



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA ELECTRÓNICA PARA NIÑOS.

**AUTORES: GUERRA POZO, ANA CAROLINA
MONTES SALGADO, ELENA GABRIELA**

DIRECTOR: ING. FLAVIO PINEDA LÓPEZ MSc.

CODIRECTOR: DR. DIEGO BENÍTEZ MEJÍA.

SANGOLQUI, 15 DE AGOSTO DEL 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICADO

MSC. FLAVIO PINEDA LÓPEZ

Director

DR. DIEGO BENÍTEZ MEJÍA

Codirector

CERTIFICAN

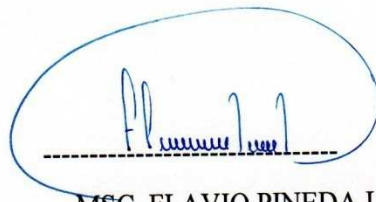
Que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BAROPDOMETRÍA ELECTRÓNICA PARA NIÑOS”, realizado por: Guerra Pozo Ana Carolina y Montes Salgado Elena Gabriela, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato de documento portátil (PDF).

Autorizan a Guerra Pozo Ana Carolina y Montes Salgado Elena Gabriela, entregar el mismo al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control.

Sangolquí, 15 de Agosto del 2014



MSC. FLAVIO PINEDA LÓPEZ

DIRECTOR



DR. DIEGO BENÍTEZ MEJÍA

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Guerra Pozo Ana Carolina
Montes Salgado Elena Gabriela

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA ELECTRÓNICA PARA NIÑOS”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

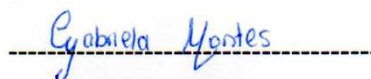
Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 15 de Agosto del 2014



Ana Carolina Guerra Pozo



Elena Gabriela Montes Salgado

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE


INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN


**GUERRA POZO ANA CAROLINA
MONTES SALGADO ELENA GABRIELA**

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Diseño e implementación de un sistema de baropodometría electrónica para niños”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 15 de Agosto del 2014



Ana Carolina Guerra Pozo



Elena Gabriela Montes Salgado

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a:

Mis padres: Amador y Clarita quienes con su inmenso amor guían mi vida y nunca dejaron de creer en mí, incluso cuando yo dejé de hacerlo.

Mi familia por recordarme lo verdaderamente importante de la vida.

Ana Carolina Guerra Pozo

Este trabajo de tesis de grado es dedicado a todas las personas que con su amor y dedicación han contribuido para lograr de mí una persona de bien.

Mi madre que ha sido el pilar fundamental en mi vida gracias a su ejemplo y nobleza.

A mis tias, tios , abuelita y primos que comparten día a día el cariño y el amor conmigo.

Y a todos mis amigos que fueron personas que con el paso del tiempo y experiencias vividas dejaron un gran legado.

Elena Gabriela Montes Salgado

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido culminar esta hermosa etapa de mi vida.

A mis padres Amador y Clarita por su apoyo incondicional.

A mis hermanos Carlos, Diego y Anita por su inmenso amor.

A Carlitos Andrés y Valentina por iluminar mi vida con su sonrisa.

A mi familia y amigos por su inmenso cariño.

Ana Carolina Guerra Pozo

Agradezco a Dios por darme la vida a través de mis queridos PADRES Guillermo y Elena quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mí una persona con valores para poder desenvolverme como: mujer y profesional.

Agradezco a mis tíos y tías que han formado parte del vivir diario y siempre se encuentran presentes en brindándome cariño, confianza y apoyo.

A mi abuelito que desde el cielo siempre estará cuidándome y deseándome lo mejor.

Elena Gabriela Montes Salgado

ÍNDICE

CERTIFICADO.....	I
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	II
AUTORIZACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE.....	VI
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
CAPÍTULO I.....	1
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA ELECTRÓNICA PARA NIÑOS	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. GENERAL	3
1.2.2. ESPECÍFICOS	3
1.3. ASPECTOS GENERALES DEL PIE.....	4
1.3.1. ANATOMÍA	4
1.3.1.1. HUESOS.....	4
1.3.1.1.1. EL TARSO	4
1.3.1.1.2. EL METATARSO.....	8
1.3.1.1.3. FALANGES	8
1.3.1.1.4. HUESO SESAMOIDEOS DEL PIE.....	9
1.3.1.1.5. BÓVEDA PLANTAR.....	10
1.3.1.2. MÚSCULOS Y TENDONES.....	13
1.3.1.3. ARTICULACIONES	19
1.3.2. FISIOLOGÍA.....	23
1.3.2.1. LOS MÚSCULOS.....	23
1.3.2.2. BÓVEDA PLANTAR.....	24
1.3.2.3. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO.....	24
1.3.3. ALTERACIONES Y ENFERMEDADES.....	27
1.3.3.1. ALTERACIONES OSTEOARTICULARES (MALFORMACIONES CONGÉNITAS)	27

1.4. PODOLOGÍA.....	34
1.5. BAROPODOMETRÍA.....	34
1.5.1. ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA ELECTRÓNICA.....	35
1.5.2. ANÁLISIS DEL CICLO DE MARCHA.....	36
1.5.3. DISTRIBUCIÓN DE LAS PRESIONES PLANTARES EN LA PISADA Y FACTORES QUE LA MODIFICAN.....	39
CAPITULO II.....	42
HARDWARE.....	42
2. DISEÑO DEL SISTEMA A IMPLEMENTAR.....	42
2.1. DISEÑO DE LAS PLANTILLAS INSTRUMENTADAS.....	43
2.1.1. DISEÑO DEL BLOQUE DE SENSORES.....	44
2.1.2. DISEÑO DE LA PISTA DE ENRUTAMIENTO.....	46
2.1.3. DISEÑO DEL CONECTOR.....	52
2.2. DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO.....	52
2.2.1. DISEÑO DEL BLOQUE ALIMENTACIÓN DE BATERÍA.....	53
2.2.2. DISEÑO DEL CIRCUITO REDUCTOR DE VOLTAJE.....	54
2.2.3. DISEÑO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL ANALÓGICA.....	55
2.3. DISEÑO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	59
2.4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO TOTAL.....	65
2.5. DISEÑO DE LA CAJA.....	67
CAPITULO III.....	75
SOFTWARE.....	75
3. DISEÑO DEL SOFTWARE.....	75
3.1. DISEÑO DEL PROCESO INICIALIZACIÓN DE VARIABLES.....	78
3.2. DISEÑO DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	80
3.3. DISEÑO DEL MÓDULO CREACIÓN DE LA INTERFAZ.....	82
3.4. DISEÑO DEL MÓDULO PROCESAMIENTO DE DATOS.....	90
3.5. DISEÑO DEL MÓDULO CREACIÓN DE GRÁFICAS.....	101
3.6. DISEÑO DEL MÓDULO VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS.....	109
CAPITULO IV.....	114
PRUEBAS DEL SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA.....	114
4.1 DEFINICIÓN DEL ESCENARIO 1.....	114
4.1.1 PRUEBAS CON PACIENTES EN EL ESCENARIO 1.....	114

4.2. DEFINICIÓN DEL ESCENARIO II	120
4.2.1 PRUEBAS CON PACIENTES EN EL ESCENARIO 2	121
4.3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO	122
CAPÍTULO V	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	130
5.1. CONCLUSIONES.....	130
5.2. RECOMENDACIONES.....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Huesos del pie	4
Figura 2. Esqueleto del pie	5
Figura 3. Astrágalo	6
Figura 4. Calcáneo	6
Figura 5. Cuboides.....	6
Figura 6. Hueso Navicular.....	7
Figura 7. Huesos Cuneiformes	7
Figura 8. Metatarso.....	8
Figura 9. Falanges	9
Figura 10. Hueso Sesamoideo	10
Figura 11. Articulación metatarsfalángica.	10
Figura 12. Bóveda plantar	10
Figura 13. Arco Interno	11
Figura 14. Arco externo.....	12
Figura 15. El arco anterior y la curva transversal.....	12
Figura 16. Pedio o extensor corto de los dedos	13
Figura 17. Abductor del dedo gordo.....	14
Figura 18. Aductor del dedo gordo.....	14
Figura 19. Flexor corto plantar	15
Figura 20. Abductor del dedo pequeño	15
Figura 21. Cuadrado carnosos.....	16
Figura 22. Lumbricales.....	16
Figura 23. Flexor Corto del dedo gordo	17
Figura 24. Flexor Corto del dedo pequeño	17
Figura 25. Músculos interóseos dorsales	18
Figura 26. Músculos interóseos plantares	18
Figura 27. Tendones del tibial posterior.....	18
Figura 28. Tendones del Tibial Posterior	19
Figura 29. Tendones peroneales.	19
Figura 30. Articulación subastragalina.....	19
Figura 31. Articulación mediotarsiana	20
Figura 32. Articulación Subtalar	20
Figura 33. Articulaciones intercuneiformes	21
Figura 34. Articulaciones del pie.....	22
Figura 35. Articulación metatarsfalángica e interfalángica.....	24
Figura 36. Flexión	24
Figura 37. Extensión.....	25
Figura 38. Inversión.....	25
Figura 39. Eversión	25
Figura 40. Esquema de movimientos de aducción y abducción del pie.....	26
Figura 41. Pronador	27
Figura 42. Supinador	27
Figura 43. Pie valgo.....	28
Figura 44. Pie plano.....	28
Figura 45 Músculos de la pierna	31

Figura 46. Pie equino.....	32
Figura 47. Pie Cavo.	33
Figura 48. Pie derecho varo.....	33
Figura 49. Pie aducto.....	33
Figura 50. Antepié, mediopié y retropié.....	34
Figura 51. Elementos que componen un Sistema de Baropodometría.....	35
Figura 52. Gráfica del registro de presiones máximas durante la marcha.....	35
Figura 53. Secuencia de las presiones plantares mostradas en el software.	36
Figura 54. Comportamiento de presiones plantares en las zonas del pie.	36
Figura 55 Ciclo de Marcha.....	39
Figura 56. Distribución de las presiones durante la marcha por fases.	40
Figura 57. Esquema del Sistema de Baropodometría Electrónica.	42
Figura 58. Esquema de las plantillas instrumentadas.....	44
Figura 59. Esquema del bloque de sensores.....	44
Figura 60. Sensor FSR.....	45
Figura 61. Dimensiones del sensor FSR de 5''.....	46
Figura 62. Esquema de la pista de enrutamiento.	47
Figura 63. Puntos de presión en diferentes tipos de pisada.....	48
Figura 64. 1er Patrón de ubicación de los sensores.....	50
Figura 65. 2do Patrón de ubicación de los sensores.....	51
Figura 66. Patrón final de ubicación de sensores.	51
Figura 67. Plantilla Instrumentada.....	51
Figura 68. Esquema del conector.....	52
Figura 69. Esquema del circuito de acondicionamiento.....	53
Figura 70. Esquema del bloque de alimentación de batería.	54
Figura 71. Esquema del circuito reductor de voltaje.....	54
Figura 72. Regulador 7809.....	55
Figura 73. Terminales del Regulador LM7809.....	55
Figura 74: Esquema de acondicionamiento de la señal analógica.....	56
Figura 75. Simulación del conector de entradas.....	57
Figura 76. Curva característica del sensor.....	57
Figura 77. Esquema del circuito de acondicionamiento.....	58
Figura 78. Esquema en Ares del circuito de acondicionamiento.	59
Figura 79. Visualización 3D del circuito de Acondicionamiento.....	59
Figura 80. Esquema de la Tarjeta de Adquisición de Datos.....	60
Figura 81. Arduino Mega 2560.....	62
Figura 82. Esquema de conexión de las plantillas.....	63
Figura 83. Esquema de conexión del bus de datos.....	63
Figura 84. Esquema del circuito de acondicionamiento.....	64
Figura 85. Esquema de conexión de las tarjetas de adquisición de datos.....	64
Figura 86. Esquema de conexión del prototipo total.....	64
Figura 87. Plantillas Instrumentadas.....	65
Figura 88. Bus de datos.....	66
Figura 89. Circuito de Acondicionamiento en forma real.....	66
Figura 90. Tarjetas de adquisición en forma real. (derecha e izquierda).....	66
Figura 91. Módulo Bluetooth.....	67
Figura 92. Implementación del prototipo total.....	67
Figura 93. Caras anterior y posterior de la caja.....	69

Figura 94. Caras anterior y posterior de la caja.....	69
Figura 95. Caras anterior y posterior de la caja.....	70
Figura 96. Ubicación del prototipo diseñado en la caja	70
Figura 97. Esquema de la caja en 3 D con sus dimensiones	71
Figura 98. Vista superior de la caja acotada.....	71
Figura 99. Vista inferior de la caja acotada.....	71
Figura 100. Vista lateral izquierda de la caja acotada.....	72
Figura 101. Vista Superior del Prototipo de la caja.....	72
Figura 102. Vista Inferior del Prototipo de la caja	73
Figura 103. Vista Lateral Izquierda del Prototipo de la caja.....	73
Figura 104. Vista Lateral Derecha del Prototipo de la caja.....	73
Figura 105. Vista Anterior del Prototipo de la caja.....	73
Figura 106. Vista Posterior del Prototipo de la caja.....	74
Figura 107. Sistema de Baropodometría Electrónica caja abierta.....	74
Figura 108. Sistema de Baropodometría Electrónica caja cerrada.....	74
Figura 109. Logo del Software de Programación Labview.....	75
Figura 110. Logo ARDUINO.....	76
Figura 111. Esquema del diseño del Software	78
Figura 112. Inicialización de Variables y Tab Control	79
Figura 113 Módulo INIT	79
Figura 114. Módulos Arduino	79
Figura 115. Inicialización de las variables	80
Figura 116. Figura: Flujograma de la adquisición de datos	81
Figura 117. Lectura de las señales enviadas por la tarjeta de adquisición	81
Figura 118. Analog Read.....	82
Figura 119: Esquema de la creación de la interfaz.....	82
Figura 120. Flujograma de la creación de la interfaz	83
Figura 121. Carátula	84
Figura 122. Elaboración de la caratula	84
Figura 123. Tab Control	85
Figura 124. Localización del Tab Control en Labview.....	85
Figura 125. Datos del Paciente.....	86
Figura 126. Localización del indicador string y combo box en Labview	86
Figura 127. Localización de los indicadores booleanos en Labview	87
Figura 128. Pie Izquierdo /Pie Derecho	87
Figura 129. Localización del intensity graph en Labview	88
Figura 130. Localización del color box en Labview	88
Figura 131. Pestaña Presiones (Media, Máx).....	89
Figura 132. Gráficas de las zonas de Presión	89
Figura 133. Localización del waveform graph en Labview	90
Figura 134. Impresión del ciclo de Marcha.....	90
Figura 135. Flujograma del procesamiento de datos.....	91
Figura 136. Almacenamiento de Datos	92
Figura 137. Máxima y Media de cada sensor.....	92
Figura 138. Extracción de los arreglos de las zonas del pie.....	93
Figura 139. Presión por zonas	93
Figura 140. Máximos de la presión por zonas.....	94
Figura 141. Presión media del antepié, mediopié y retropié.....	94

Figura 142. Escalamiento de unidades	95
Figura 143. Voltaje vs Masa.....	95
Figura 144. Cftool de matlab para el tramo 1	96
Figura 145. Flujograma del Módulo creación de gráficas.....	101
Figura 146. Flujograma de la colorimetría	102
Figura 147. Formula node Asignación de colores.....	102
Figura 148. Colorimetría de cada sensor	103
Figura 149. Flujograma de la interpolación.	103
Figura 150. Formación de la Matriz del Pie Izquierdo.....	105
Figura 151. Formación de la Matriz del Pie Derecho	105
Figura 152. Interpolación en x, y.....	106
Figura 153. Flujograma de colorimetría en el intensity graph	106
Figura 154. Array de Colores	107
Figura 155. Intensity Graph.....	107
Figura 156. Colorimetría	108
Figura 157. Flujograma de la gráfica Presión vs Tiempo	108
Figura 158. Waveform graph	109
Figura 159. Flujograma de la visualización de resultados	110
Figura 160. Extracción de las filas del array all rows	110
Figura 161. Array	111
Figura 162. Read From Spreadsheet file	111
Figura 163 Figura File I/O.....	111
Figura 164. Impresión de Pantalla.....	112
Figura 165. Parámetros de impresión de gráfico.....	112
Figura 166. Impresión de pestaña por pestaña	112
Figura 167. Escenario 1 Pacientes con pisada correcta.....	114
Figura 168. Impresión del ciclo de marcha paciente 1	115
Figura 169 Presión Vs. No. de muestras paciente 1	116
Figura 170. Impresión del ciclo de marcha paciente 2.....	117
Figura 171. Presión Vs. No. de muestras paciente 2.....	117
Figura 172. Impresión del ciclo de marcha paciente 3.....	118
Figura 173. Presión Vs. No. de muestras paciente 3.....	118
Figura 174.Presión Vs. No. de muestras paciente 3.....	119
Figura 175. Presión Vs. No. de muestras paciente 4.....	120
Figura 176. Escenario 2 Pacientes con alteraciones en la pisada	120
Figura 177. Presión Vs. No. de muestras paciente 1.....	121
Figura 178. Presión Vs. No. de muestras paciente 1	122
Figura 179. Escenario 3	122
Figura 180. Huella plantar paciente 1	123
Figura 181. Impresión del ciclo de marcha – Paciente1	123
Figura 182. Mayor zona de presión del pie	124
Figura 183. Menor zona de presión del pie	124
Figura 184. Gráficas de las zonas de presión – Paciente1	124
Figura 185. Presiones (Media, Max) – Paciente1	125
Figura 186. Presiones máximas y mínimas.	126
Figura 187. Huella plantar paciente 2.....	126
Figura 188. Impresión del ciclo de marcha – Paciente2.....	127
Figura 189. Trastorno en la pisada estática	127

Figura 190. Distribución de la carga de peso en el mediopié.....	128
Figura 191. Sobrecarga en el bordo interno del pie derecho.....	128
Figura 192. Graficas de las zonas de presión – Paciente2.....	128
Figura 193. Presiones (Media, Max) – Paciente2.....	129
Figura 194. Presiones en el mediopié.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Función de los músculos del pie.....	23
Tabla 2. Comparación de los sensores de fuerza.....	45
Tabla 3. Características técnicas del sensor	46
Tabla 4. Parámetros de selección de la tarjeta de Adquisición	60
Tabla 5. Comparación de las tarjetas Arduino	61
Tabla 6. Características técnicas Arduino Mega 2560	62
Tabla 7. Conexión del prototipo total.....	65
Tabla 8. Voltaje vs Masa – tramo 1.....	96
Tabla 9. Voltaje vs Masa - tramo 2	97
Tabla 10. Voltaje vs Masa - tramo 3	97
Tabla 11. Voltaje vs Masa - tramo 4	97
Tabla 12. Voltaje vs Masa - tramo 5	98
Tabla 13. Voltaje vs Masa - tramo 6	98
Tabla 14. Voltaje vs Masa - tramo 7	98
Tabla 15. Voltaje vs Masa - tramo 8	99
Tabla 16. Voltaje vs Masa - tramo 9	99
Tabla 17. Voltaje vs Masa - tramo 10	99
Tabla 18. Voltaje vs Masa - tramo 11	99
Tabla 19. Voltaje vs Masa - tramo 12	100
Tabla 20. Voltaje vs Masa - tramo 13	100
Tabla 21. Matriz del Pie Izquierdo	104
Tabla 22. Matriz del Pie Derecho.....	104
Tabla 23. Características de los pacientes a evaluar.....	114
Tabla 24. Características del paciente del escenario 2	120

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación característica del tramo 1	97
Ecuación 2: Ecuación característica del tramo 2	97
Ecuación 3: Ecuación característica del tramo 3	97
Ecuación 4: Ecuación característica del tramo 4	97
Ecuación 5: Ecuación característica del tramo 5	98
Ecuación 6: Ecuación característica del tramo 6	98
Ecuación 7: Ecuación característica del tramo 7	98
Ecuación 8: Ecuación característica del tramo 8	99
Ecuación 9: Ecuación característica del tramo 9	99
Ecuación 10: Ecuación característica del tramo 10	99
Ecuación 11: Ecuación característica del tramo 11	100
Ecuación 12: Ecuación característica del tramo 12	100
Ecuación 13: Ecuación característica del tramo 13	100
Ecuación 14: Área del círculo	100
Ecuación 15: Resolución del Área	100
Ecuación 16: Resultado	100

RESUMEN

La Baropodometría es un método de diagnóstico que permite el análisis y registro gráfico de las huellas plantares y las características biomecánicas del pie. Su importancia radica en que al corregir la pisada del paciente se previenen trastornos en pie, rodilla, cadera, columna o espalda, los cuales son causantes de dolor, cansancio, malestar general, incapacidad y frustración para moverse adecuadamente, teniendo en cuenta que el pie soporta todo el peso del cuerpo y por ende se convierte en la parte del cuerpo más susceptible a padecer lesiones se desarrolla el presente proyecto, el cual consiste en la elaboración de un Sistema de Baropodometría Electrónica para niños con talla de pie número 28. El sistema está constituido por un par de plantillas las cuales están diseñadas con sensores de fuerza FSR localizados estratégicamente de acuerdo a un patrón estándar, dichos sensores proporcionarán información de la presión que ejerce cada pie en forma estática y dinámica durante un lapso de tiempo determinado. Una tarjeta de adquisición de datos directamente conectada a la plantilla y mediante un dispositivo de transferencia inalámbrica Bluetooth se enviarán las señales a un computador para su procesamiento. Además se diseñó una interfaz gráfica que permite observar los cambios de presión en las diferentes zonas del pie, distribución de sensores en la plantilla y datos de interés para el especialista tales como: presión media, máxima y gráficas de cada zona del pie (retropié, antepié y mediopié). La información obtenida se guarda para el diagnóstico y tratamiento.

PALABRAS CLAVE

BAROPODOMETRÍA

CICLO DE MARCHA

PLANTILLAS INSTRUMENTADAS

PRESION EN LAS ZONAS DEL PIE

SENSORES DE FUERZA RESISTIVOS FSR

ABSTRACT

The baropodometry is a method of diagnostic that enables analysis and graphic recording of the footprints and the biomechanical characteristics of the foot. A correct patient treatment prevents disorders in feet, knee, hip, spine or back, which are the cause of pain, fatigue, malaise, frustration and inability to move properly, considering that the foot supports the entire weight of the body and therefore becomes part of the body more susceptible to suffer injuries. This project, consist in developing a baropodometry system for children's with standard foot size number 28. The system consists of a pair of templates which are designed with FSR force sensors strategically located according to a standard pattern, the sensors provide information about the pressure exerted by each foot statically and dynamically for a determined period of time. Data is sent to a computer for processing using a data acquisition board which is directly connected to the template using a Bluetooth wireless transfer signals graphical interface allows to observe the changes in pressure in different areas of the foot and the distribution of sensors in the template. Furthermore data of interest to a specialist such as: medium pressure, high values and graphs of each foot area (hindfoot, forefoot and midfoot) can also be displayed. The information obtained is also stored for further diagnosis and treatment.

KEYWORDS:

BAROPODOMETRY

INSTRUMENTED INSOLES

FOOT PRESSURE AREAS

WALKING CYCLE

RESISTIVE FORCE SENSORS FSR

CAPÍTULO I

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA ELECTRÓNICA PARA NIÑOS.

