomia-plexo-braquial.php>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Dorland B. Diccionario enciclopédico ilustrado de medicina (2 vols.). 30 ed. Madrid. Editorial: McGraw-Hill; 1992.

DRAKE, R. BOGL, W. MITCHELL, A. Gray, anatomía para estudiante. 1 ed. Madrid: Elsevier España S.A., 2005. 1034 p.

Ejercicio para las manos y dedos 2014. Washington, DC: Arthritis Foundation. Disponible en: <http://espanol.arthritis.org/espanol/ejercicio/ejercicios-acuaticos/ejercicios-acuaticos-ejemplos/ejemplos-ejercicios-acuaticos-jacuzzi/ejercicios-jacuzzi-manos/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Ejercicios de mano y muñeca. Disponible en: <https://traumatologiahellin.wordpress.com/ejercicios/ejercicios-de-mano-y-muneca/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Ejercicios de terapia ocupacional de coordinación entre la mano y la vista. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/ejercicios-terapia-ocupacional-coordinacion-mano-vista-lista_123476/. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

FARRER, F. MINYA, G. NIÑO, J. RUIZ, M. Manual de ergonomía. 2 ed. Madrid: Editorial Mapfre, 1997. 620 p.

FONT, J. MIR, X. Unidad de Patología de la Mano y Extremidad Superior. Barcelona: ICATME, S.L. Disponible en: <http://www.icatme.com/home.php?secc=4&idUnit=8&part=>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

FPGA. Disponible en: <http://www.xilinx.com/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

GEPS, 2005. Grupo de ergonomía, producto y significado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Diseño Industrial. Disponible en: <http://scienti.colciencias.gov.co:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=000000003569>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Información Accidentes Disponible en: http://www.clinicadeloccidente.com/ver_sala_prensa.php?id=39. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Instrumentación Biomédica. Disponible en: <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%201%20-%20introduccion%20a%20la%20instrumentacion.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Kendall's, F. 2016. Musculos: Pruebas, funciones y dolor postural. 5 ed. Editorial: Marban Libros

Kisner, C. y Allen, L. 2005. Ejercicio terapéutico. 1 ed. Editorial: Paidotribo

LEAL SERRA, V.M. GONZÁLEZ CASANOVA J.C. Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor. Capítulo 11. Biomecánica de la mano. Editado por Antonio Viladot Voegeli. Editorial Springer.p 181.

Manual Referencia Sensor. Disponible en: <https://www.tekscan.com/products-solutions/accessories/flexiforce-quickstart-board>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

MARIÑO CAMPOS, R. Diseño de páginas web y diseño gráfico. Metodología y técnicas de implementación de sitios web y para el diseño gráfico. Primera Edición. España. Ideas Propias Editorial. 2005. P 25

Measurements of Wrist and Finger Postures: A Comparison of Goniometric and Motion Capture Techniques. Disponible en: <http://www.humankinetics.com/acucustom/sitename/Documents/DocumentItem/6613.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Microcontrolador. Disponible en: <http://www.atmel.com/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

NIÑO CAMAZON, J. Sistemas operativos monopuesto. Informática y comunicaciones. Ediciones Editex. 2011. P 141.

Objetivos de la Terapia. Disponible en: http://terapiafisicaymasajes.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=22. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Palastanga, N. Field, D y Soames, R. 2000. Anatomía y movimiento humano. Estructura y funcionamiento. 3 ed. España. Editorial: Paidotribo

PANERO, J. ZELNIK, M. Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Estándares antropométricos. México, D.F. Editorial Gustavo Gili. 1984. p 116 – p 117.

Pantalla Táctil Disponible:
http://www.4dsystems.com.au/product/uLCD_43PT_AR/. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

PERRY, C. R. y ELSTROM, J. A. Manual de fracturas. Traducido por Dr. Jorge Alberto Mérito. 2 ed. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2001. 463 p.

Procesador. Disponible en: <http://www.arm.com/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Productos Biometrics datalog. Unidad receptora Biometrics Minidatalog. Disponible en:
<http://www.biomec.com.co/archivos///Catalogo%20general%20productos%20Biometrics%20Minidatalog%20164.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Protocolo Terapia Física. Disponible en:
<http://www.eselavirginia.gov.co/archivos/guias/protocolosterapiafisica.pdf>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Sensor Resistivo. Disponible en: <https://www.tekscan.com/product-group/embedded-sensing/force-sensors?tab=products-solutions>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Simons, D. Travell, J. y Simons, L. 2007. Dolor y disfunción miofacial. El manual de los puntos gatillo. 1 Vol. 2 ed. España. Editorial: Medica Panamericana

Sistema Adquisición Biomedic. Disponible en: <http://metron-ms.com/biometrics-datalog/>. [Fecha de consulta: xxxx. Hora: xxx]

Ulrich, K. y Eppinger, S. 2009. Diseño y desarrollo de productos. 4 ed. México. Editorial: McGraw-hill

VIGIL SÁNCHEZ, C. A., Protocolo de Rehabilitación en Trauma de Mano. Marzo 31 de 2014. Disponible en: <http://goo.gl/ZCFFft>