1.1 Antecedentes

El pie soporta todo el peso del cuerpo debido a los múltiples movimientos a los que tiene que adaptarse. Está dotado de una estructura biomecánica compleja.

Aun teniendo tal estructura la gran presión a la que está sometido lo convierten en la parte del cuerpo más susceptible a padecer lesiones. (Monroy).

La baropodometría nace en 1978 a partir de las investigaciones dirigidas por el Prof. Rabishong en la Universidad de Montpellier. Las cuales son constituidas y complementadas por Piero Galazzo quien en 1985 investiga profundamente sobre la aplicación de un sistema computarizado al estudio de las presiones y las cargas a las que están sometidos los pies en posición estática y dinámica. (Monroy).

Los fabricantes en países desarrollados desde 1990 producen sistemas baropodométricos electrónicos, que brindan soluciones para la captura-análisis estática y dinámica de la presión plantar para el estudio clínico de la marcha, utilizando para ello plantillas o plataformas, presentando desde una tecnología básica hasta una tecnología avanzada. (Vélez)

Varios estudios sobre la incidencia de problemas en los pies en niños también han sido realizados en países de nuestra región, por ejemplo, en Brasil en 1,090 niños se encontró una incidencia de pie plano del 20%, en México en 48 niños aparentemente sanos para la práctica del fútbol, se encontró un 31.2% con alguna anomalía de los pies, con una incidencia de 25% de pie plano. (Yabar).

En Perú, según el Instituto Especializado de Salud del Niño el pie plano ocupa entre el 25 al 30% de la consulta ambulatoria del Servicio de Ortopedia y

Traumatología (estadísticas año 1999), utilizándose en su detección técnicas cualitativas tradicionales. (Yabar).

Cabe también mencionar que desde el año 2001 se desarrollan Jornadas de Investigación en la Escuela de Ingeniería de Antioquia en Medellín – Colombia, con el objetivo de presentar los resultados y avances de proyectos relacionados con la Instrumentación Biomédica, dentro los proyectos más importantes relacionados con la Baropodometría tenemos por ejemplo un “Sistema de plantillas instrumentadas PIEZOMED destinadas a la valoración del calzado” y el “Diseño y construcción de un prototipo para analizar presiones en la horma del calzado”. (García, 2007).

En nuestro país no se tiene referencia sobre algún estudio que plantee el desarrollo de un Sistema Baropodométrico Electrónico. Al contrario, grupos de I&D de Brasil, Colombia, España, México, USA han desarrollado diferentes prototipos con el propósito de brindar una solución al respecto.

1.2. OBJETIVOS.

1.2.1. General

- ✓ Implementar un Sistema de Baropodometría Electrónica para niños de 4 a 5 años.

1.2.2. Específicos

- ✓ Recopilar información sobre estudios realizados de los aspectos más relevantes de la anatomía, fisiología y patologías del pie en la etapa inicial del proyecto.
- ✓ Diseñar un patrón de plantillas baropodométricas para niños de 3 a 5 años que establezcan los puntos de presión y garanticen un manejo fácil y cómodo para el paciente y el médico.
- ✓ Elaborar un sistema de adquisición de datos a través de un esquema apropiado para extraer la información proveniente de la plantilla y transmitirla vía inalámbrica al computador garantizando que se satisfagan las necesidades de comunicación y portabilidad.
- ✓ Desarrollar una interfaz gráfica amigable para el médico tratante que permita la visualización de los datos obtenidos del sistema de adquisición y el procesamiento para generación de imágenes en un lenguaje de programación seleccionado.

1.3. ASPECTOS GENERALES DEL PIE.

El pie es la parte del miembro inferior distal a la pierna. Los dedos del pie se enumeran del primero al quinto, empezando por el dedo gordo. Generalmente, el dedo gordo sobresale más que los otros, sin embargo en raras ocasiones el dedo medio es el más largo.

El tejido subcutáneo de la planta del pie está muy engrosado por la presencia de almohadillas fibroadiposas que son estructuras importantes para soportar el peso corporal. (Vélez).

1.3.1. ANATOMÍA

1.3.1.1. HUESOS

El pie se compone de tres grupos de huesos que forman: el tarso, el metatarso y las falanges como se muestra en Figura 1. (Monroy).

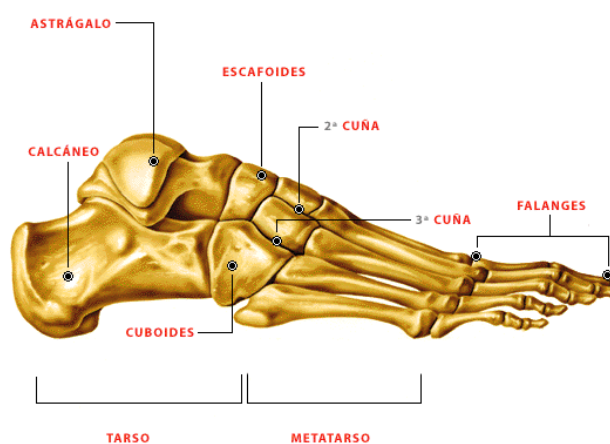


Figura 1. Huesos del pie

Fuente: (Portilla, 2012).

1.3.1.1.1. EL TARSO

El tarso es un macizo óseo que ocupa la mitad posterior del pie. Está formado por siete huesos cortos dispuestos en dos filas, una anterior y otra posterior. La fila posterior está constituida por dos huesos, el astrágalo o talus y el calcáneo. La fila anterior consta de cinco huesos: el hueso cuboides, el hueso navicular y los tres huesos cuneiformes (cuñas). Los siete huesos del tarso se articulan de manera que

forman una bóveda cóncava inferiormente, sobre la que reposa todo el peso del cuerpo. (Gardner, 1989).

En la Figura 2 se puede observar el esqueleto del pie, con todos los huesos anteriormente descritos.

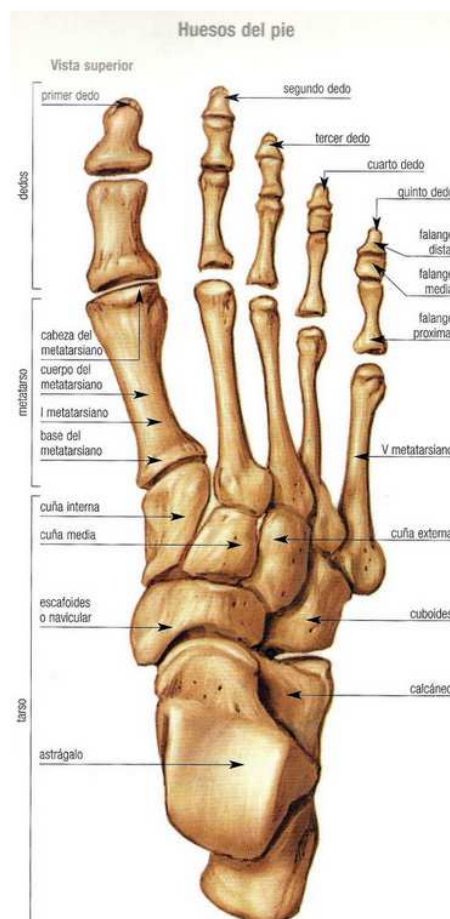


Figura 2. Esqueleto del pie

Fuente: (Clemente, 2012)

✓ Astrágalo o talus

En la Figura 3 se ilustra el astrágalo o talus, el cual es un hueso corto, aplanado de superior a inferior y alargado de anterior a posterior. Forma el vértice de la bóveda tarsiana y se articula superiormente con los huesos de la pierna, inferiormente con el calcáneo y anteriormente con el hueso navicular. (Gardner, 1989)



Figura 3. Astrágalo

Fuente: (EcuRed).

✓ Calcáneo

Es el más voluminoso de los huesos del tarso. Está situado inferiormente al astrágalo, en la parte posterior e inferior del pie, ver Figura 4. Forma la eminencia del talón. El calcáneo es alargado de anterior a posterior y aplanado transversalmente (Gardner, 1989).



Figura 4. Calcáneo

Fuente: (EcuRed).

✓ Hueso Cuboides

En la Figura 5 se muestra el hueso cuboides, el cual está situado anteriormente al calcáneo, en la parte lateral del pie. Presenta la forma de un prisma triangular o de una cuña, redondeada y situada en el borde lateral del pie. (Gardner, 1989).



Figura 5. Cuboides

Fuente: (EcuRed).

✓ Hueso Navicular

En la Figura 6 se observa el hueso navicular (escafoides del tarso) es un hueso corto. Está situado en el lado medial del pie, anteriormente al astrágalo, medialmente al hueso cuboides y posteriormente a los huesos cuneiformes. (Gardner, 1989).

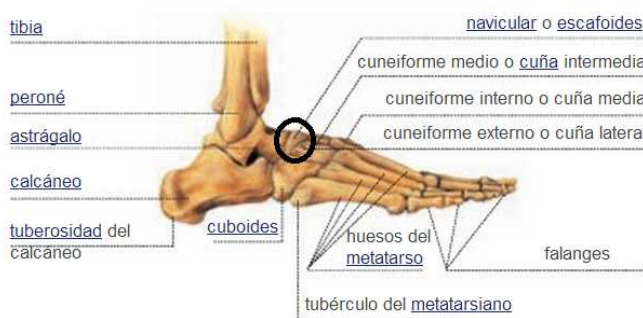


Figura 6. Hueso Navicular

Fuente: (EcuRed).

✓ Huesos Cuneiformes

En la Figura 7 se muestran los huesos cuneiformes (cuñas), estos son tres. Están situados anteriormente al hueso navicular y se articulan entre sí. Se denominan medial, intermedio y lateral en razón de su posición.

Presentan la forma de una cuña, con base plantar en el hueso cuneiforme medial y base dorsal en los otros dos (Gardner,1989).

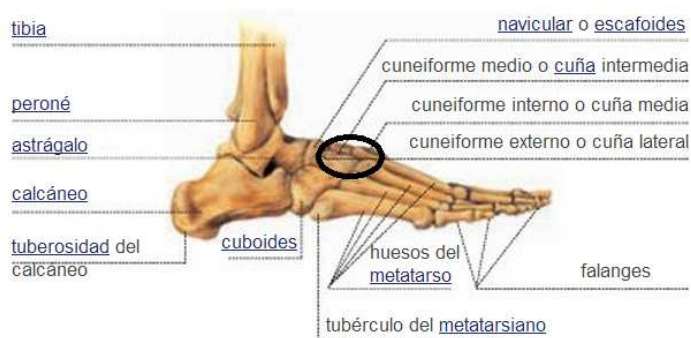


Figura 7. Huesos Cuneiformes

Fuente: (EcuRed).

✓ Hueso cuneiforme medial: Está situado en el borde medial del pie, entre los huesos navicular y primer metatarsiano.

✓ Hueso cuneiforme intermedio: Está situado entre los huesos cuneiforme medial y cuneiforme lateral, que lo rebasan anteriormente.

✓ Hueso cuneiforme lateral: Situado lateralmente al hueso cuneiforme intermedio y medialmente al hueso cuboide (Gardner,1989).

1.3.1.1.2. EL METATARSO.

El metatarso está formado por cinco huesos largos denominados huesos metatarsianos. Como se puede observar en la Figura 8 estos se articulan posteriormente con los huesos de la segunda fila del tarso y anteriormente con las falanges proximales de los dedos. Se denominan primero, segundo, tercero, cuarto y quinto huesos metatarsianos, considerándolos de medial a lateral.

El primer hueso metatarsiano es el más corto y grueso que los demás, mientras que el segundo hueso metatarsiano es el más largo de todos (Gardner,1989).



Figura 8. Metatarso

Fuente: (Moris)

1.3.1.1.3. FALANGES

Las falanges de los dedos del pie son semejantes a las de los dedos de la mano en cuanto a su disposición, forma y desarrollo. Sin embargo, son diferentes sus dimensiones, más reducidas, a excepción de las falanges del dedo gordo del pie, que son muy voluminosas.(Gardner, 1989). La Figura 9 muestra las falanges medial, distal y proximal.

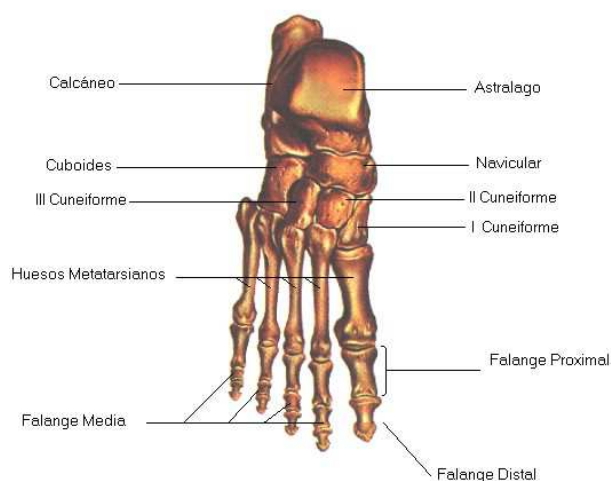


Figura 9. Falanges

Fuente: (Humana, 2013).

1.3.1.1.4. HUESO SESAMOIDEOS DEL PIE.

Estos huesos se encuentran siempre en la cara plantar. Dos son constantes; están situados en la primera articulación metatarsofalángica. Estos dos huesos sesamoideos son ovalados y alargados de anterior a posterior. El medial es más voluminoso que el lateral.

Los huesos sesamoideos del dedo gordo, en particular el medial, se hallan a veces divididos en dos o tres fragmentos.

En ciertos casos se encuentra un hueso sesamoideo a la altura de la articulación interfalángica del dedo gordo, otro en la articulación metatarsofalángica del segundo dedo del pie y, por último, uno o dos huesos sesamoideos en la articulación metatarsofalángica del dedo pequeño. (Gardner, 1989). En la Figura 10 se muestra el hueso sesamoideo ubicado en el dedo gordo, en forma de protuberancia.



Figura 10. Hueso Sesamoideo

Fuente: (Facts, 1942).

En la Figura 11 se observa con claridad la articulación metatarsofalángica, denominada así por su ubicación entre el metatarso y las falanges.



Figura 11. Articulación metatarsofalángica.

Fuente: (lookfordiagnosis, 2009).

1.3.1.1.5. BÓVEDA PLANTAR

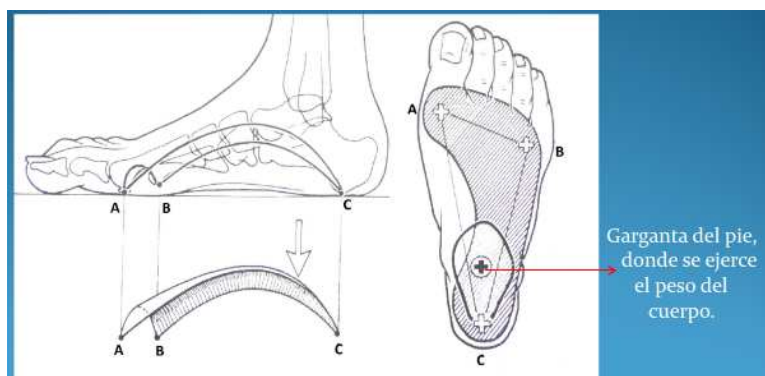


Figura 12. Bóveda plantar

Fuente: (Bisbal).

La Figura 12 muestra la bóveda plantar, la cual es triangular y está sostenida por:

- ✓ Arco interno: es el más largo y alto (CA)
- ✓ Arco externo: es intermedio (BC)
- ✓ Arco anterior: es el más corto y bajo (AB)

La unión de los extremos de los arcos determinan los puntos de apoyo que están a nivel de las cabezas del 5to (B) y 1er metatarsiano (A) y de la tuberosidad posterior del calcáneo (C) (Bisbal).

El centro de esta bóveda es la clave de la misma y es donde se ubica el peso corporal y a partir de allí se reparte el peso a través de los arcos.

La transferencia del peso se hace a través de los huesos que conforman los arcos por las *trabéculas óseas*. (Echeverría, 2013).

ARCOS DEL PIE

Arco interno: Incluye cinco piezas óseas: el primer metatarsiano, la primera cuña (sin contacto con el suelo), el escafoides, el astrágalo (recibe las fuerzas transmitidas por la pierna y las reparte) y el calcáneo.

La Figura 13 demuestra que el arco interno conserva su concavidad gracias a los ligamentos y músculos. Ligamentos plantares unen las cinco piezas: la calcaneoescaloidea inferior (1), y la calcaneoastragalina (2) Los músculos son: el tibial posterior (TP), el peroneo lateral largo (PLL), el flexor propio del dedo gordo (F.p) y el aductor del dedo gordo (Adu . G) (Bisbal).

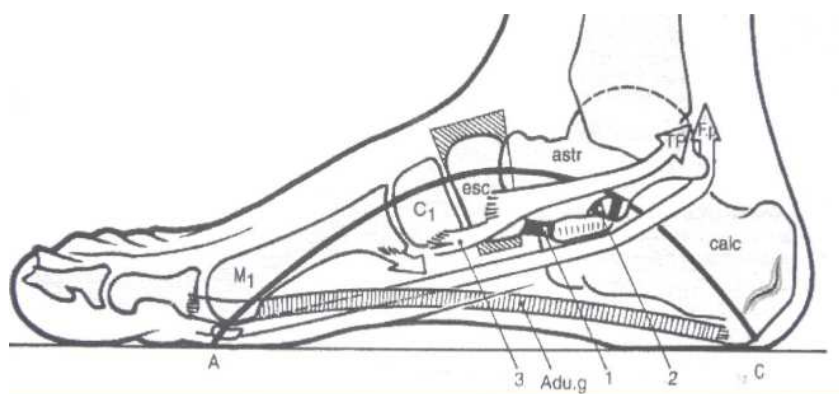


Figura 13. Arco Interno

Fuente: (Bisbal).

El arco externo: La Figura 14 ilustra dicho arco, el cual contiene tres piezas óseas: el quinto metatarsiano, el cuboide (sin contacto con el suelo), el calcáneo. Este arco es mucho más rígido gracias a la potencia del ligamento calcáneo cuboideo

plantar, con sus haces profundo (4) y superficial (5). Tres músculos son los tensores activos: el peroneo lateral corto (PLC), el peroneo lateral largo (PLL) y el abductor del quinto dedo (Abd. 5) (Bisbal).

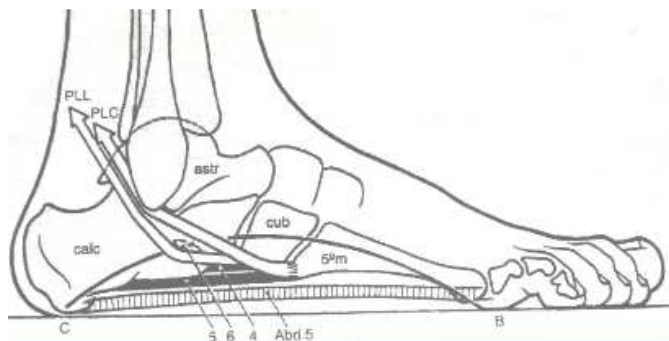


Figura 14. Arco externo

Fuente: (Bisbal).

El arco anterior y la curva transversal: El arco anterior se localiza desde la cabeza del primer metatarsiano hasta la cabeza del quinto. A la altura de las cuñas contiene cuatro huesos que solo contactan con el suelo a través de su extremo a la altura del cuboides.

La Figura 15 muestra que la curva transversal de la bóveda está sujeta por tres músculos: el abductor del dedo gordo (Abd. g), el peroneo lateral largo (PLL) y las expansiones plantares del tibial posterior (TP). La curva longitudinal está controlada por: el aductor del dedo gordo (Adu . g), y el abductor del quinto dedo (Abd.5). (Bisbal).

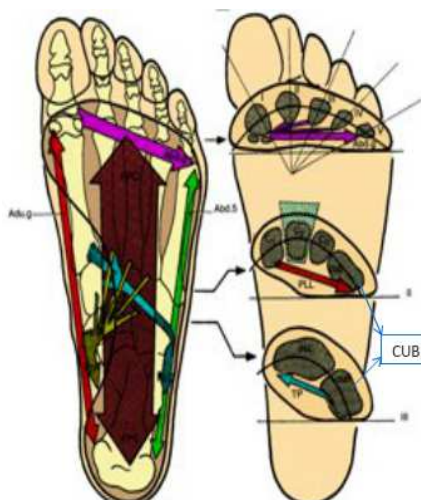


Figura 15. El arco anterior y la curva transversal

Fuente: (Bisbal).

1.3.1.2. MÚSCULOS Y TENDONES.

Estos músculos son el pedio en el dorso, los músculos del dedo gordo y del dedo pequeño, el cuadrado carnoso, el flexor corto plantar, los lumbricales y los interóseos (Rouviere, 2005).

MÚSCULOS DEL DORSO DEL PIE

✓ Pedio o extensor corto de los dedos: es un músculo que se extiende desde el astrágalo y el calcáneo hasta los cuatro primeros dedos, este se muestra en la Figura 16 (Rouviere, 2005).

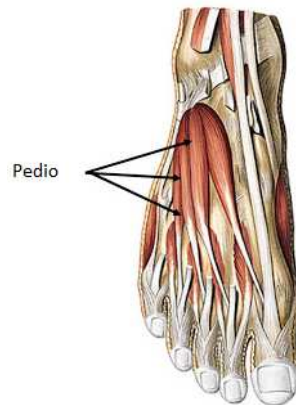


Figura 16. Pedio o extensor corto de los dedos

Fuente: (Armada, 2008).

MÚSCULOS DE LA PLANTA DEL PIE

Para su estudio los consideraremos por planos:

✓ Primer Plano. Comprende:

Abductor del dedo gordo: Se origina del calcáneo y se inserta en la cara interna de la base de la falange proximal del dedo gordo. Ver Figura 17 (Rouviere, 2005).



Figura 17. Abductor del dedo gordo

Fuente: (Armada, 2008).

Aductor del dedo gordo: Se origina en el cuboides y en las cuñas y se inserta en la cara lateral de la base de la falange proximal. Ver Figura 18 (Rouviere, 2005).

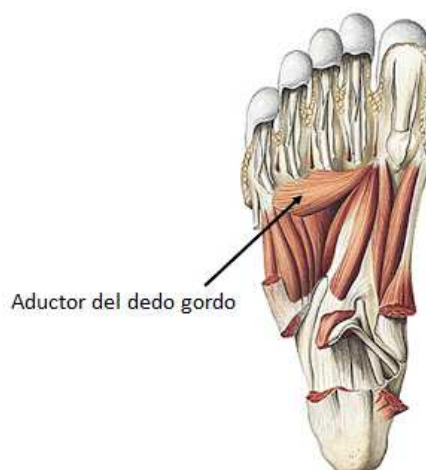


Figura 18. Aductor del dedo gordo

Fuente: (Armada, 2008).

Flexor corto plantar (flexor corto de los dedos): Se origina en el calcáneo y va hasta la falange Media del 2do al 4to dedo. Ver Figura 19 (Rouviere, 2005).



Figura 19. Flexor corto plantar

Fuente: (Armada, 2008).

Abductor del dedo pequeño: Se origina en el calcáneo y aponeurosis plantar y se inserta en la base de la falange proximal del 5to dedo y 5to metatarsiano. Ver Figura 20 (Rouviere, 2005).

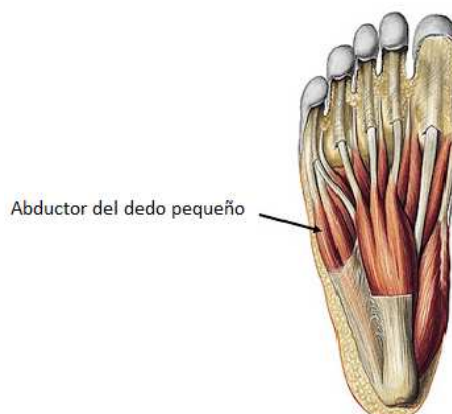


Figura 20. Abductor del dedo pequeño

Fuente: (Armada, 2008).

✓ El segundo plano: Está formado por:

Cuadrado carnoso (Cuadrado plantar o flexor accesorio): Se origina en el calcáneo y va hasta el tendón del flexor largo de los dedos. Éste ejerce una potente tracción desde el talón, sobre el tendón del flexor común. Ver Figura 21 (Rouviere, 2005).

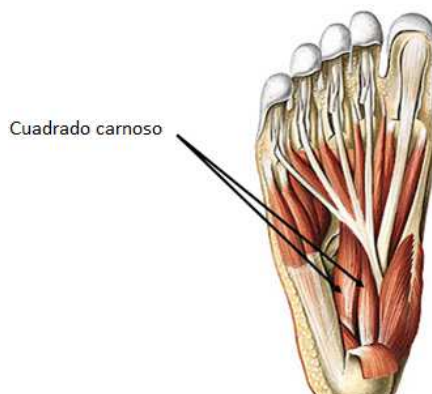


Figura 21. Cuadrado carnoso

Fuente: (Armada, 2008).

Lumbricales: Son cuatro músculos que se originan en los tendones del flexor común, y se insertan cada uno en la cara interna de la base de la falange proximal del dedo correspondiente (del segundo al quinto). Ver Figura 22 (Rouviere, 2005).



Figura 22. Lumbricales

Fuente: (Medicina C. V.)

Tendones del flexor largo del dedo gordo

Flexor común de los dedos

✓ Tercer plano : comprende

Flexor corto del dedo gordo: Tiene dos porciones. Se origina de las cuñas o huesos cuneiformes y se inserta en la base de la falange proximal del dedo gordo. Ver Figura 23 (Rouviere, 2005).

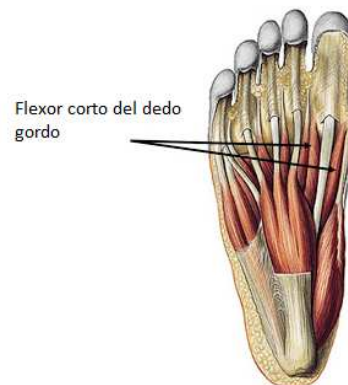


Figura 23. Flexor Corto del dedo gordo

Fuente: (Armada, 2008).

Flexor corto del dedo pequeño: Se origina de la base del 5to metatarsiano y se inserta en la falange proximal del 5to dedo o dedo pequeño. Ver Figura 24 (Rouviere, 2005).

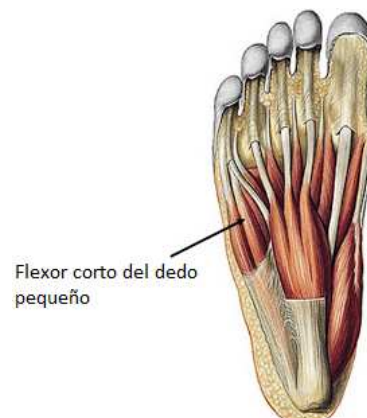


Figura 24. Flexor Corto del dedo pequeño

Fuente: (Armada, 2008).

✓ El cuarto plano: es el más superior, está formado por:

Músculos interóseos dorsales: Son 4, se originan en los metatarsianos y se insertan en las falanges proximales. Ver Figura 25 (Rouviere, 2005).



Figura 25. Músculos interóseos dorsales

Fuente: (Armada, 2008).

Músculos interóseos plantares: Se originan en los metatarsianos y se insertan en las falanges proximales. Ver Figura 26 (Rouviere, 2005).



Figura 26. Músculos interóseos plantares

Fuente: (Armada, 2008).

Tendones del tibial posterior.

Las Figura 27 y 28 muestran los tendones del tibial posterior:

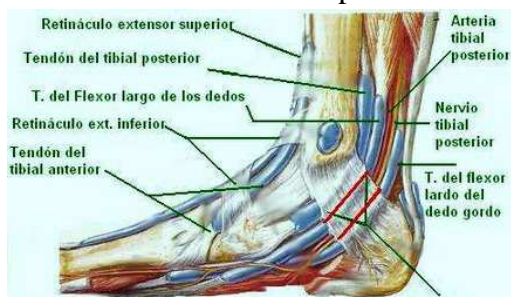


Figura 27. Tendones del tibial posterior

Fuente: (Mahiques).



Figura 28. Tendones del Tibial Posterior

Fuente: (Medicine, 1999).

Tendones del peroneo lateral largo. Estos tendones se ilustran en la siguiente Figura 29:



Figura 29. Tendones peroneales.

Fuente: (Docpods).

1.3.1.3. ARTICULACIONES

Articulación subastragalina: La Figura 30 muestra que esta articulación está formada por el astrágalo y el calcáneo



Figura 30. Articulación subastragalina

Fuente: (Galeon901, 2012).

Articulación mediotarsiana: Conocida también como articulación de Chopart, une el calcáneo al talo, al cuboides y al navicular tal como se observa en la Figura 31. Comprende dos articulaciones: una lateral (calcaneocuboidea) y otra medial (talocalcáeonavicular) (Morfología Aplicada, 2011).



Figura 31. Articulación mediotarsiana

Fuente: (Moscardo)

Articulación Subtalar: es la articulación posterior entre el talo y el calcáneo. Ver Figura 32 (Morfología Aplicada, 2011).



Figura 32. Articulación Subtalar

Fuente: (Consult, 2014).

✓ **Articulaciones intertarsianas**

✓ **Articulación cuboideonavicular:** la cara articular del hueso navicular es plana y se continúa hacia adelante para articularse con la tercera cuña. El cuboides tiene una cara articular plana para articular con el navicular, la que

se continua hacia adelante para articular con la tercera cuña. (Morfología Aplicada, 2011).

✓ **Articulación cuneonavicular:** la cara anterior del hueso navicular es convexa y está dividida en tres caras articulares revestidas por un mismo cartílago. Cada una de estas caras se corresponde con la cara posterior de los huesos cuneiformes. (Morfología Aplicada, 2011).

✓ **Articulaciones intercuneiformes:** Las cuñas medial e intermedia se articulan por superficies planas con forma rectangular. Las cuñas intermedia y lateral se articulan con superficies planas verticales, esto se puede apreciar en la Figura 33 (Morfología Aplicada, 2011).

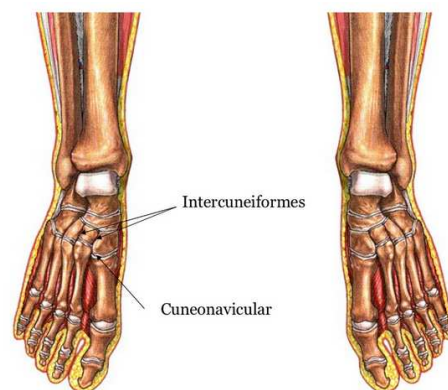


Figura 33. Articulaciones intercuneiformes

Fuente: (García, 2009).

✓ **Articulación cuneocuboidea:** Articulación entre la cuña lateral y el hueso cuboides. Se articulan por medio de dos carillas situadas en la cara lateral del hueso cuneiforme y en la cara medial del hueso cuboides (Morfología Aplicada, 2011).

✓ **Articulaciones tarsometatarsianas:** Las tres cuñas y el hueso cuboides están articulados entre sí de manera que forman una bóveda ósea transversal de concavidad plantar: el arco tarsiano.

Los extremos posteriores de los cinco metatarsianos forman una bóveda transversal cóncava plantarmente: el arco metatarsiano. La concavidad de éste se orienta hacia plantar y ligeramente ya que el quinto metatarsiano desciende más y se aproxima más al suelo que el primer metatarsiano. Todo lo anteriormente descrito puede verse de manera grafica en la Figura 34 (Morfología Aplicada, 2011).



Figura 34. Articulaciones del pie

Fuente: (Pilates Espai, 2014).

✓ **Articulaciones intermetatarsianas:** los metatarsos se articulan entre sí por su base, excepto la base del primer y segundo metatarsiano. Forman articulaciones planas (Morfología Aplicada, 2011). Ver figura 35.

✓ **Articulaciones metatarsofalángicas:** ubicadas en la unión de las cabezas metatarsianas con las falanges proximales (Morfología Aplicada, 2011). Ver figura 35.

✓ **Articulaciones interfalángicas:** proximales entre la primera y segunda falange y distales entre la segunda y la tercera falange (Morfología Aplicada, 2011). Ver figura 35.

1.3.2. FISIOLÓGÍA.

El pie es el órgano de soporte terminal para casi todas las cargas corporales, por esta razón asume las funciones de apoyo en bipedestación, de equilibrio y de marcha. El contacto con el suelo lo realiza a través de una superficie en forma de bóveda, no es una plataforma plana, posee un sistema ligamentoso - muscular que evita la caída de los arcos de esta bóveda y evita la separación de apoyo entre sus partes. El sistema ligamentario del pie se caracteriza por ser potente, actúa sin consumo de gasto energético y es el que se opone en gran medida a las fuerzas del peso corporal (Velez).

Las funciones del pie son el sostén y la locomoción. Para su estudio lo dividiremos en región dorsal y plantar.

1.3.2.1. LOS MÚSCULOS.

Tabla 1. Función de los músculos del pie

MÚSCULOS	UBICACIÓN	FUNCIÓN
Pedio o extensor corto de los dedos	Dorsal	Extiende los 4 primeros dedos en las articulaciones metatarsofalángicas e interfalángicas. Ver Figura 35.
Abductor del dedo gordo	Plantar	Flexor y abductor del dedo gordo.
Aductor del dedo gordo	Plantar	Aductor y flexor del dedo gordo.
Flexor corto plantar	Plantar	Flexión de los dedos.
Abductor del dedo pequeño	Plantar	Abductor, flexor y oposición del 5to dedo
Cuadrado carnoso	Plantar	Función: Flexor de los dedos (4 últimos)
Lumbrical	Plantar	Aumenta la relajación de los tendones flexores, ayudan a los interóseos a flexionar las articulaciones metatarsofalángicas.
Flexor corto del dedo gordo	Plantar	Flexión del dedo gordo
Flexor corto del dedo pequeño	Plantar	<i>Abducción</i> , flexión y oposición del 5to dedo.
Interóseos y dorsales	Dorsal	Flexor de la primera falange de los dedos y abductor de los dedos.
Interóseos plantares	Plantar	flexor de la primera falange de los dedos y aductor de los dedos
		Continúa →
Interóseos y Lumbricales	Plantar y Dorsal	Flexionan las articulaciones metatarsofalángicas, y actuando como antagonistas de los extensores largos permiten a estos últimos actuar a partir de los dedos fijos, por lo que mueven la

pierna. Debido a que los interóseos se originan en metatarsianos adyacentes, mantienen unidos estos huesos y por tanto refuerzan el arco del metatarso.



Figura 35. Articulación metatarsofalángica e interfalángica

Fuente: (Healthwise, 2013).

1.3.2.2. BÓVEDA PLANTAR

Es un conjunto arquitectónico que asocia los elementos osteoarticulares, ligamentosos y musculares.

Desempeña el papel de amortiguador indispensable para la flexibilidad de la marcha (Bisbal).

1.3.2.3. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO.

El pie se describe desde la articulación del tobillo hasta los dedos. En el tobillo los movimientos son:

✓ **Flexión.**

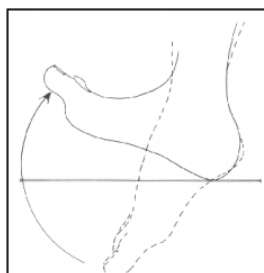


Figura 36. Flexión

Fuente: (Root, 1991).

✓ **Extensión.**



Figura 37. Extensión

Fuente: (Root, 1991).

En la articulación subastragalina se producen los movimientos de:

- ✓ **Inversión.** la superficie plantar del pie gira hacia adentro mirando hacia el plano medio (Muñoz, 2006).

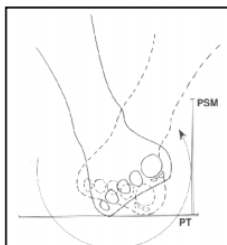


Figura 38. Inversión

Fuente: (Root, 1991).

- ✓ **Eversión:** movimiento durante el cual la superficie plantar del pie o parte de él gira hacia afuera, se aleja del plano medio (Muñoz, 2006).

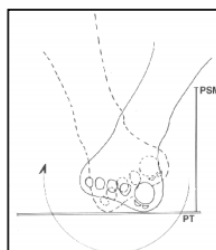


Figura 39. Eversión

Fuente: (Root, 1991).

En el antepié, en la articulación mediotarsiana tiene lugar a los movimientos de aducción y abducción mostrados en la Figura 40.

- ✓ **Aducción:** se usan con referencia al plano medio del cuerpo, se toma como referencia un eje que pasa por el segundo dedo. Por ello la

abducción del dedo gordo es un movimiento hacia adentro alejándose del segundo dedo. El antepié se desvía hacia dentro (Rouviere, 2005).

✓ **Abducción:** proceso contrario a la aducción. El antepié se desvía hacia fuera. (Rouviere, 2005).

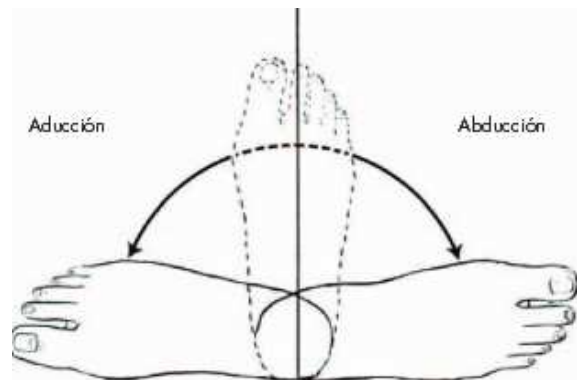


Figura 40. Esquema de movimientos de aducción y abducción del pie.
Fuente: (Muñoz, 2006)

Los movimientos del pie no son puros, de tal manera que los del tobillo se complementan con los de la articulación subastragalina y la articulación mediotarsiana, según un eje helicoidal, dando lugar a:

✓ **Pronador:** la característica del pie pronador consiste en una inclinación del pie hacia la zona interna del mismo. Cuando corremos los tobillos tienden a girar hacia dentro, es una amortiguación natural con la que se defiende el cuerpo. Ver Figura 41.

Cuando esa pronación está aumentada por encima de los parámetros fisiológicos hablamos de sobrepronación (Ultrawalking Es).



Figura 41. Pronador
Fuente: (Trainer, 2013).

✓ **Supinador:** efecto contrario a la pronación, es decir cuando hay una ausencia o disminución del efecto pronatorio fisiológico, ofreciendo un apoyo por la parte externa del pie. Ver Figura 42.

Se trata de un pie muy estructurado y con poca movilidad con una bóveda plantar aumentada y el tobillo hacia fuera (Ultrawalking Es).



Figura 42. Supinador
Fuente: (Trainer, 2013).

1.3.3. ALTERACIONES Y ENFERMEDADES.

1.3.3.1. Alteraciones osteoarticulares (malformaciones congénitas)

Se manifiestan con deformaciones en los pies:

✓ **Pie valgo:** En la Figura 43 se observa que el antepié se dirige hacia afuera del eje del cuerpo, el talón tiene rotación externa, desplazándose hacia adentro hay apoyo en la 1era cabeza metatarsina.

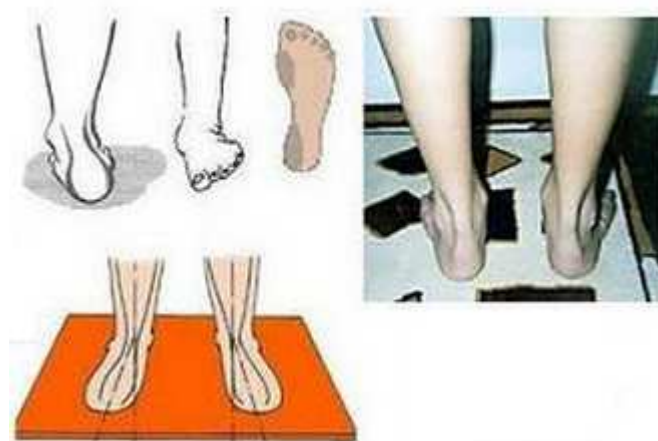


Figura 43. Pie valgo

Fuente: (Girones).

Fuente: (UNEFM, 2011).

✓ Pie plano:

Es un problema muy frecuente y consiste en que la mayor parte de la planta del pie o empeine queda en contacto con el suelo, generalmente este arco nunca se desarrolla. En los recién nacidos y los niños que están comenzando a caminar, el arco longitudinal no se ha desarrollado y el pie plano puede ser normal. El arco se desarrolla en la niñez y para la edad adulta, la mayoría de las personas han desarrollado arcos normales (Salud, Pie Plano).

La Figura 44 muestra que el pie plano es una inclinación del hueso del talón hacia el interior (pronación).



Figura 44. Pie plano

Fuente: (Salud, Pie Plano).

Pie plano en el niño.

El pie plano en el niño es la deformación en la cual el arco interno del pie ha disminuido su altura o ha desaparecido. Como expresión de un defecto congénito es extremadamente raro, se va conformando después de los 4 años, motivado por un desequilibrio entre la magnitud de la carga del peso corporal y la resistencia muscular-ligamentosa del pie.

Los niños se quejan de: marcha tardía, cansancio precoz (quiere que lo lleven en brazos), deformación del calzado, desgastado el borde interno del taco, dolores en las pantorrillas y cara anterior de las piernas y calambres nocturnos.

En la adolescencia, las molestias se mantienen, pero en la generalidad de los casos, cuando hay buen desarrollo muscular, llegan a hacerse asintomáticos (Medicina).

Pie plano anterior

Corresponde a la más frecuente de todas las patologías ortopédicas del pie.

Es un síndrome doloroso ubicado en toda la extensión del apoyo anterior o metatarsiano del pie (talón anterior) (Medicina).

Causa

Se produce por una sobrecarga del peso del cuerpo, exagerada y sostenida, sobre el apoyo metatarsiano o talón anterior del pie. Dentro de las principales causas tenemos:

- ✓ Obesidad.
- ✓ Larga y mantenida estadía de pie.
- ✓ Pie equino patológico (poliomielitis).
- ✓ Alineamiento anormal de la cabeza de los metatarsianos.
- ✓ Por causas congénitas, uno o varios metatarsianos son más cortos o más largos que los vecinos. Ello genera una especial sobrecarga sobre algunos puntos de apoyo (cabeza de metatarsiano) (Medicina).

Consecuencias

Separación del 1º y 5º metatarsianos, por separación de sus puntos de apoyo.

Distensión progresiva de todo el aparato ligamentoso que une entre sí las cabezas de los metatarsianos (arco plantar anterior).

El peso del cuerpo es proyectado directamente sobre las cabezas de los metatarsianos centrales (callosidad plantar central) (Medicina).

✓ Pie bot

Corresponde a una compleja deformación congénita del pie, caracterizada por la existencia de cuatro deformidades simultáneas: equino, varo, aducto y cavo (Medicina).

Está considerado dentro del grupo genérico del llamado "pie zambo". Se define como pie zambo aquel que presenta algún grado de deformidad en la estructura arquitectónica de su esqueleto. Se incluyen en este grupo el pie plano-valgo, el pie cavo o equino, etc. El pie bot es, por lo tanto, una variedad de pie zambo, que muestra todas las deformaciones posibles dentro de un pie (Medicina).

Características

Es una deformación relativamente frecuente, y conforman, junto a la luxación congénita de la cadera y la escoliosis, el grupo de las más destacadas deformaciones esqueléticas del niño. En nuestro medio se presenta un caso entre 1.000 nacidos vivos, siendo dos veces más frecuente en hombres que en mujeres.

Con frecuencia se da por lesiones congénitas del esqueleto (displasia de cadera) o de otros sistemas. Ello obliga a un examen completo del niño con pie bot y a descartar la existencia de otra deformación relacionada (Medicina).

Causas

Teoría mecánica: posición viciosa del pie dentro del útero, como consecuencia de mala posición del feto, compresiones anormales por bridas amnióticas, tumores, feto grande, embarazo gemelar, *oligoamnios*, etc.

Teoría genética: producido por un trastorno cromosómico primitivo o tendencia hereditaria.

Teoría neuromuscular: es la más aceptada, y corresponde a una ruptura del equilibrio entre la potencia contracturante de los grupos musculares gemelo-sóleo, responsable del *equinismo*, de los tibiales que determinan la supinación y de los músculos internos del pie que provocan el cavus y la aducción. Ver Figura 45. (Medicina).

Un determinante genético, al parecer, dejaría de actuar en un período del desarrollo embrionario determinando la falta de conexiones nerviosas del sistema nervioso periférico con las del sistema piramidal y extra-piramidal. Ello determina un desorden en la inervación motora de los diversos grupos musculares antagonicos del pie (Medicina).

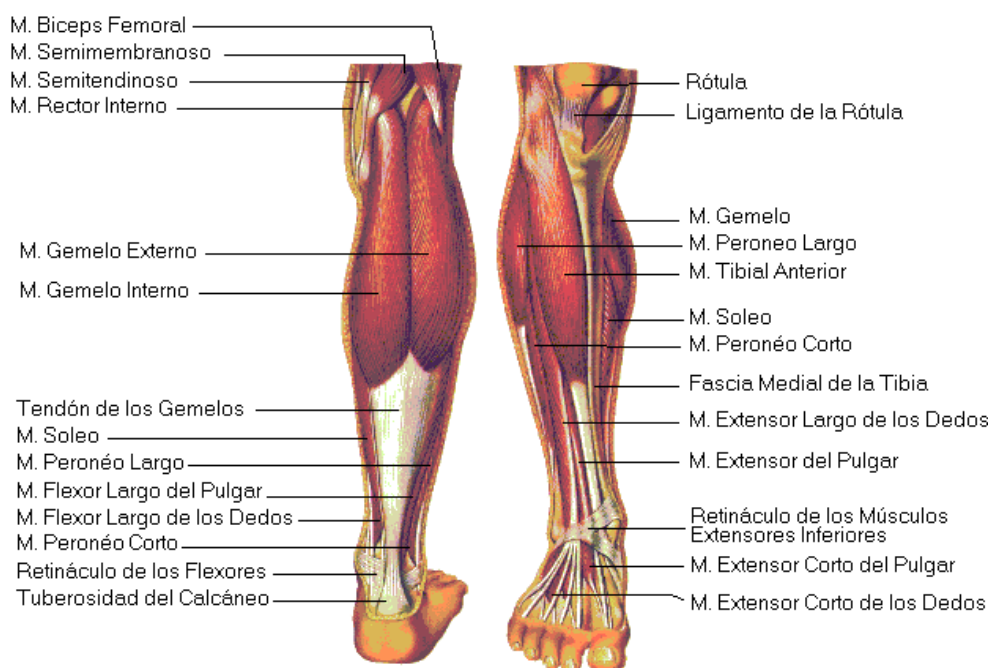


Figura 45 Músculos de la pierna

Fuente: (Grancol).

Estudio Clínico

✓ **Equino:** el pie está en flexión plantar permanente y su eje tiende a seguir el de la pierna. El individuo realizará la marcha con el apoyo del antepie (marcha de puntillas).

Suele encontrarse asociado a otro tipo de deformidades del pie:

Pie equino varo (zambo)

Pie equino valgo (parálisis del músculo tibial posterior).

Pie equino de los trastornos neuromusculares, Especialmente por parálisis cerebral infantil. Es la más frecuente (Muñoz, 2006).

En la Figura 46 se muestran imágenes de pies neurológicos. Derecho: pie equino; izquierdo: pie talo valgo.

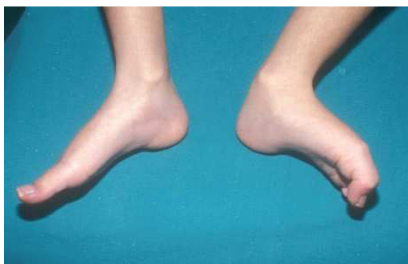


Figura 46. Pie equino

Fuente: (Pediatria, 2006).

✓ **Cavus:** Es la alteración morfológica del pie, se caracteriza por la elevación exagerada del arco longitudinal interno, que se traducirá en una disminución del área plantar de apoyo (contrario al pie plano). Estos pies tienen una mayor elevación del empeine dando el aspecto de ser más cortos y los dedos pueden tener forma de "garra" y puede haber reducción de la flexibilidad del pie entre otros problemas (Salud, Pie plano). La edad de presentación es de 8 a 12 años, aunque es ocasiones está presente al nacer con el primer dedo en garra (Muñoz, 2006).

En la Figura 47 se realiza una comparación del arco existente en un pie normal y en un pie cavo.

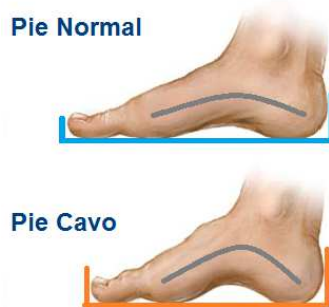


Figura 47. Pie Cavo.
Fuente: (Salud, Pie Plano).

✓ **Varo:** la planta del pie mira hacia adentro, el borde interno se eleva y el externo descende. Provoca separación de las rodillas (Medicina). El pie varo postural, por torsión tibial interna, se debe a la posición intrauterino de las extremidades inferiores (Muñoz, 2006).

En la Figura 48 se aprecia que el talón está invertido y el antepié en aducción (pie varo).



Figura 48. Pie derecho varo
Fuente: (Pediatría, 2006).

✓ **Aducto:** el antepié se presenta en aducción con respecto al retropié (Medicina).

La Figura 49 muestra una desviación medial de los dedos.



Figura 49. Pie aducto
Fuente: (Pediatría, 2006).

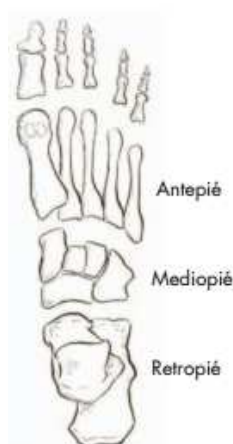


Figura 50. Antepié, mediopié y retropié

Fuente (Muñoz, 2006).

✓ **Torsión interna del eje de la pierna:** el pie entero ha girado hacia adentro según el eje vertical de la pierna, acompañándola en este movimiento de torsión interna (Medicina).

1.4. PODOLOGÍA

La Podología es la especialidad sanitaria que se dedica a la prevención, diagnóstico y tratamiento de las afecciones y deformidades de los pies. El podólogo es el especialista formado universitariamente y de forma específica en la patología del pie.

Hay muchas enfermedades sistémicas, como las enfermedades reumáticas, la diabetes, o trastornos de la circulación, que en una primera fase se manifiestan en los pies; estos casos son derivados por el podólogo a otros profesionales especializados en el tema, al igual que estos profesionales cuando tienen algún paciente con problemas podológicos suelen derivarlos a los podólogos, como especialistas más calificados en la patología del pie, además de contar con los más precisos y modernos medios técnicos (Lopez).

1.5. BAROPODOMETRÍA

Según Arce, C. la baropodometría es un “Método diagnóstico que emplea un dispositivo electrónico computarizado (baropodómetro) que permite el análisis/

registro gráfico de las huellas plantares y sus características biomecánicas desde el punto de vista estático, dinámico y posturográfico.

La baropodometría se encarga del análisis de la huella plantar:

1.5.1. ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA ELECTRÓNICA.



Figura 51. Elementos que componen un Sistema de Baropodometría
Fuente: (Encarnación, 2012).

✓ **Plantillas Instrumentadas:** Son mostradas en la Figura 52. Estas permiten el registro y análisis dinámico de la distribución de las presiones durante el apoyo del pie. Este sistema presenta como ventaja que permite analizar la interacción entre la plantilla – pie – calzado de manera directa. Otra ventaja es la mayor libertad de movimientos que permite el sistema al poder introducirse dentro del calzado y poder caminar libremente.

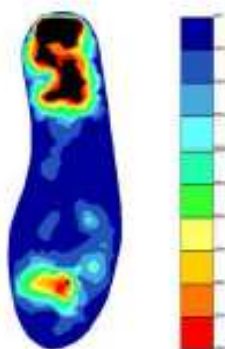


Figura 52. Gráfica del registro de presiones máximas durante la marcha
Fuente: (Ortopédico, 2006).

✓ **Tarjeta de Adquisición de datos:** la cual se encuentra directamente conectada a la plantilla y mediante un dispositivo de transferencia inalámbrica se envían las señales a un computador para su procesamiento.

✓ **Software:** el cual muestra la interfaz gráfica que permite observar los cambios de presión en las diferentes zonas del pie, y la información obtenida se guarda en una base de datos para el diagnóstico y tratamiento (Encarnación, 2012).

La Figura 53 muestra un examen de baropodometría dinámica.

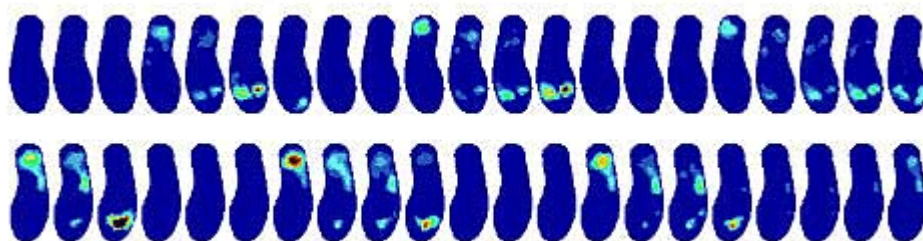


Figura 53. Secuencia de las presiones plantares mostradas en el software.
Fuente: (Ortopédico, 2006).

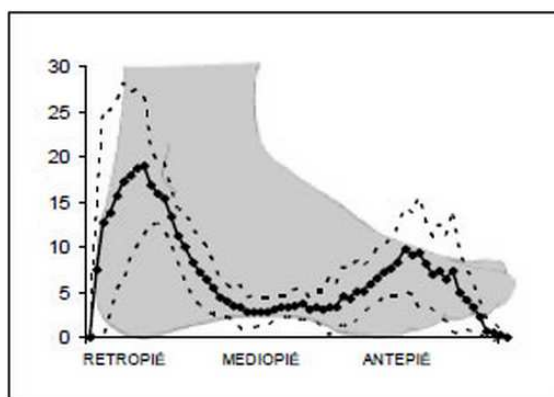


Figura 54. Comportamiento de presiones plantares en las zonas del pie.
Fuente: (Elvira, 2008).

1.5.2. ANÁLISIS DEL CICLO DE MARCHA

La marcha humana se caracteriza por una sucesión de doble apoyo y de apoyo unipodal, es decir que durante la marcha el apoyo no deja nunca el suelo, mientras

que en la carrera, como en el salto, existen fases aéreas, en las que el cuerpo queda suspendido durante un instante (Sanz).

El ciclo de marcha

Para su mejor descripción y comprensión observar la Figura 55.

Este ciclo está dividido en fases:

El ciclo de marcha es la secuencia de acontecimientos que tienen lugar desde el contacto de un talón con el suelo, hasta el siguiente contacto del mismo talón con el suelo.

Durante un ciclo de marcha completo, cada miembro inferior considerado pasa por dos fases:

- ✓ Fase de apoyo: en la cual el pie de referencia está en contacto con el suelo. (60% del ciclo).
- ✓ Fase de oscilación: en la que el pie de referencia está suspendido en el aire. (40% del ciclo).

Estas fases se dividirán en subfases, según la siguiente secuencia:

El ciclo se inicia con el impacto de talón en el suelo; al 15% el antepié también contacta con el suelo, por lo que esta subfase se denomina "pie plano sobre el suelo" o media; al 40% del ciclo, el talón comienza a elevarse del suelo (subfase de despegue de talón o final), al 50%, despega el antepié, que culmina al 60% del ciclo con el despegue de los dedos, lo que indica también el comienzo de la fase de oscilación.

Existen dos periodos de apoyo bipodal o doble apoyo, que se caracterizan porque los dos pies contactan con el suelo: uno está iniciando el contacto de talón mientras que el otro, próximo a la fase de despegue, se apoya por la cabeza del primer metatarsiano y el pulpejo del dedo gordo.

Estos periodos tienen un porcentaje de duración de alrededor de un 10%, cada uno, y, también hay durante un ciclo de marcha dos periodos de apoyo monopodal durante los cuales tan sólo un miembro inferior contacta con el suelo y sobre él recae el peso del cuerpo.

Los cuatro periodos en que se divide el ciclo de marcha son, por tanto:

✓ Primer periodo de doble apoyo: comienza cuando el pie tomado como referencia toma contacto con el suelo por el talón, frenando la aceleración del cuerpo hacia delante y culmina con el despegue del miembro contralateral.

✓ Primer apoyo unipodal o periodo portante: el peso del cuerpo recae en la extremidad tomada como referencia, mientras el miembro contralateral esta oscilando.

✓ Segundo doble apoyo: El pie considerado se apoya solo por el antepié en el suelo y está en situación posterior acelerando el cuerpo hacia delante, es el miembro propulsor o miembro activo dinámico.

✓ Segundo apoyo unipodal o periodo oscilante: El pie que en el tiempo anterior solo se apoyaba por el antepié en el suelo, ha despegado e inicia su periodo oscilante (Sanz).

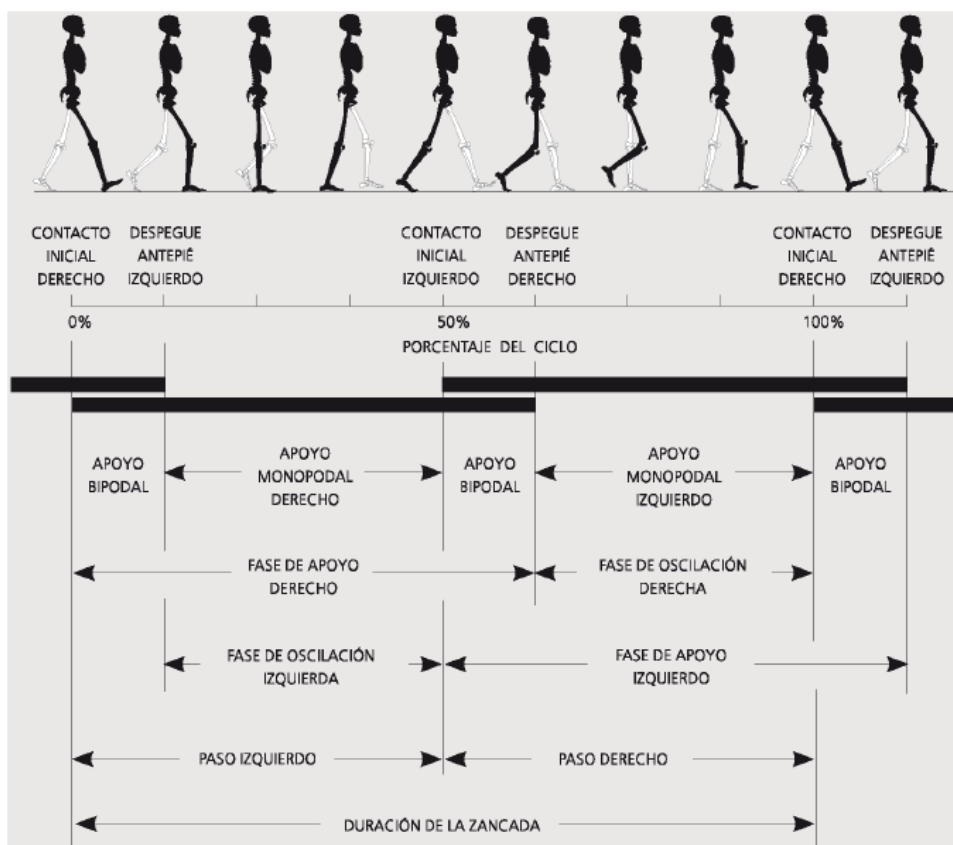


Figura 55 Ciclo de Marcha

Fuente: (Encarnación, 2012).

1.5.3. DISTRIBUCIÓN DE LAS PRESIONES PLANTARES EN LA PISADA Y FACTORES QUE LA MODIFICAN

Debido a que un sistema de baropodometría se encarga del registro de presiones plantares, se analizará en forma estática y dinámica.

En el registro estático se conoce que las zonas que mayor presión soportan durante el apoyo bipodal se localizan en el talón y la cabeza de los metatarsianos (el primero soporta en doble de la presión de los demás). Sin embargo existen estudios que aseguran que la proporción entre la presión sobre el talón y la cabeza de los metatarsianos es la misma (Morton, 1948), mientras que existen otros estudios que indican que varía entre una proporción 5:3 ó 3:1 (Burger, 1952; Hutton y cols.,1976 respectivamente).

Cabe destacar que la presión sobre la zona del mediopié suele ser bastante baja de forma que la carga del peso corporal se transmite desde la zona trasera del pie hacia la delantera.

Según Cavanagh y Ae (1980), la zona delantera del pie es la que mayores cambios y variaciones experimenta, mostrándose aquí la mayoría de patologías del pie.

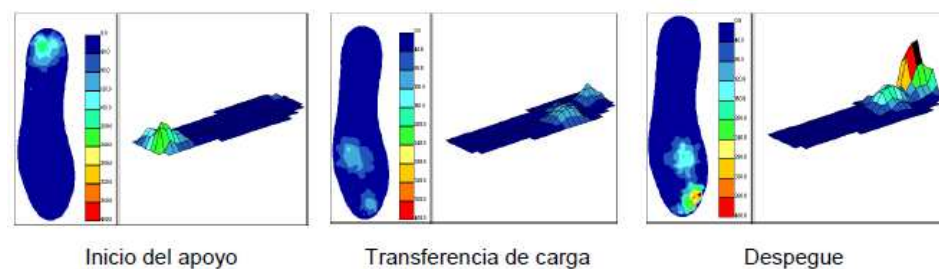


Figura 56. Distribución de las presiones durante la marcha por fases.

Fuente: (Encarnación, 2012).

Factores que influyen en la distribución de presiones

- ✓ Peso corporal
- ✓ Rango de movilidad articular
- ✓ Estructura del pie
- ✓ Cinemática de la marcha
- ✓ Edad: estudios realizados a niños entre 6 a 10 años muestran picos de presión mucho más pequeños para los niños que para los adultos en todas las presiones anatómicas y se atribuye este hecho a la presencia de un área de contacto relativa con el peso mucho mayor en niños que en adultos (Hennig, Staats y Rosenbaum 1994).
- ✓ Patologías.
- ✓ Calzado: estudios demuestran que el uso del calzado reduce las presiones alcanzadas en el talón, proporcionando una pisada más homogénea sobre el talón. De la misma manera las presiones alcanzadas sobre los metatarsianos centrales se desplazan hacia una zona medial y la máxima presión se alcanza sobre la cabeza del 1er y 2do metatarsiano. Los dedos

toman contacto con el suelo en un mayor porcentaje en la fase de apoyo en comparación de la fase con el pie descalzo. Soames (1985)

CAPITULO II

HARDWARE

2. DISEÑO DEL SISTEMA A IMPLEMENTAR

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA A IMPLEMENTAR

En el presente proyecto se va a diseñar un prototipo portátil para analizar la pisada en forma estática y dinámica en niños de talla del pie No. 28 que sea capaz de graficar en el PC las huellas plantares y curvas de presión, con la capacidad de almacenar los datos sensados para su posterior análisis.

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA A DISEÑARSE

El prototipo tendrá:

- ✓ 1 par de plantillas instrumentadas flexibles talla No. 28.
- ✓ 2 entradas de 15 canales analógicos cada una para conectarse a las plantillas del paciente.
- ✓ Switch de selección de pie (izquierdo y derecho) y de encendido y apagado del sistema.
- ✓ Comunicación con el PC en forma inalámbrica a través de un dispositivo Bluetooth mediante el estándar 802.15
- ✓ Interface gráfica de usuario desarrollada en el entorno de Labview.
- ✓ PC para indicar la interfaz gráfica
- ✓ Alimentación de Batería.
- ✓ Sistema portátil
- ✓ Dimensiones reducidas.

ESQUEMA DEL SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA ELECTRÓNICA

El prototipo a diseñarse está constituido por 5 bloques, como se muestra en la

Figura 57.

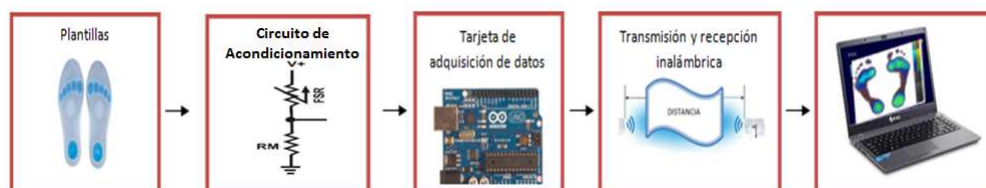


Figura 57. Esquema del Sistema de Baropodometría Electrónica.

El bloque de plantillas instrumentadas está formado por un par de plantillas flexibles, implementadas con sensores de presión que se introducen dentro del calzado, obteniendo con esto el mapa de presiones plantares durante la marcha.

El bloque del Circuito de Acondicionamiento se encarga de alimentar a los elementos del sistema y de garantizar un comportamiento adecuado del sensor de acuerdo a los requerimientos.

El bloque de la Tarjeta de Adquisición de datos está conectado a las plantillas, su función es recibir los datos sensados y mediante un dispositivo Bluetooth enviarlos a un computador para su procesamiento.

El bloque del Software muestra la interfaz gráfica que permite observar las características de las huellas plantares para su diagnóstico y tratamiento

2.1. DISEÑO DE LAS PLANTILLAS INSTRUMENTADAS

DESCRIPCIÓN DE PLANTILLAS INSTRUMENTADAS

Las plantillas a diseñarse serán elaboradas con sensores de fuerza, que permiten el registro de las presiones que ejerce cada zona del pie del paciente en un examen estático y dinámico.

REQUERIMIENTOS DE LAS PLANTILLAS A DISEÑAR.

- ✓ 15 Sensores de fuerza resistivos de 0 a 10 Kg (por cada plantilla).
- ✓ Circuito impreso en material flexible (hojas de fibra de vidrio epóxico) como se observa en la Figura 60.
- ✓ Fomix con el fin de establecer un ángulo de giro a los pines del sensor y soldarlos a la placa evitando su daño o quiebre.
- ✓ 1 conector de 16 pines.

ESQUEMA DE LAS PLANTILLAS A DISEÑAR.

El esquema general de las plantillas a diseñarse está constituido por 3 bloques:

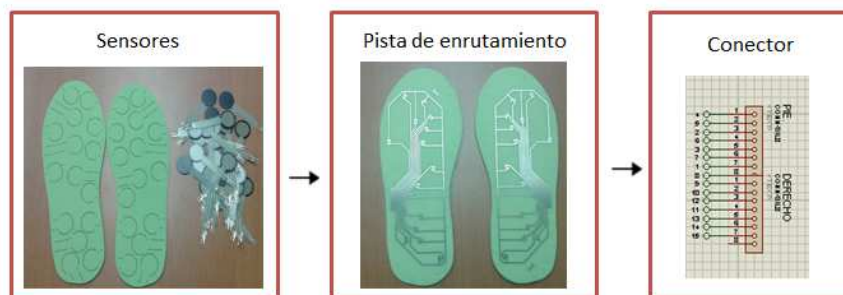


Figura 58. Esquema de las plantillas instrumentadas

El bloque de sensores está constituido por 30 elementos sensibles a la presión (15 para cada plantilla), el bloque de la pista enrutada dirige los 2 pines de cada sensor a un conector de 16 hilos y finalmente el bloque del conector envía las señales a la tarjeta de acondicionamiento.

2.1.1. DISEÑO DEL BLOQUE DE SENSORES

DESCRIPCIÓN DEL BLOQUE DE SENSORES

El bloque de sensores cumple con la función de medir los valores de presión durante la pisada en forma estática y dinámica.

REQUERIMIENTOS DEL BLOQUE DE SENSORES.

- ✓ 15 sensores de fuerza hasta 10kg.

ESQUEMA DEL BLOQUE DE SENSORES



Figura 59. Esquema del bloque de sensores

El sensor deberá tener un pin de alimentación y otro para conectarse a tierra, o algún elemento de acondicionamiento.

SELECCION DEL SENSOR DE PRESIÓN.

Tabla 2. Comparación de los sensores de fuerza.

Parámetros	Criterio	Sensor		
		FSR 0,2"	FSR 0,5"	FSR 1,5"
Forma	Circular	Si cumple	Si cumple	No cumple
Dimensiones	≤ 12,7mm	Si cumple	Si cumple	No cumple
Rango	10 kg	No cumple	Si cumple	Si cumple

El sensor seleccionado es el FSR 0.5'', debido a que cumple con los 3 parámetros de interés.

CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR

SENSORES FSR (Sensor de Fuerza Resistivo)

El sensor FSR está formado por una película gruesa de polímero, es un dispositivo que presenta una disminución en la resistencia con un aumento en la fuerza aplicada a la superficie activa (Electronics).

Este sensor está construido por dos capas separadas por un espaciador.

En la Figura 61 se muestra las partes características del sensor, su ubicación, y disposición de materiales del mismo.

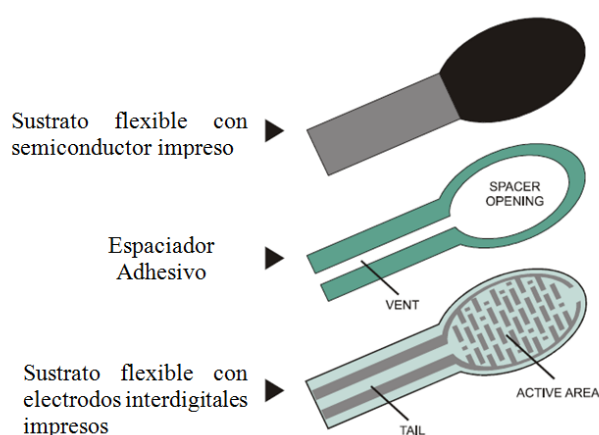


Figura 60. Sensor FSR

Fuente: (Electronics).

Dimensiones del Sensor

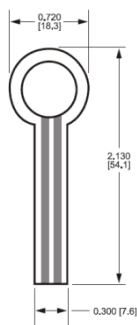


Figura 61. Dimensiones del sensor FSR de 5''
Fuente: (Electronics).

Características técnicas del sensor

Tabla 3. Características técnicas del sensor

Área Activa	12,7 mm de diámetro
Espesor nominal	0.46mm
Capa semiconductor	0.13mm
Espaciador Adhesivo	0.15mm
Capa Conductora	0.13mm
Rango de Resistencia	Infinita o circuito abierto sin presión 100 K Ω Mínima presión 200 Ω Máxima presión
Rango de fuerza	0-20 lb 0-100 Newtons
Fuente de Alimentación	Menor a 1mA de Corriente

2.1.2. DISEÑO DE LA PISTA DE ENRUTAMIENTO

DESCRIPCIÓN DE LA PISTA DE ENRUTAMIENTO

El bloque de la pista de enrutamiento cumplirá con la función de llevar las señales de los 15 sensores a un conector, además conectará un pin de cada sensor entre sí con el fin de obtener un punto común para la alimentación.

REQUERIMIENTOS DE LA PISTA DE ENRUTAMIENTO

- ✓ Material flexible.

ESQUEMA DE LA PISTA DE ENRUTAMIENTO.

El esquema de la Figura está formado por los 3 bloques que se muestran en la Figura 62:

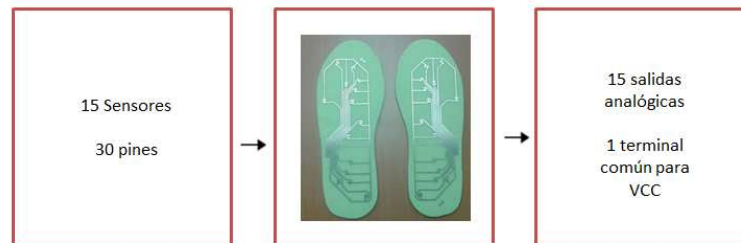


Figura 62. Esquema de la pista de enrutamiento.

La pista de enrutamiento tendrá 30 pines de entradas y 16 salidas (15 analógicas y 1 punto común).

CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DE LOS SENSORES PARA LA PLANTILLA INSTRUMENTADA

Para establecer un patrón para nuestras plantillas se realizó lo siguiente:

✓ Se observó los puntos de mayor presión en las diferentes pisadas. Los cuales son:

Pisada pronadora: los puntos de presión son en la unión entre el dedo gordo y segundo dedo del pie, extremo izquierdo del mediopié, y parte media del retropié o talón. Ver Figura 63.

Pisada Neutra: los puntos de presión son el primer metatarsiano del dedo gordo del pie, parte media del mediopié, un poco a la izquierda de la parte central del retropié. Ver Figura 63.

Pisada Supinadora: los puntos de presión son el primer metatarsiano del dedo gordo del pie, extremo derecho del mediopié, y parte media del retropié o talón. Ver Figura 63.

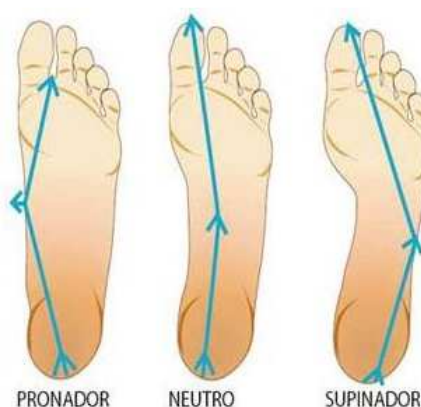


Figura 63. Puntos de presión en diferentes tipos de pisada

Fuente: (Cohen, 2013).

✓ De acuerdo a estudios realizados:

- Las presiones plantares en estática

En apoyo bipodal el peso del cuerpo se transmite a lo largo de ambas extremidades inferiores llegando a cada pie el 50% de su valor total. El primer hueso del pie, el astrágalo, tiene por misión distribuir esta fuerza hacia sus puntos de apoyo. El pie en estática presenta dos triángulos, uno posterior o de apoyo, que va desde el calcáneo hasta la cabeza de los metatarsianos, y otro anterior o de propulsión que está constituido por los metatarsianos y los dedos.

Al analizar la biomecánica del pie estático y tratar de entender cuál es la proporción de peso que iría hacia el talón y cuál hacia el antepié se han planteado muchas teorías. Según Morton “Esta proporción es la misma, se distribuye en un 50% hacia cada lugar”, sin embargo, Viladot, Padovani, Arcan, entre otros, dicen que hay una carga mayor en el talón.

La verdad es que la distribución el peso es difícil de calcular, ya que en una misma persona varia significativamente debido al balanceo normal del cuerpo o lo que Smith denomina como “dynamic standing”.

El balanceo hace que el peso que soportan las diferentes zonas varíe constantemente, y esta distribución depende también de la

posición del pie. Además, es importante anotar que la metodología utilizada en los diferentes estudios que se han realizado para registrar las presiones plantares influye también en que éstas sean muy variadas.

En general, casi todos los estudios coinciden en que la presión en el talón es superior a la hallada en el resto del pie y en que en la banda externa del mediopié los valores de presión son muy bajos. En el antepié, al cargar, se produce un descenso del arco transversal con apoyo de las cabezas de los cinco metatarsianos, cuya forma de apoyo ha sido muy debatida.

Los dedos del pie presentan un apoyo relativamente débil, pero en el dedo gordo se observan valores de presión superiores; de esta manera Hughes et al. indican que durante el apoyo estático el primer dedo apoya en un 97% de los sujetos del estudio, recibiendo la mayor presión de todos ellos, aunque Rozema et al. no diferencian entre el dedo gordo y los demás, habiendo hallado un valor similar.

✓ **Presiones plantares durante la marcha:**

El peso que llega al suelo durante la marcha no es uniforme.

Se suele aceptar que la máxima presión local de todo el pie se registra en el talón y esto se produce durante su contacto inicial con el suelo, aunque hay autores como San Gil que indican que la principal zona de apoyo es el antepié. Grundy et al. describen que la máxima presión ocurre en el momento en que también contacta el borde lateral de las cabezas metatarsianas. Lo importante es que todos concuerdan en que conforme avanza el peso del cuerpo a la zona central del talón y aumenta la superficie de apoyo, la presión se va reduciendo.

Las zonas de presión son bastante parecidas a las encontradas en estática. Las diferencias son la aparición de nuevas áreas y el aumento de la superficie de la zona central del talón posterior

En cuanto al mediopié se acepta, en general, que no cumple ningún papel en la transferencia del peso del talón al antepié Aunque autores como Perry y Sánchez Lacuesta hablan de que la presión en esta área representa un 10% de la del contacto máximo del talón. (Alvarez, 2006)

Llegando a la conclusión de que la zona de mayor presión es el talón se colocarán la mayor cantidad de sensores en dicha zona (5 sensores). Además tomando en cuenta los puntos de mayor presión de los diferentes tipos de pisada, la distribución inicial de los sensores queda de la siguiente manera:



Figura 64. 1er Patrón de ubicación de los sensores

✓ Se realizó un muestreo con niños de talla del pie número 28 en la escuela “Rafael Armijos Valdivieso”. Verificando si los puntos de medición se encuentran ubicados de una manera correcta obteniendo el segundo patrón que se muestra en la Figura 65.



Figura 65. 2do Patrón de ubicación de los sensores

✓ De acuerdo a los requerimientos para la elaboración de la placa se reajusta las posiciones de cada sensor quedando el patrón definitivo como lo indica la Figura 66:

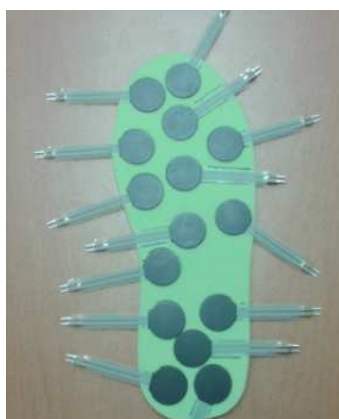


Figura 66. Patrón final de ubicación de sensores.

Finalmente el bloque del esquema de la plantilla tiene la siguiente forma



Figura 67. Plantilla Instrumentada

2.1.3. DISEÑO DEL CONECTOR

DESCRIPCIÓN DEL CONECTOR.

El bloque del conector facilitara la conexión entra la plantilla instrumentada y la tarjeta de Adquisición de datos.

REQUERIMIENTOS DEL CONECTOR.

- ✓ Tipo plano y delgado.
- ✓ 16 pines.

ESQUEMA DEL CONECTOR.

El esquema del conector está formado por 3 bloques que se muestran en la Figura 68.

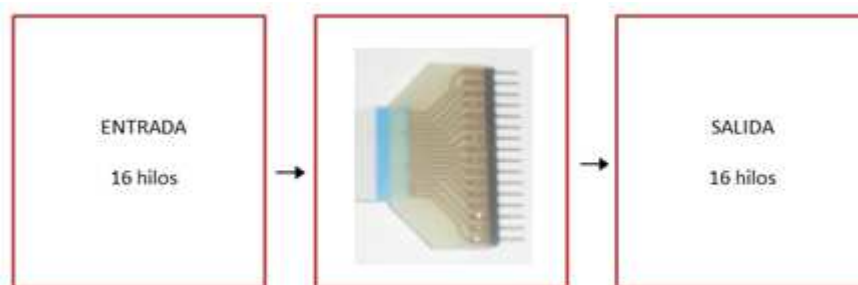


Figura 68. Esquema del conector

El conector tendrá 16 hilos de entrada provenientes de la plantilla y 16 hilos de salida que se dirigen a la Tarjeta de Adquisición.

2.2. DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

El bloque del circuito de acondicionamiento cumplirá con la función de alimentar a la tarjeta de adquisición de datos, polarizar y obtener señales de voltaje en un rango de 0 a 5V de cada sensor.

REQUERIMIENTOS DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

- ✓ Dimensiones reducidas
- ✓ Alimentación de voltaje suministrada por batería.
- ✓ 30 salidas analógicas.

- ✓ 30 entradas analógicas.
- ✓ Convertidor de 11 V a 9 V.

ESQUEMA DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

El circuito de acondicionamiento se va a diseñar de acuerdo al esquema mostrado en la Figura 69, que consta de 3 bloques.

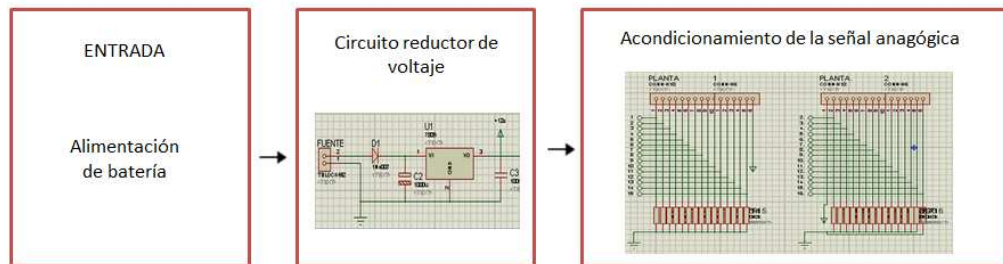


Figura 69. Esquema del circuito de acondicionamiento

En el esquema a diseñarse el bloque de Alimentación de batería proveerá el voltaje necesario para el funcionamiento del sistema de baropodometría, el bloque del circuito reductor de voltaje se encargará de convertir los 11.1 V de entrada en 9 V de salida y el bloque de acondicionamiento de la señal analógica a través de una resistencia permitirá la obtención de los valores de voltaje.

2.2.1. DISEÑO DEL BLOQUE ALIMENTACIÓN DE BATERÍA

DESCRIPCIÓN DEL BLOQUE DE ALIMENTACIÓN DE BATERÍA

Este bloque es el encargado de proporcionar los 11.1V para alimentar el sistema proveniente de una batería que garantice un funcionamiento de alrededor de 3 horas.

REQUERIMIENTOS DEL BLOQUE DE ALIMENTACIÓN DE BATERÍA

- ✓ 1 batería de 11.1V.
- ✓ Capacidad de corriente de 850 mA.

ESQUEMA DEL BLOQUE DE ALIMENTACIÓN DE BATERÍA

La alimentación a batería está formada por 2 bloques como se indica en la Figura 70.



Figura 70. Esquema del bloque de alimentación de batería.

El bloque de transformación de 110 V AC a 12 V DC está compuesto por un adaptador de 110 V AC a 12 V DC, el mismo que se conectará al bloque de batería para cargarla.

2.2.2. DISEÑO DEL CIRCUITO REDUCTOR DE VOLTAJE

DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO REDUCTOR DE VOLTAJE

El circuito reductor de voltaje se encarga de recibir una señal de voltaje y transformarla en una menor de acuerdo a los requerimientos de los sensores y la tarjeta Arduino.

REQUERIMIENTOS DEL CIRCUITO REDUCTOR DE VOLTAJE

- ✓ Regulador de 11 V a 9 V.
- ✓ Circuito de Protección.

ESQUEMA DEL CIRCUITO REDUCTOR DE VOLTAJE

El circuito reductor de voltaje está constituido por 2 bloques como se muestra en la Figura 71:

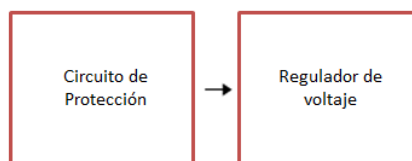


Figura 71. Esquema del circuito reductor de voltaje.

El módulo del circuito de protección se encarga de proteger al circuito cuando la entrada está mal polarizada y el modulo regulador de voltaje se encarga de convertir los 11 V a 9 V.

DISEÑO DEL CIRCUITO DE PROTECCIÓN

Para el diseño del circuito de protección se ha considerado usar un semiconductor que permita el paso de corriente en un solo sentido, de esta manera se protege el circuito cuando la entrada se encuentre mal polarizada, se ha tomado en cuenta también que este semiconductor debe soportar una corriente de al menos 1 A.

DISEÑO DEL CIRCUITO REDUCTOR DE VOLTAJE

Para el diseño del circuito reductor de voltaje se consideró el Regulador 7809, el cual posee 3 terminales como se observa en las Figuras 72 y 73.

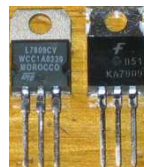


Figura 72. Regulador 7809

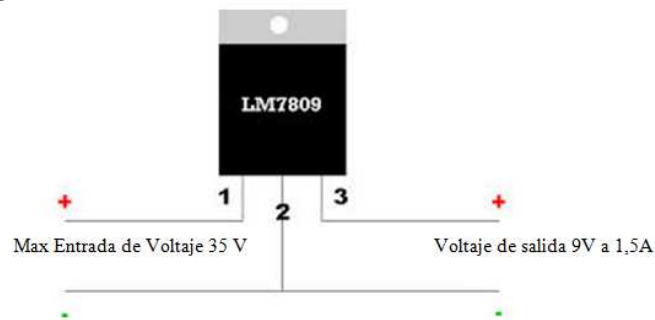


Figura 73. Terminales del Regulador LM7809

2.2.3. DISEÑO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL ANALÓGICA

DESCRIPCIÓN DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL ANALÓGICA

El circuito de acondicionamiento de la señal analógica tendrá la función de formar un divisor de voltaje entre el sensor y la resistencia y de esta forma

determinar la variación de voltaje en función de la presión ejercida sobre cada sensor.

REQUERIMIENTOS DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL ANALÓGICA

- ✓ Rango de voltaje de 0V – 5V
- ✓ 30 entradas analógicas.
- ✓ 30 salidas analógicas.
- ✓ Circuito divisor de voltaje para cada sensor.
- ✓ Conector para la salida.

ESQUEMA DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL ANALÓGICA

El esquema del acondicionamiento de la señal analógica está formado por 3 bloques:

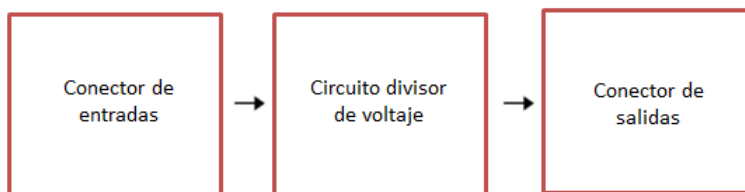


Figura 74: Esquema de acondicionamiento de la señal analógica

El módulo conector de entradas se encarga de polarizar los sensores para enviarlas al circuito divisor de voltaje y obtener una señal en el rango de 0V a 5V en el módulo conector de salidas.

DISEÑO DEL CONECTOR DE ENTRADAS

Para el diseño del conector de entradas se ha considerado los 30 pines provenientes de las plantillas como se indica en la Figura 75.

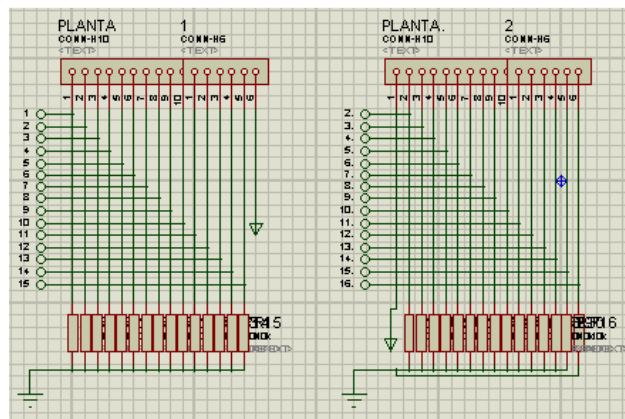


Figura 75. Simulación del conector de entradas

DISEÑO DEL CIRCUITO DIVISOR DE VOLTAJE

Para garantizar un rango adecuado de valores de voltaje se ha seleccionado una resistencia de 10 kΩ, de acuerdo a los parámetros establecidos por el fabricante del sensor, en la Figura 76 se puede observar que existe un mejor comportamiento del sensor con dicha resistencia.

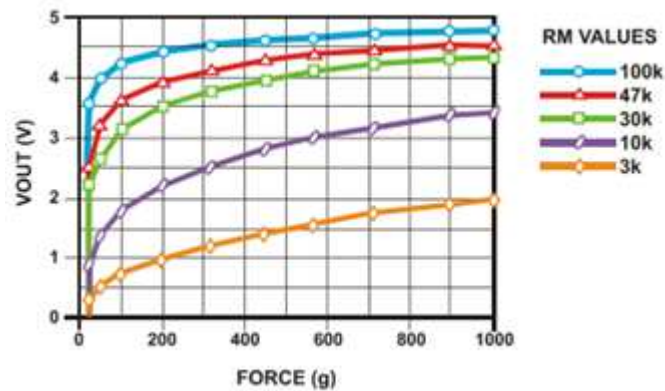


Figura 76. Curva característica del sensor

$$I = \frac{V_{cc}}{R} = \frac{5V}{10K\Omega}$$

$$I = 0.5\text{ mA}$$

Además se garantiza que con este valor de resistencia se obtiene un valor de corriente menor al máximo (1 mA).

DISEÑO DEL CONECTOR DE SALIDAS

Para el diseño del conector de salidas se ha considerado los 30 valores de voltaje provenientes del divisor.

ESQUEMA DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

El esquema del circuito de acondicionamiento se muestra en la Figura 77.

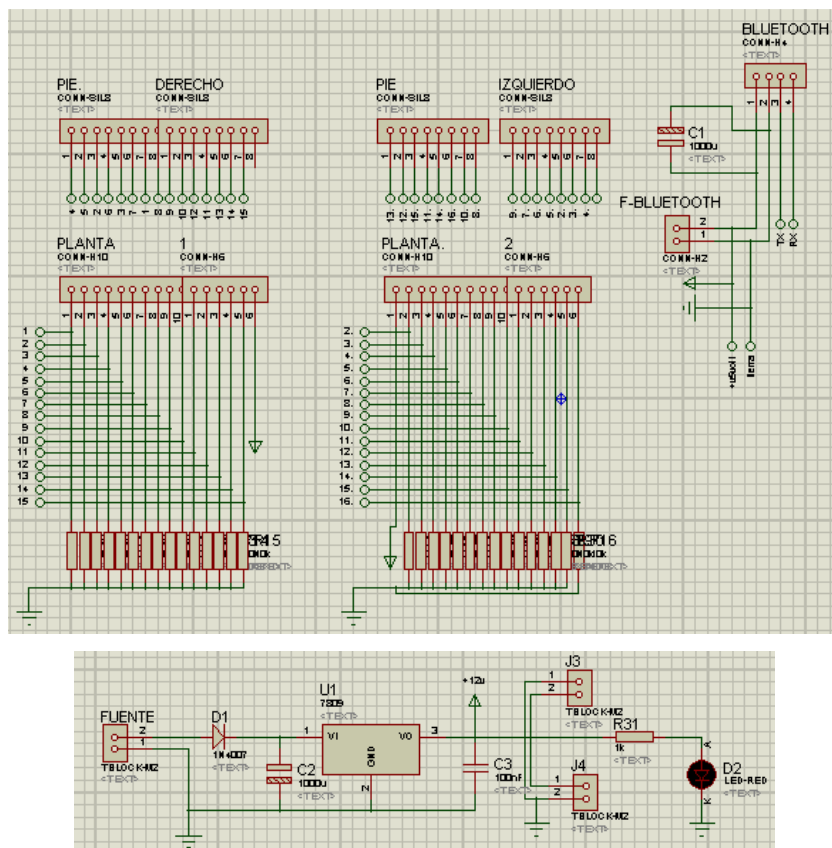


Figura 77. Esquema del circuito de acondicionamiento

Finalmente el circuito de acondicionamiento queda de la siguiente forma:

La Figura 78 ofrece una visualización en Ares de la disposición de los elementos y la ruta del circuito de acondicionamiento.

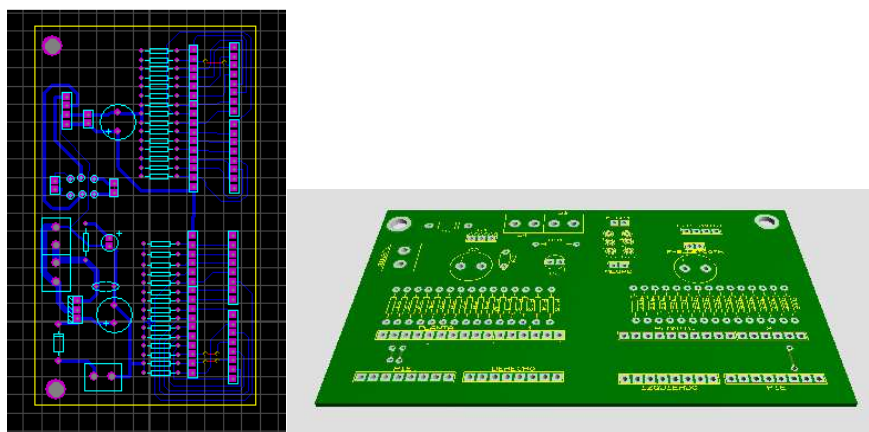


Figura 78. Esquema en Ares del circuito de acondicionamiento.

La Figura 79 muestra la disposición de los elementos en forma real en Ares.

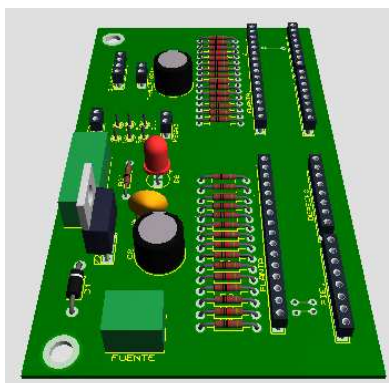


Figura 79. Visualización 3D del circuito de Acondicionamiento

2.3. DISEÑO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

DESCRIPCIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La tarjeta de Adquisición de datos recibirá las señales analógicas enviadas por cada uno de los sensores en forma de voltaje y las enviará a través del módulo Bluetooth al computador.

REQUERIMIENTOS DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- ✓ 30 entradas analógicas (por lo cual se utiliza dos Arduino Mega 2560).
- ✓ Voltaje de alimentación 11.1 V
- ✓ Comunicación Bluetooth.
- ✓ Manejo de señales analógicas de 0V a 5V.

ESQUEMA DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La Tarjeta de Adquisición de Datos debe tener los siguientes bloques como se muestra en la Figura 80:

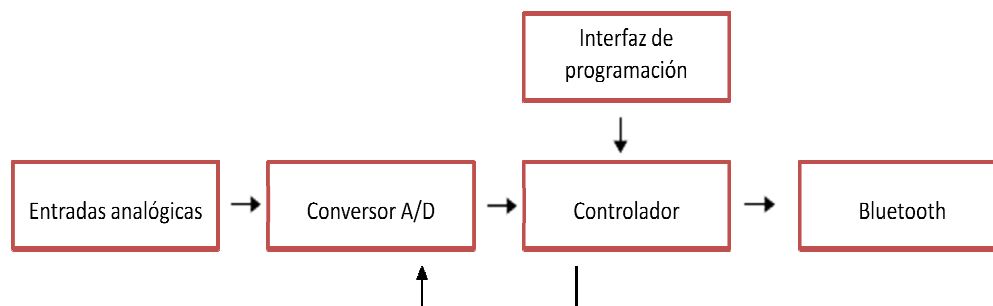


Figura 80. Esquema de la Tarjeta de Adquisición de Datos

El bloque convertor A/D debe tener al menos 15 entradas analógicas, el módulo del controlador deber ser capaz de controlar al convertor A/D y debe ser programado a través del software Arduino vía USB, además debe tener un módulo bluetooth.

DISEÑO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN

En vista de que en la actualidad existen tarjetas de adquisicion ya fabricadas vamos a seleccionar la que se ajusta a nuestros requerimientos.

Selección de la tarjeta

Parámetros para la selección de la tarjeta

Tabla 4. Parámetros de selección de la tarjeta de Adquisición

Parámetros	Descripción
# de entradas	15
Conexión Bluetooth	Si
Compatibilidad con Labview	Si

En el mercado se han conseguido varias tarjetas, el proveedor SmartProjects ofrece los modelos que se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Comparación de las tarjetas Arduino

		SmartProjects	SmartProjects	SmartProjects
Parámetros	Criterio	Arduino Uno	Arduino Mini	Arduino Mega
No. Entradas	15	No cumple	No cumple	Si cumple
Comunicación	Bluetooth	No cumple	No cumple	Si cumple
Software compatible	Labview	Si cumple	Si cumple	Si cumple
Conversor	A/D	Si cumple	Si cumple	Si cumple
Alimentación	Inferior a 11	Si cumple	Si cumple	Si cumple

Debido a que se necesitan en total 30 entradas analógicas resulta conveniente utilizar únicamente 2 tarjetas Arduino Mega además dicha tarjeta permite comunicación vía Bluetooth parámetro fundamental en nuestro proyecto, es compatible con el software Labview y puede utilizar como fuente de alimentación una batería.

DESCRIPCIÓN DE LA TARJETA, PARAMETROS TECNICOS

El Arduino Mega 2560 es una tarjeta electrónica que contiene 54 entradas / salidas digitales (de los cuales 15 pueden utilizarse para salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas seriales), un cristal de 16MHz, conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP y un botón de reset.

Alimentación.

El Mega Arduino puede ser alimentado a través de:

- ✓ Conexión USB: proporcionado por el computador.
- ✓ Externa (no USB) puede provenir de un adaptador de AC-DC ó de batería. La tarjeta puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios.

Memoria

El ATmega2560 tiene 256 KB de memoria flash para almacenar código, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM. Fuente: (Arduino, ARDUINO MEGA 2560, 2014).

Tabla 6. Características técnicas Arduino Mega 2560

Microcontrolador	Atmega 2560
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines E/S digitales	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por pin	40 Ma
Intensidad en pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Puertos seriales por Hardware UART	4
Conector	USB, ICSP
Jack de poder	Si
Botón de reset	Si

Fuente: (Arduino, ARDUINO MEGA 2560, 2014).

La tarjeta de adquisición de datos Arduino Mega 2560 se muestra en la Figura 81.

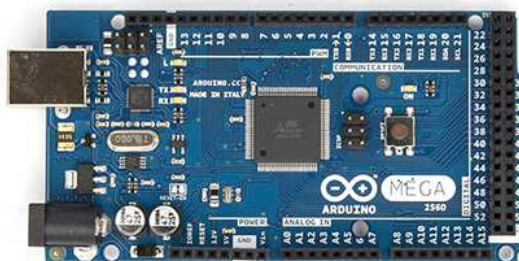


Figura 81. Arduino Mega 2560

Fuente: (Arduino, ARDUINO MEGA 2560, 2014).

ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL PROTOTIPO TOTAL

En la Figura 82 se observa el esquema de conexión diseñado en Autocad en el cual se muestra la plantilla izquierda con su conector JI1 y la plantilla derecha con su conector JD1, estos sirven para enlazar las plantillas con el bus de datos al conectar JI1 con JI2 y JD1 con JD4.

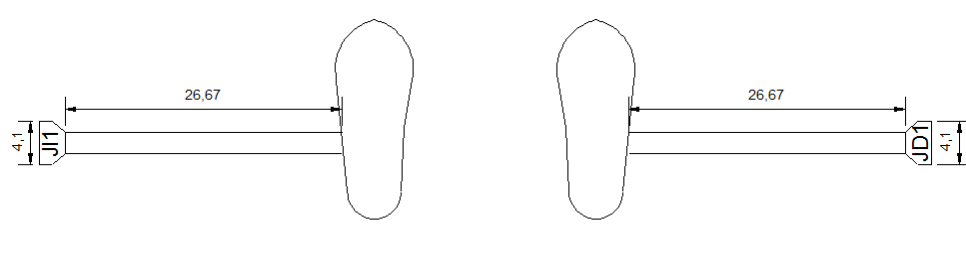


Figura 82. Esquema de conexión de las plantillas

En la Figura 83 se muestra el bus de datos con conectores JI2 y JI3 para la plantilla izquierda y JD4 y JD5 para la plantilla derecha los cuales deberán conectarse al circuito de acondicionamiento de la siguiente manera: JI3 con J12 y JD5 con J13.

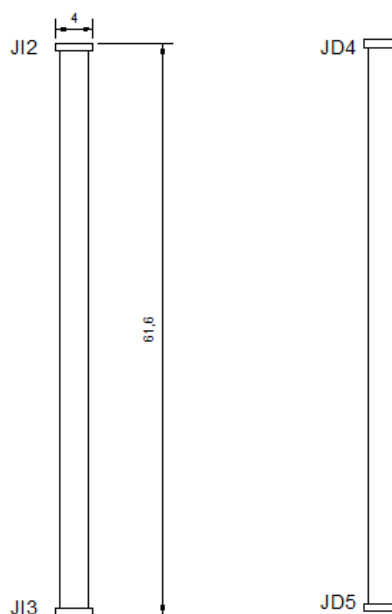


Figura 83. Esquema de conexión del bus de datos

La Figura 84 describe el circuito de acondicionamiento del sistema de baropodometría con sus respectivos conectores, J9, J10, J11, J12, J13, J14a, J14b, J15a y J15b, los mismos que permitirán la conexión con las tarjetas de adquisición de datos arduino Mega 2560 por medio de los conectores: J14a con J23, J14b con J22, J15a con J16, J15b con J17, J6 con la bormera de conexión ON/OFF, J7 con J19 y J25, J8 con J20, J9 con J26, J10 con J18, J11 con J28.

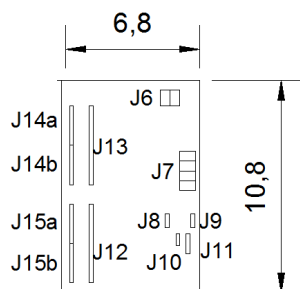


Figura 84. Esquema del circuito de acondicionamiento

La Figura 85 muestra las 2 tarjetas de adquisición de datos Arduino mega 2560, cada una de ellas tiene un nombre asociado a los conectores que permiten la conexión entre el circuito de acondicionamiento y el módulo bluetooth. La tarjeta del pie izquierdo tiene los conectores J16, J17, J18, J19, J20, J21. y la del pie derecho J22, J23, J24, J25, J26, J27.

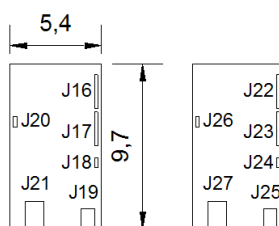


Figura 85. Esquema de conexión de las tarjetas de adquisición de datos

La Figura 86 indica el módulo bluetooth con su respectivo conector J28, el mismo que sirve para alimentarlo y conectar los pines de transmisión y recepción a las tarjetas de adquisición de datos conectando J28 con J11.

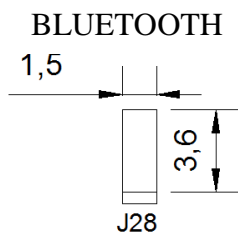


Figura 86. Esquema de conexión del prototipo total

La Tabla muestra un resumen de las conexiones del esquema general:

Tabla 7. Conexión del prototipo total

Conector Origen	Bloque	Conector Destino	Bloque
J11	Plantillas	J12	Bus de datos
JD1	Plantillas	JD4	Bus de datos
J13	Bus de datos	J13	Circuito de Acondicionamiento
JD5	Bus de datos	J12	Circuito de Acondicionamiento
J14a	Circuito de Acondicionamiento	J16	Tarjeta de Adquisición de datos Derecha
J14b	Circuito de Acondicionamiento	J17	Tarjeta de Adquisición de datos Derecha
J15a	Circuito de Acondicionamiento	J22	Tarjeta de Adquisición de datos Izquierda
J15b	Circuito de Acondicionamiento	J23	Tarjeta de Adquisición de datos Izquierda
J6	Circuito de Acondicionamiento	ON/OFF	
J7	Circuito de Acondicionamiento	J19,J27	Tarjetas de Adquisición
J8	Circuito de Acondicionamiento	J20	Tarjeta de Adquisición de datos Izquierda
J9	Circuito de Acondicionamiento	J26	Tarjeta de Adquisición de datos Derecha
J10	Circuito de Acondicionamiento	J18	Tarjeta de Adquisición de datos Izquierda
J11	Circuito de Acondicionamiento	J28	Bluetooth

2.4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO TOTAL

Se procede a la conexión de los elementos entre si con el fin de construir el prototipo diseñado

Las plantillas instrumentadas se muestra en la Figura 87 con sus conectores JD1 en la plantilla derecha y J11 en la plantilla izquierda

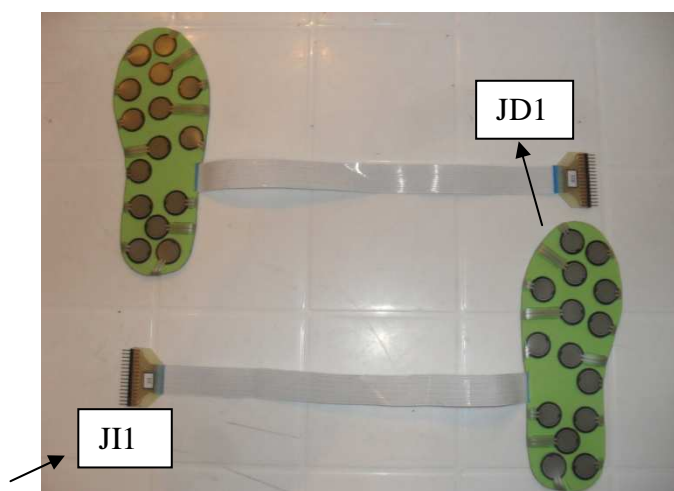


Figura 87. Plantillas Instrumentadas

El bus de datos tiene una longitud de 60 cm, sus conectores son JI2, JI3, JD4, JD5 como se muestra en la Figura 88.



Figura 88. Bus de datos

En la Figura 89 se muestra el circuito de Acondicionamiento en forma real con sus respectivos conectores J9. J10, J11. J12, J13, J14a, J14b, J15a y J15b

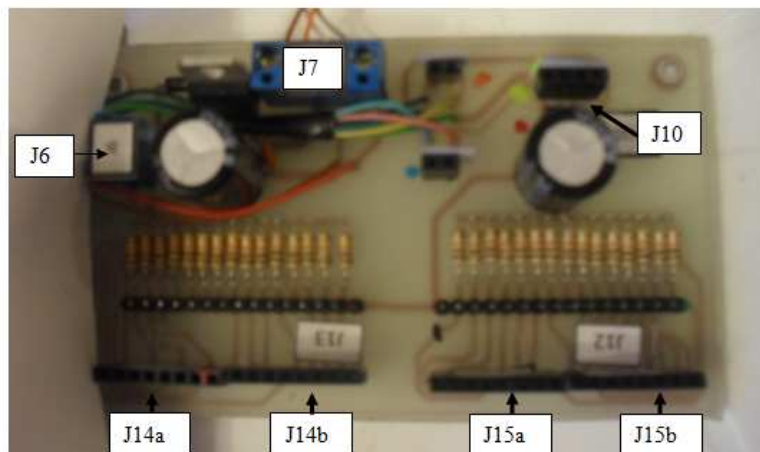


Figura 89. Circuito de Acondicionamiento en forma real

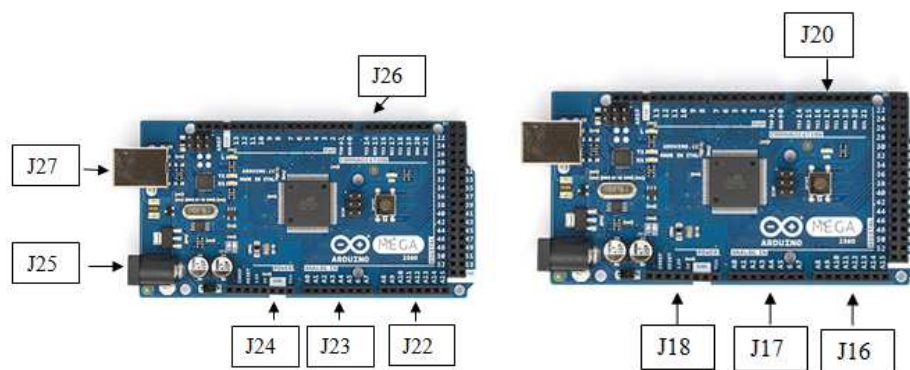


Figura 90. Tarjetas de adquisición en forma real. (derecha e izquierda)

El módulo Bluetooth el cual posee 4 pines los cuales son VCC, GND, TX y RX, dicho módulo se muestra en la Figura 91.

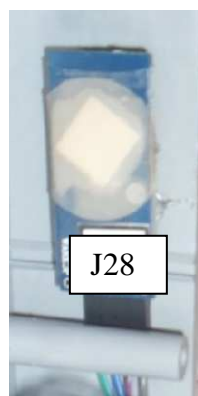


Figura 91. Módulo Bluetooth

Finalmente se realiza la conexión de cada elemento de acuerdo a la tabla 7 como se muestra en la Figura 92.



Figura 92. Implementación del prototipo total

2.5. DISEÑO DE LA CAJA

DESCRIPCIÓN DE LA CAJA

Se diseñará una caja para el sistema de baropodometría electrónica que deberá contener en su interior la tarjeta de adquisición de datos, el circuito de acondicionamiento y el módulo bluetooth además permitirá el encendido y apagado de todo el sistema y la visualización del establecimiento de la conexión bluetooth y el led de visualización de establecimiento de la comunicación

REQUERIMIENTOS DE LA CAJA

- ✓ Tamaño reducido
- ✓ Material liviano
- ✓ Switch para encendido y apagado y selección de pie derecho e izquierdo
- ✓ Indicadores led para el encendido del sistema y para la comunicación bluetooth.

DISEÑO DE LA CAJA PARA EL PROTOTIPO

Para el diseño de la caja para el prototipo se tomaron las siguientes consideraciones:

- ✓ Dimensiones del Circuito de Acondicionamiento: 6,8cm de largo por 10,8 cm de ancho.
- ✓ Dimensiones de la Tarjeta de Adquisición de datos 5,4 cm de largo por 9,7 cm de ancho, 1 cm de alto.

DISEÑO DE LAS CARAS DE LA CAJA

DISEÑO DE LAS CARAS ANTERIOR Y POSTERIOR

Para la cara anterior y posterior se ha considerado colocar el circuito de acondicionamiento a lado de la tarjeta de adquisición de datos, por lo que se obtiene un largo de :

$$\text{Largo} = 6,8 + 5,4 = 12,2\text{cm}$$

y considerando la altura con la medida de la tarjeta de mayor de mayor tamaño tenemos:

$$\text{Altura} = 10.8 \text{ cm}$$

Se debe tomar en cuenta el espacio para cables y también evitar el roce de los elementos con la caja y entre ellos. teniendo como dimensiones finales las que se muestra en la Figura 93:

$$\text{Largo: } 16.4$$

$$\text{Altura: } 12\text{cm}$$

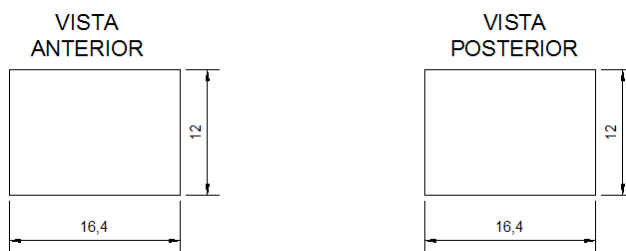


Figura 93. Caras anterior y posterior de la caja

DISEÑO DE LAS CARAS SUPERIOR E INFERIOR

Para su ancho consideramos la superposición de las 2 tarjetas de adquisición de datos y se obtiene: 2cm de ancho. Considerando que las tarjetas de Adquisición de Datos no deben tener contacto entre si se establece un ancho de:

Ancho: 6,8cm.

Las dimensiones de la cara superior e inferior se encuentran indicadas en la Figura 88:

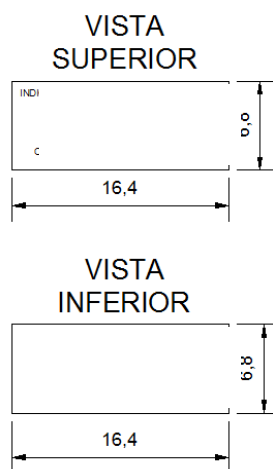


Figura 94. Caras anterior y posterior de la caja

DISEÑO DE LAS CARAS LATERALES (IZQUIERDA Y DERECHA)

Las dimensiones de las caras laterales se encuentran indicadas en la Figura 95, toman dichas dimensiones con el fin de garantizar el cierre total de la caja

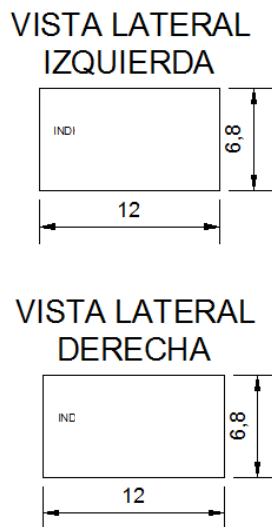


Figura 95. Caras anterior y posterior de la caja

Como se observa en la Figura 96 existe el espacio suficiente para la ubicación de la tarjeta de Adquisición de Datos Arduino Mega 2560 y el circuito de acondicionamiento.

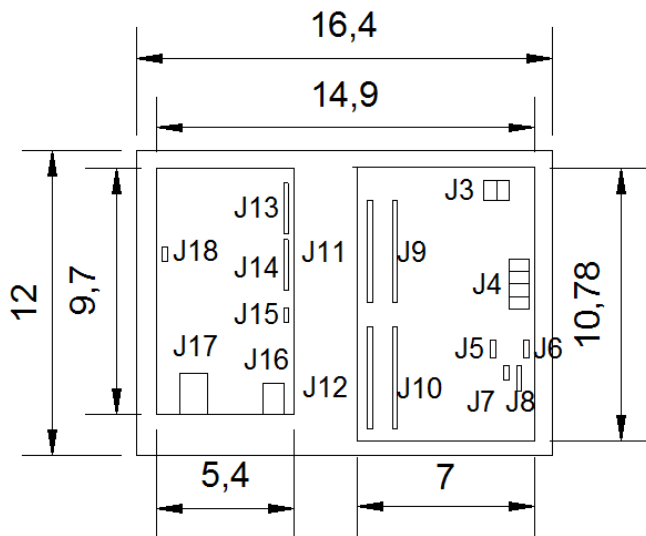


Figura 96. Ubicación del prototipo diseñado en la caja

Finalmente la caja diseñada se muestra en la Figura 97 con dimensiones de 16,4 cm de largo, 6,8 cm de ancho y 12 cm de alto.

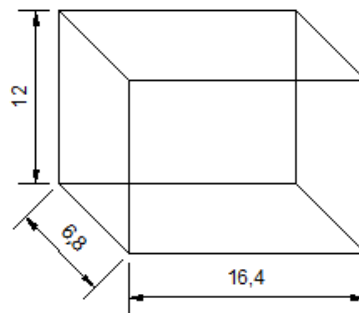


Figura 97. Esquema de la caja en 3 D con sus dimensiones

ELEMENTOS DE LA CARA SUPERIOR

La cara superior se muestra en la Figura 98 la cual contendrá:

- ✓ 1 diodo led el mismo que servirá de indicador ON/OFF.
- ✓ 2 switch (encendido y apagado el sistema, selección de pie izquierdo y derecho).

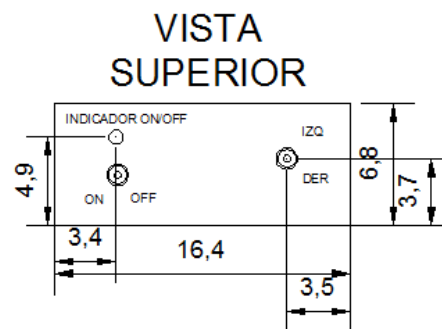


Figura 98. Vista superior de la caja acotada

ELEMENTOS DE LA CARA INFERIOR

La cara inferior se muestra en la Figura 99 la cual contendrá:

- ✓ Entrada para el bus de datos de cada una de las plantillas baropodométricas

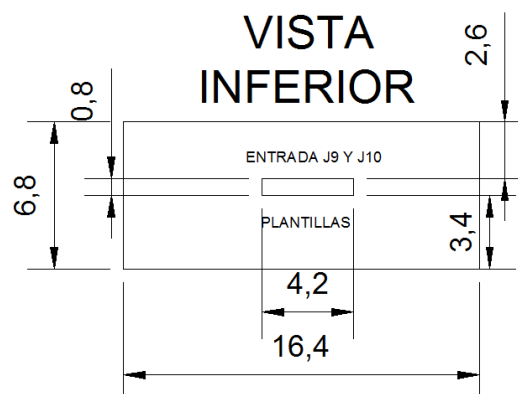


Figura 99. Vista inferior de la caja acotada

ELEMENTOS DE LA CARA LATERAL IZQUIERDA

La cara lateral izquierda se muestra en la Figura 100 la cual contendrá:

- ✓ 1 diodo led que indicará el establecimiento de la conexión entre el módulo bluetooth y el PC.

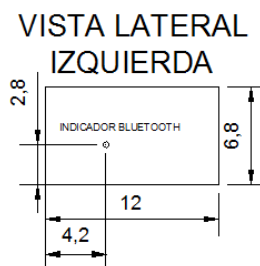


Figura 100. Vista lateral izquierda de la caja acotada

IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE LA CAJA

Una vez diseñado el prototipo del sistema y la caja procedemos a fijar los elementos dentro de la misma para lo cual utilizaremos un perno plástico de 5mm con el fin de superponer las 2 tarjetas Arduino Mega 2560 y reducir el espacio en la caja, se utilizan también dos tornillos de 2mm para sujetar el circuito de acondicionamiento a la caja. Los indicadores Led y switch están empotrados a la caja y sujetos con silicona, además existen etiquetas para identificación de conectores.

La caja se cierra totalmente con 4 tornillos.

En las siguientes figuras se puede observar en forma real el aspecto de la caja



Figura 101. Vista Superior del Prototipo de la caja



Figura 102. Vista Inferior del Prototipo de la caja



Figura 103. Vista Lateral Izquierda del Prototipo de la caja



Figura 104. Vista Lateral Derecha del Prototipo de la caja



Figura 105. Vista Anterior del Prototipo de la caja



Figura 106. Vista Posterior del Prototipo de la caja

Finalmente nuestro sistema de baropodometría queda implementado como se indica en las Figuras 107 y 108:



Figura 107. Sistema de Baropodometría Electrónica caja abierta



Figura 108. Sistema de Baropodometría Electrónica caja cerrada

CAPITULO III

SOFTWARE

3. DISEÑO DEL SOFTWARE

3.1 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DEL SOFTWARE PARA PC

El software para el prototipo se va a diseñar con una interface gráfica, la misma que se encargará de recibir las señales provenientes de la tarjeta de adquisición Arduino, procesarlas, almacenarlas y visualizar su comportamiento en la interface gráfica para determinar la pisada del paciente mediante la técnica de colorimetría sobre la huella plantar además el software a diseñar guardará los datos en archivos .xls para generar nuevamente el examen sin que el paciente este presente; también se le dotará al software la capacidad de capturar las pantallas de los resultados en formato .png para su posterior análisis.

Hemos considerado conveniente que el software del prototipo sea implementado bajo la plataforma Labview porque es compatible con la tarjeta Arduino Mega 2560 que ha sido seleccionada para el diseño del hardware, es capaz de tomar datos en tiempo real, presentar los mismos en forma gráfica y permitir conexión bluetooth.

DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE LABVIEW

Labview constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos.



Figura 109. Logo del Software de Programación Labview

Fuente: (Elsys, 2014).

Labview tiene varias ventajas que se detallan a continuación:

- ✓ Proporciona gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.

- ✓ Ofrece la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- ✓ Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- ✓ El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- ✓ Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.
- ✓ Emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.
- ✓ Posee extensas librerías de funciones y subrutinas.
- ✓ Proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.
- ✓ Los programas desarrollados mediante Labview se denominan instrumentos virtuales (VI). (Tutorial de Labview).

INTERFAZ LABVIEW PARA ARDUINO

El entorno de código abierto Arduino hace fácil escribir código y cargarlo a la placa E/S. Funciona en Windows, Mac OS X y Linux (Arduino, Descarga el Software de Arduino, 2014).



Figura 110. Logo ARDUINO
(Leon, 2014)

La interfaz de Labview para Arduino (LIFA) ToolKit es una herramienta gratuita que se puede descargar desde el servidor de NI (National Instruments) y que permite a los usuarios de Arduino adquirir datos del microcontrolador Arduino y procesarlos en el entorno de programación gráfica de Labview (Sanchez, 2013). Además permite a los usuarios centrarse en el desarrollo de aplicaciones de alto nivel en lugar de la configuración de la plataforma de bajo nivel (Hacker).

LIFA proporciona una sencilla pero potente API para entradas/salidas digitales, entradas analógicas, SPI, I2C, PWM y mucho más. (Hacker).

REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO DEL SOFTWARE PARA PC

- ✓ Adquisición de datos y procesamiento en tiempo real.
- ✓ Presentación en forma gráfica de la Huella Plantar.
- ✓ Curvas de presiones en cada zona del pie.
- ✓ Almacenamiento de datos.
- ✓ Visualización de datos posterior a la realización del examen.
- ✓ Sincronización bluetooth

FLUJOGRAMA GENERAL DEL SOFTWARE DEL PROTOTIPO

La Figura 111 muestra el flujograma general del software del prototipo en el cual primeramente se inicializan las variables con lo cual se encerraran los valores de los datos al inicio de la aplicación; además permite la selección del puerto COM para el establecimiento de la conexión bluetooth, luego se realiza la adquisición de datos en tiempo real de las señales provenientes de los sensores, se crea la interfaz gráfica seleccionando los elementos para el diseño de las pantallas, el procesamiento realiza la transformación de voltaje a presión, la creación de gráficas muestra las curvas de presión y la huella plantar además realiza la interpolación, y colorimetría, y finalmente la visualización de resultados permite la captura de cada una de las pantallas y almacena los datos para su verificación.

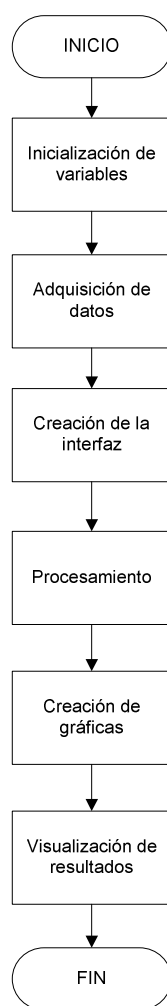


Figura 111. Esquema del diseño del Software

3.1. DISEÑO DEL PROCESO INICIALIZACIÓN DE VARIABLES

DESCRIPCION DEL PROCESO INICIALIZACIÓN DE VARIABLES

La inicialización de variables se encarga de poner en 0 las 15 filas del array, los booleanos se ponen en falso y los String en blanco para que estén listos para ser llenados con los datos adquiridos además a través de la selección del puerto COM conecta inalámbricamente el modulo bluetooth al computador.

Las variables inicializar son las siguientes:

Puerto COM: depende del puerto asignado a través del computador

Arduino: Mega 2560

Transmisión en baudios: 9600

Vía: BlueSmirf Bluetooth

Nombre, Edad, Sexo, Peso, Antecedentes en Blanco

Botones Finalizar, Realizar el examen, Visualizar resultados: Falso

Arreglos Presion Der, Presion Izq= 0

CÓDIGO DE LA INICIALIZACION DE VARIABLES

Las variables de entrada son Nombre, Edad, Peso, Sexo, Antecedentes y botón Finalizar como se observa en la Figura 112. Estas variables serán conectadas a una constante en blanco si son string o a una constante False si son boolean.



Figura 112. Inicialización de Variables y Tab Control

La Habilitación del puerto de comunicación se lo realiza a través del modulo INIT, el cual permite seleccionar la tarjeta Arduino a utilizar, el puerto com, la forma de comunicación, transmisión en baudios de acuerdo a los requerimientos como se observa en la Figura 113.

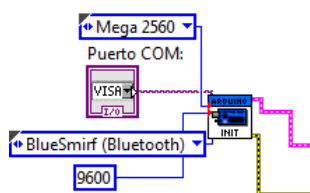


Figura 113 Módulo INIT

En la Figura 114 se observa como acceder a dichos módulos.

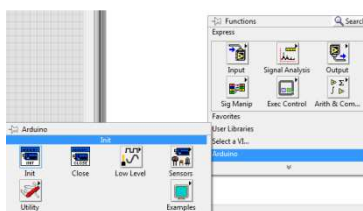


Figura 114. Módulos Arduino

Las variables de salida al finalizar el examen se establecerán las variables a su valor inicial, para lo cual los datos booleanos se pondrán en falso y los arreglos serán conectados al elemento Delete from array, el mismo que pone en 0 a todo el arreglo como se observa en la Figura 115.

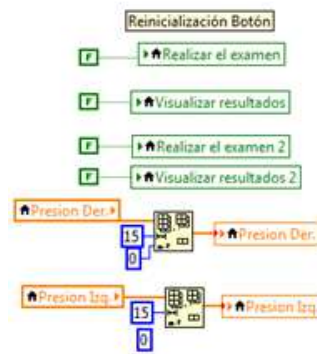


Figura 115. Inicialización de las variables

3.2. DISEÑO DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

DESCRIPCIÓN DEL MODULO ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos se encarga de la lectura en el PC de las 30 señales provenientes de los sensores por medio del módulo bluetooth.

FLUJOGRAMA DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS.

El proceso de Adquisición de datos inicia con el ingreso de los datos informativos del usuario por teclado, posteriormente el programa estará esperando la selección del puerto COM y no realizará ninguna acción hasta que éste sea ingresado, una vez elegido el puerto se establece la comunicación bluetooth y se realiza la lectura de los 30 valores de señales y el proceso finaliza como se muestra en la Figura 116.

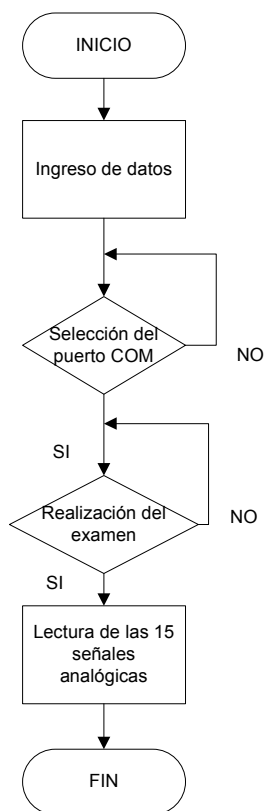


Figura 116. Figura: Flujograma de la adquisición de datos

CÓDIGO DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS

En el caso de seleccionar Realizar el examen se lee los 15 canales analógicos de la tarjeta Arduino a través del módulo Analog Read.

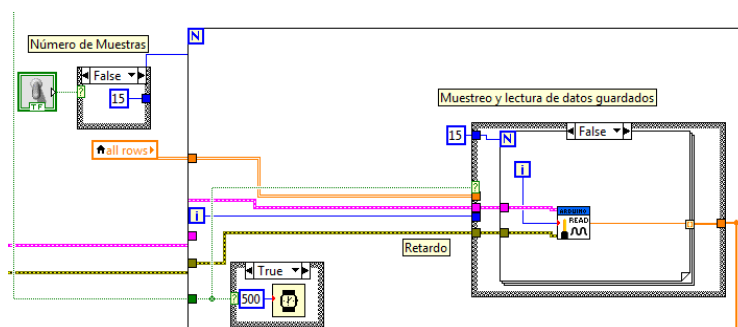


Figura 117. Lectura de las señales enviadas por la tarjeta de adquisición

La Figura 118 ilustra la ubicación en Labview del módulo Analog Read:

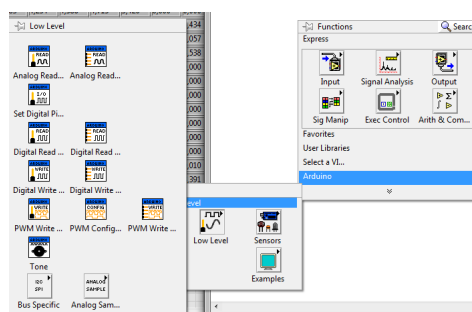


Figura 118. Analog Read

3.3. DISEÑO DEL MÓDULO CREACIÓN DE LA INTERFAZ

DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO CREACIÓN DE LA INTERFAZ

La creación de la interfaz estará compuesta por 2 ventanas, la primera contiene la carátula y la segunda estará compuesta por un contenedor de 5 pestañas el mismo que contiene los elementos necesarios para la realización y visualización de resultados del examen.

ESQUEMA DE LA CREACIÓN DE LA INTERFAZ

La creación de la interfaz está compuesta por 2 bloques como se muestra en la Figura 119:

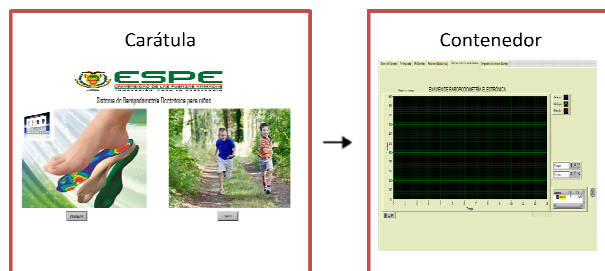


Figura 119: Esquema de la creación de la interfaz

El bloque carátula que contiene el logo de la Universidad para la cual se desarrollo el proyecto y 2 botones ingresar y salir que llamarán al bloque contenedor o finalizarán la aplicación, el bloque contenedor con sus 5 pestañas que permiten la realización y visualización del examen.

DISEÑO DE LA CARÁTULA (VENTANA 1)

DESCRIPCIÓN DE LA CARÁTULA (VENTANA 1)

La carátula inicializará la aplicación y permitirá el acceso al contenedor principal y la finalización de la aplicación.

FLUJOGRAMA DE LA CREACIÓN DE LA INTERFAZ

El botón run llama a la carátula y a través del botón ingresar se llama al contenedor, finalmente a través del botón fin de la aplicación contenedor se llama a la caratula y se puede finalizar la aplicación a través del botón salir, dicho proceso se muestra en la Figura 120.

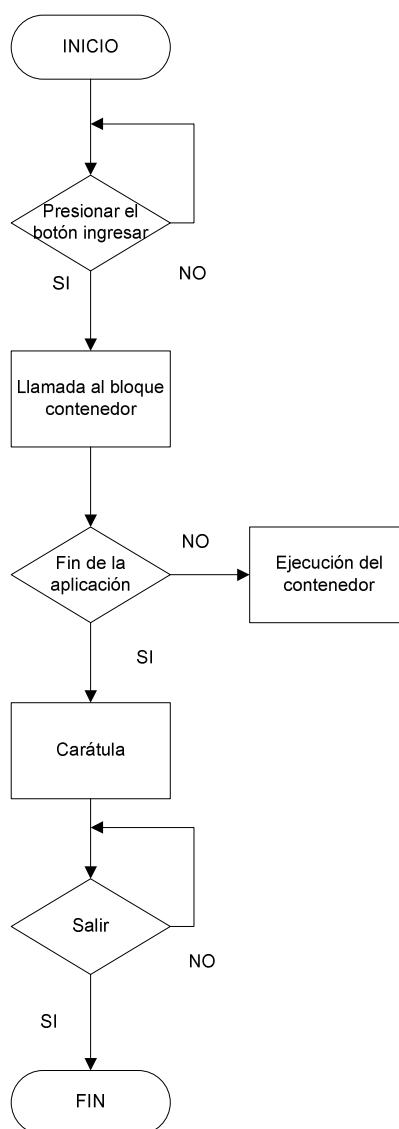


Figura 120. Flujograma de la creación de la interfaz

CÓDIGO DE LA CARÁTULA (VENTANA 1)



Figura 121. Carátula

Para entrelazar la caratula, a la segunda ventana se crea un botón booleano (INGRESAR) el cual en caso de ser verdadero llama a nuestro programa principal, en caso de ser falso no realiza ninguna acción lo que se puede observar en la Figura 122, un ciclo while con el fin de hacer repetitiva nuestra acción, y se coloca el botón stop (SALIR) para finalizar el programa.



Figura 122. Elaboración de la caratula

DISEÑO DEL CONTENEDOR

DESCRIPCIÓN DEL CONTENEDOR

El contenedor está compuesto por 5 pestañas, la pestaña 1 permitirá el ingreso de los datos del paciente, las pestañas 2 y 3 permiten la realización del examen y visualización de resultados mediante dos huellas plantares y un indicador de los valores de presión de los 15 sensores, la pestaña 4 muestra las gráfica x, y de las zonas de presión y la pestaña 5 permite la impresión de las últimas muestras de la huella plantar.

REQUERIMIENTOS DEL CONTENEDOR

- ✓ 4 controladores string
- ✓ 1 combo box
- ✓ 1 selector del puerto COM
- ✓ 2 OK button
- ✓ 1 indicador de la ruta de acceso
- ✓ 2 indicadores de fecha y hora
- ✓ 2 vertical toggle switch
- ✓ 30 color box
- ✓ 2 intensity graph
- ✓ 7 indicadores de array
- ✓ 3 indicadores string
- ✓ 1 indicador del combo box
- ✓ 2 push button
- ✓ 3 indicadores float
- ✓ 2 arreglos imágenes

CÓDIGO DEL CONTENEDOR

En la Figura se muestra el tab control que es un contenedor con varias pestañas.

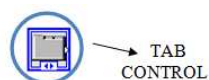


Figura 123. Tab Control

En la Figura 124 se explica en forma gráfica como encontrar el tab control en el entorno de programación de Labview.

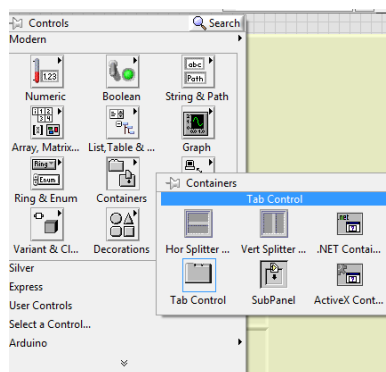


Figura 124. Localización del Tab Control en Labview

Pestaña Datos del Paciente

La Figura 125 muestra la pantalla Datos del Paciente la cual está constituida por 4 indicadores string para: Nombre, Edad, Peso, Antecedentes, 1 combo box para la selección del sexo: femenino o masculino, 1 indicador de selección del puesto COM, 2 vertical toggle switch para la selección de izquierdo/derecho, dinámico/estático y 1 OK button para finalizar la aplicación.



Figura 125. Datos del Paciente

En la Figura 126 se explica en forma gráfica como encontrar el indicador string y el combo box en el entorno de programación de Labview.

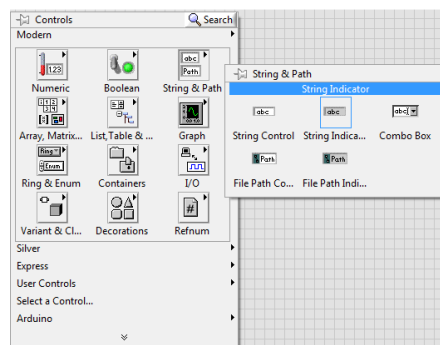


Figura 126. Localización del indicador string y combo box en Labview

En la Figura 127 se explica en forma gráfica como encontrar el vertical toggle switch, OK button y push button en el entorno de programación de Labview.

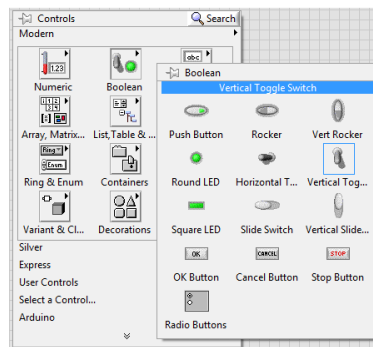


Figura 127. Localización de los indicadores booleanos en Labview

Pestaña Pie Izquierdo /Pie Derecho

La Figura 128 muestra la pantalla correspondiente a Pie Derecho/Pie Izquierdo, la misma que contiene 15 color box ubicados de acuerdo a la disposición de los sensores en la plantilla, 1 intensity graph para la degradación de colores de acuerdo a la presión registrada por los sensores, 1 indicador de array de 15 filas para mostrar en tiempo real los cambios de presión en cada sensor, 4 indicadores string y 1 indicador combo box para observar los datos ingresados del paciente y 2 push button para realizar el examen y visualizar resultados.

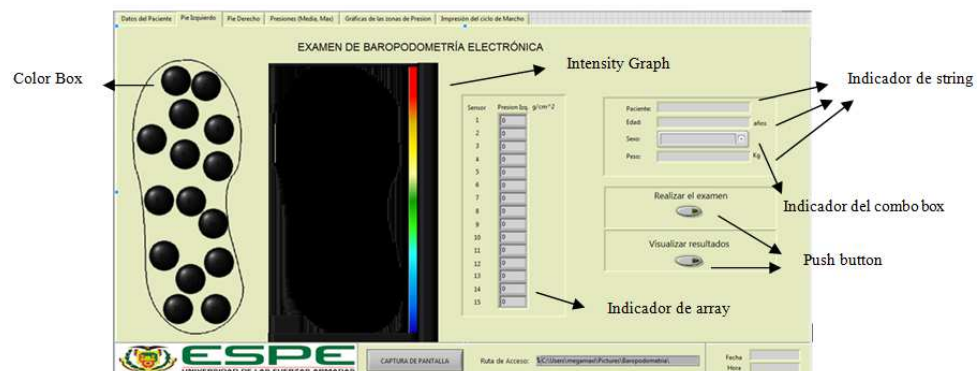


Figura 128. Pie Izquierdo /Pie Derecho

En la Figura 129 se explica en forma gráfica como encontrar el intensity graph en el entorno de programación de Labview.

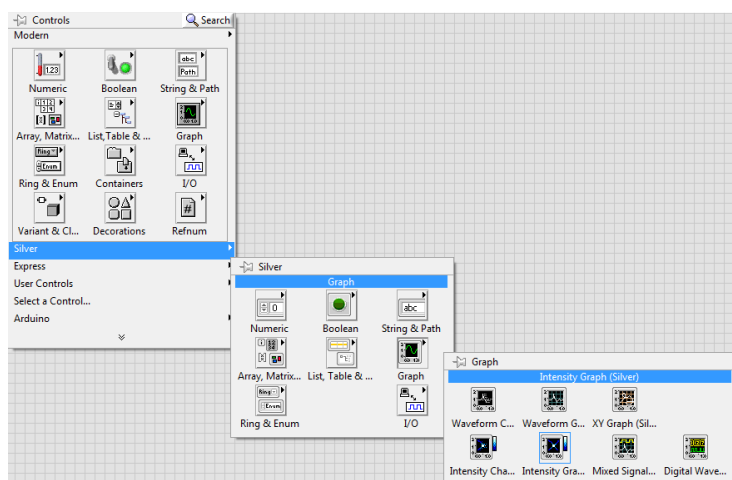


Figura 129. Localización del intensity graph en Labview

En la Figura 130 se explica en forma gráfica como encontrar el color box en el entorno de programación de Labview.

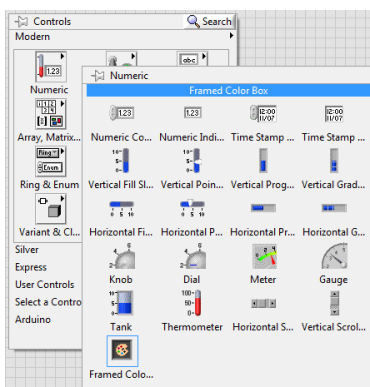


Figura 130. Localización del color box en Labview

Pestaña Presiones (Media, Máx)

La Figura 131 muestra la pantalla Presiones (Media, Máx), está compuesta por 5 indicadores array, 2 de ellos indican la presión máxima y media de los 15 sensores, los 3 restantes permiten ver la presión en cada zona del pie y 6 indicadores enteros para visualizar presiones media y máxima de cada zona del pie.

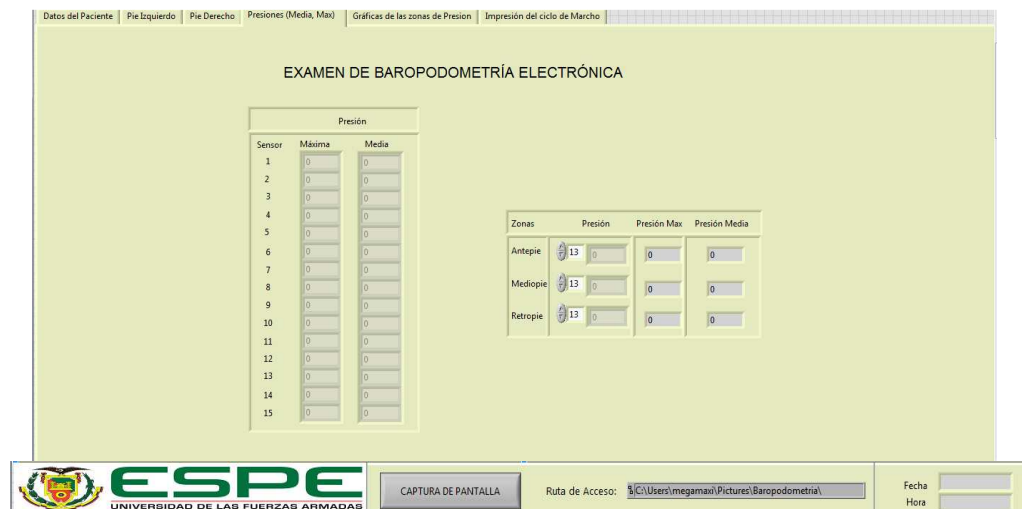


Figura 131. Pestaña Presiones (Media, Máx)

Pestaña Gráficas de las zonas de Presión

La Figura 132 muestra la pantalla Gráficas de las zonas de Presión, constituida por 1 waveform graph que permite visualizar las curvas de presión del antepié (azul), mediopié (verde) y retropié (rojo).

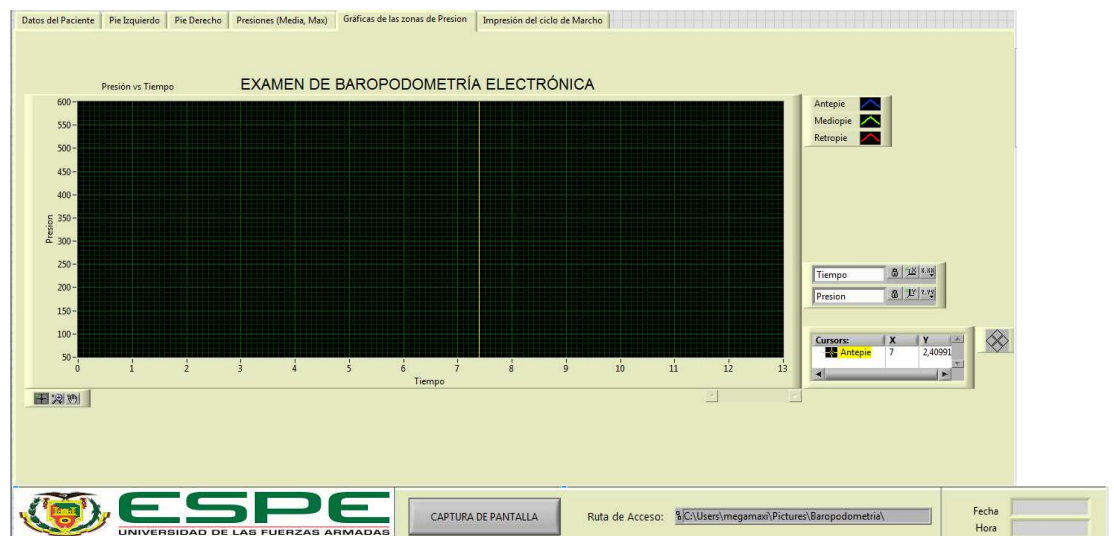


Figura 132. Gráficas de las zonas de Presión

En la Figura 133 se explica en forma gráfica como encontrar el waveform graph en el entorno de programación de Labview.

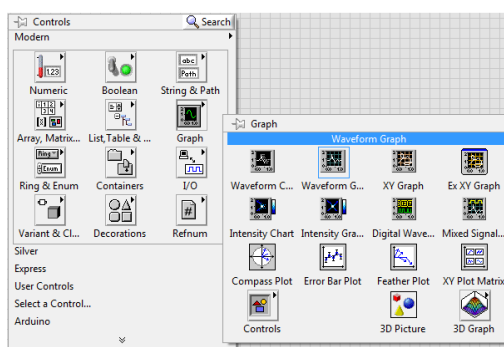


Figura 133. Localización del waveform graph en Labview

Pestaña Impresión del ciclo de Marcha

La Figura 134 muestra la pantalla de Impresión del ciclo de Marcha, constituida por 2 arrays de imágenes que muestran la presión de los sensores y la degradación de los colores en la huella plantar.



Figura 134. Impresión del ciclo de Marcha

3.4. DISEÑO DEL MÓDULO PROCESAMIENTO DE DATOS

DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos se encargará de almacenar los datos sensados, hallar los valores de presión en las zonas antepié, mediopié y retropié con sus correspondientes máximos y mínimos y transformar el valor de voltaje a g/cm^2 .

FLUJOGRAMA DEL MÓDULO PROCESAMIENTO DE DATOS

Como se observa en el flujograma que muestra la Figura 135 , el proceso que se ejecuta para el procesamiento inicia por el almacenaje de los 30 valores sensados, estos valores son almacenados en un arreglo de 30 posiciones para posteriormente ser divididos en 3 arreglos que representarán las zonas del antepié, mediopié y retropié de 6, 4 y 5 posiciones cada una, a continuación se realiza un promedio de los sensores y se extrae el valor máximo y medio de cada sensor y de cada zona, finalmente se realiza el escalamiento de voltaje a g/cm^2 a través de las ecuaciones características del sensor y se obtiene el valor de presión a partir del voltaje sentido.

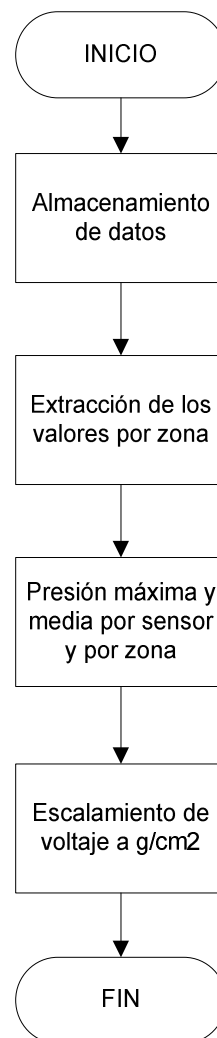


Figura 135. Flujograma del procesamiento de datos

CÓDIGO DEL PROCESAMIENTO DE DATOS

Almacenamiento de datos

Se crean los arrays voltaje y Marcha como se muestra en la Figura 136, si se selecciona únicamente Realizar el examen se guardan los datos en Excel. La ubicación de dicho elemento de programación “Write To Spreadsheet file” se muestra en la Figura

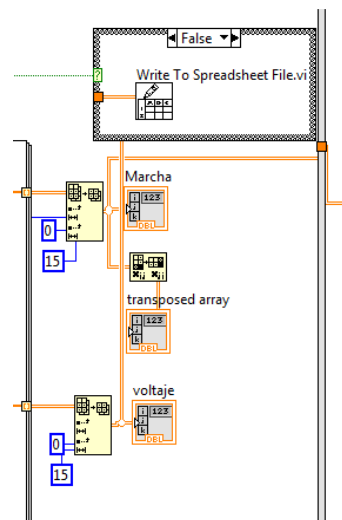


Figura 136. Almacenamiento de Datos

Presión máxima y media de cada sensor

La Figura 137 muestra el módulo index array a través del cual se extrae el valor de cada posición del arreglo Marcha, se lo suma mediante registros de desplazamiento y se lo divide para el número de muestras obtenidas (Media) y mediante en Array Max & Min se obtiene el máximo de todas las presiones.

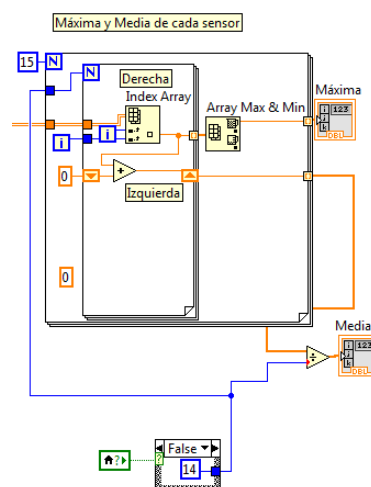


Figura 137. Máxima y Media de cada sensor

Extracción de los valores del antepié, mediopie y retropié.

El elemento subset array mostrado en la Figura 138 devuelve un arreglo que contiene una porción del arreglo original, de esta manera se separan los arreglos que contendrán los sensores ubicados en cada zona del pie, es decir el antepié, mediopié y retropié.

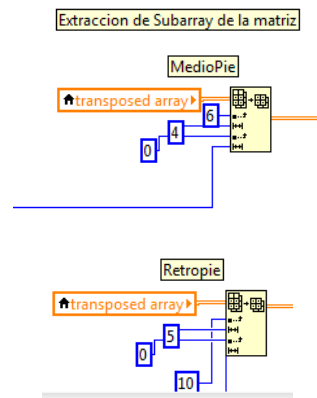


Figura 138. Extracción de los arreglos de las zonas del pie

Presión por zonas

El elemento index array dentro del bucle for mostrado en la Figura 139 permite acceder a los elementos del arreglo, de esta manera se halla el promedio de cada zona al sumar todos los valores y dividir para el número de sensores tal como se muestra en la Figura. Todos los promedios calculados en cada muestra se guardan en un nuevo arreglo llamado Antepie, Mediopie y Retropie respectivamente.

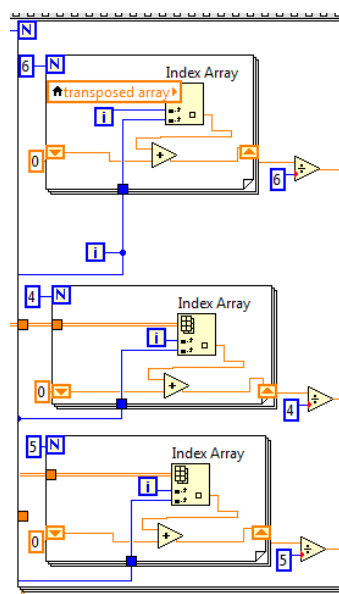


Figura 139. Presión por zonas

Máximos de la presión por zonas

Los tres arreglos correspondientes a cada zona del pie se conectan al elemento Array Max & Min, el mismo que devuelve el mayor valor registrado en todo el arreglo como se muestra en la Figura 140.

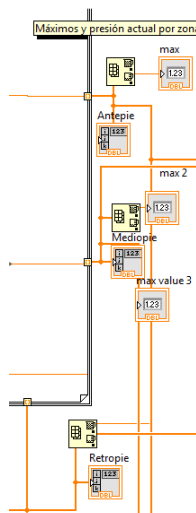


Figura 140. Máximos de la presión por zonas

Presión media de las zonas

Se calcula el promedio de los valores sensados por medio del index array y del for para poder acceder a cada elemento del programa, los valores obtenidos son guardados en Media 1, Media 2 y Media 3 como se observa en la Figura 141.

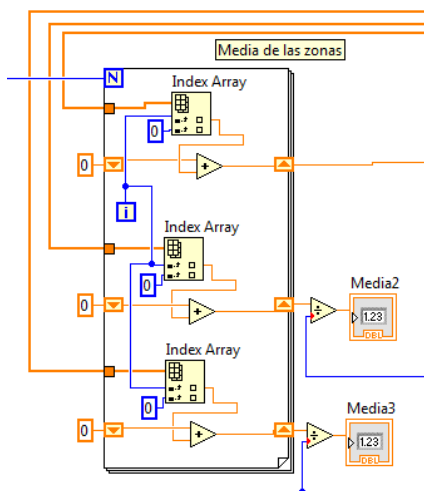


Figura 141. Presión media del antepié, mediopié y retropié

Escalamiento de [V] a la unidad [g/cm²]

La Figura 142 explica el escalamiento a [g/cm²]. El código introducido dentro del formula node, nos permite utilizar las 13 ecuaciones obtenidas del comportamiento del sensor, de esta manera a partir del voltaje recibido por la tarjeta Arduino, obtenemos el valor de masa en gramos y lo dividimos para el área activa del sensor.

```
int32 x;
float64 y[15];

for(i=0; i<=15;i++)
{
  if ((x[i]>0) && (x[i]<=3.1409))
    y[i]=((x[i] - 0.1632)/0.02125)/1.2668;
  if ((x[i]>3.1409) && (x[i]<=3.9053))
    y[i]=((x[i] - 2.626)/0.0039)/1.2668;
  if ((x[i]>3.9053) && (x[i]<=4.3316))
    y[i]=((x[i]-3.055)/0.00217)/1.2668;
  if ((x[i]>4.3316) && (x[i]<=4.62066667))
    y[i]=((x[i]-2.956)/0.001971)/1.2668 ;
  if ((x[i]>4.62066667) && (x[i]<=4.7473333))
    y[i]=((x[i]-4.43)/0.0002108)/1.2668 ;
  if ((x[i]>4.7473333) && (x[i]<=4.8803333))
    y[i]=((x[i]-4.613)/0.0000908)/1.2668 ;
  if ((x[i]>4.8803333) && (x[i]<=4.89))
    y[i]=((x[i]-4.859)/0.00007525)/1.2668 ;
}
```

Figura 142. Escalamiento de unidades

ANÁLISIS DE LAS SEÑALES OBTENIDAS PARA EL ESCALAMIENTO DE UNIDADES.

Para obtener el comportamiento de la curva característica del sensor, se tomó la tabla de valores del Voltaje vs Masa, la figura obtenida se describe en la Figura 143:

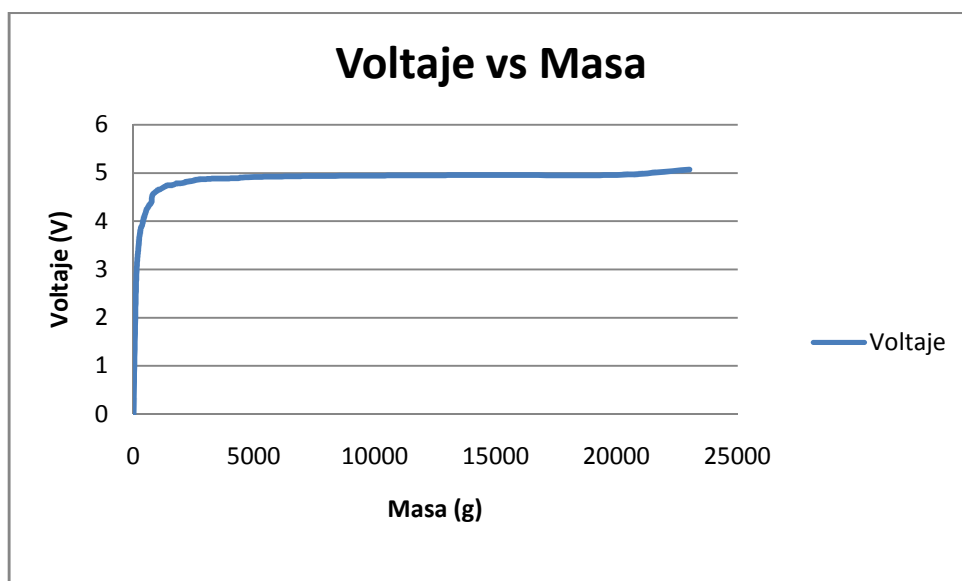


Figura 143. Voltaje vs Masa

Para escalar los valores de voltaje obtenidos en Labview a la unidad de presión g/cm^2 , se dividió a la gráfica en varios tramos considerando cada uno como una línea recta, teniendo en cuenta que debe existir un error menor al 10% entre el valor medido y el calculado a partir de las ecuaciones.

Para hallar la ecuación que rige cada tramo se utilizó la herramienta "curve fitting tool" (cftool) de Matlab.

Tramo 1:

Tabla 8. Voltaje vs Masa – tramo 1

Masa (g)	Voltaje (V)
0	0
50	1,3426
100	2,5431
150	3,1409

En la Figura 144 puede observarse la ecuación de la recta que rige este tramo:

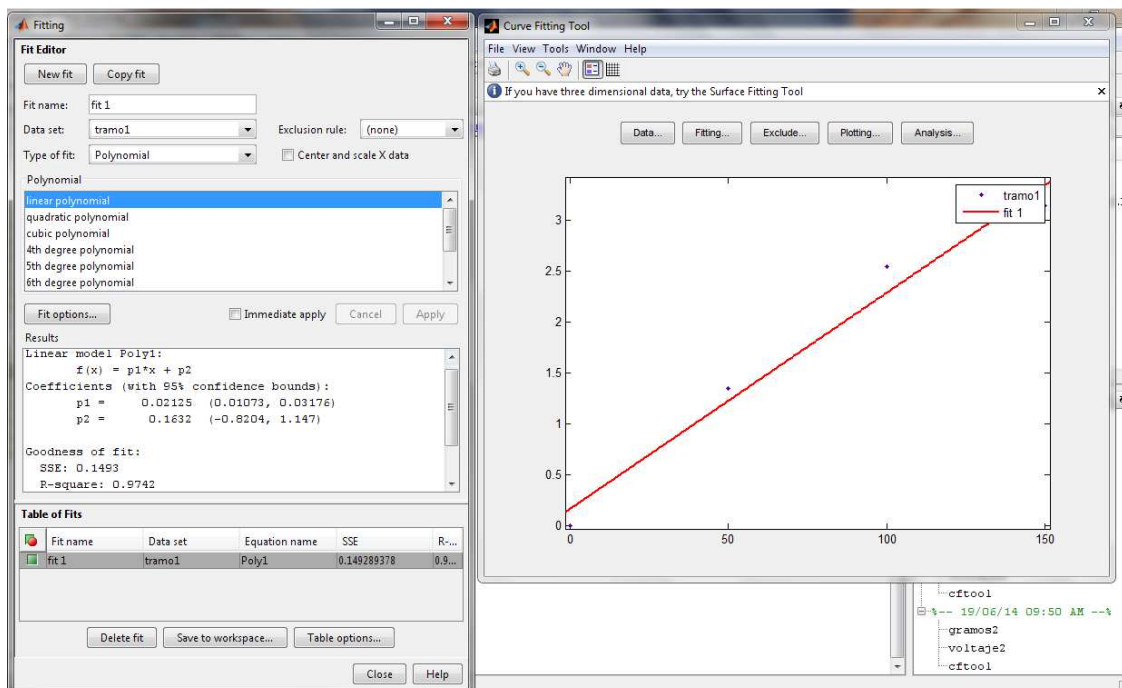


Figura 144. Cftool de matlab para el tramo 1

Por lo tanto la ecuación será:

$$f(x) = 0.002125x + 0.1632$$

Ecuación 1: Ecuación característica del tramo 1

De la misma manera se obtuvo la ecuación para cada uno de los tramos siguientes

Tramo 2:

Tabla 9. Voltaje vs Masa - tramo 2

Masa (g)	Voltaje (V)
150	3,1409
200	3,4251
250	3,6897
300	3,8465
350	3,9053

$$f(x) = 0.00217x + 3.055$$

Ecuación 2: Ecuación característica del tramo 2

Tramo 3:

Tabla 10. Voltaje vs Masa - tramo 3

Masa (g)	Voltaje (V)
450	4,0964
500	4,1699
550	4,2483
600	4,2924
650	4,3316

$$f(x) = 0.0039x + 2.626$$

Ecuación 3: Ecuación característica del tramo 3

Tramo 4:

Tabla 11. Voltaje vs Masa - tramo 4

Masa (g)	Voltaje (V)
750	4,4009
755	4,47133333
807	4,56166667
850	4,62066667

$$f(x) = 0.001971x + 2.956$$

Ecuación 4: Ecuación característica del tramo 4

Tramo 5:

Tabla 12. Voltaje vs Masa - tramo 5

Masa (g)	Voltaje (V)
900	4,604
950	4,6183333
1000	4,6443333
1100	4,661
1200	4,6893333
1300	4,7160067
1400	4,743
1600	4,747333

$$f(x) = 0.0002108x + 4.43$$

Ecuación 5: Ecuación característica del tramo 5

Tramo 6:

Tabla 13. Voltaje vs Masa - tramo 6

Masa (g)	Voltaje (V)
1600	4.747333
1800	4,78466667
2200	4,818
2400	4,83266667
2600	4,856
2800	4,87066667
3000	4,87286667
3200	4,8803333

$$f(x) = 0.0000908x + 4.613$$

Ecuación 6: Ecuación característica del tramo 6

Tramo 7:

Tabla 14. Voltaje vs Masa - tramo 7

Masa (g)	Voltaje (V)
3200	4,8803333
3400	4,887
4250	4,89

$$f(x) = 0.000007525x + 4.859$$

Ecuación 7: Ecuación característica del tramo 7

Tramo 8:

Tabla 15. Voltaje vs Masa - tramo 8

Masa (g)	Voltaje (V)
4250	4,89
4500	4,905
4750	4,91
5000	4,9143333
5250	4,92

$$f(x) = 0.00002773x + 4.776$$

Ecuación 8: Ecuación característica del tramo 8

Tramo 9:

Tabla 16. Voltaje vs Masa - tramo 9

Masa (g)	Voltaje(V)
5250	4,92
6500	4,93266667
7000	4,9343
8000	4,9392
8500	4,9392

$$f(x) = 0.000006959x + 4.885$$

Ecuación 9: Ecuación característica del tramo 9

Tramo 10:

Tabla 17. Voltaje vs Masa - tramo 10

Masa (g)	Voltaje (V)
8500	4,9392
9500	4,9441
10500	4,947333
11000	4,9486667
12000	4,949
13000	4,9539

$$f(x) = 0.000003768x + 4.908$$

Ecuación 10: Ecuación característica del tramo 10

Tramo 11:

Tabla 18. Voltaje vs Masa - tramo 11

Masa (g)	Voltaje (V)
13000	4,9539
14000	4,9539
15000	4,9588
16000	4,9588

$$f(x) = 0.000009761x + 4.81$$

Ecuación 11: Ecuación característica del tramo 11

Tramo 12:

Tabla 19. Voltaje vs Masa - tramo 12

Masa (g)	Voltaje (V)
16000	4,9588
17100	4,9588
20000	4,9594

$$f(x) = 0.0000001616x + 4.956$$

Ecuación 12: Ecuación característica del tramo 12

Tramo 13:

Tabla 20. Voltaje vs Masa - tramo 13

Masa (g)	Voltaje (V)
20000	4,9594
24000	5,07

$$f(x) = 0.00002765x + 4.406$$

Ecuación 13: Ecuación característica del tramo 13

Con las ecuaciones obtenidas se consigue, obtener la masa a partir de un valor cualquiera de voltaje entregado por la tarjeta de adquisición. A la masa obtenida se le divide para el área efectiva del sensor.

Debido a que el sensor tiene forma circular, la fórmula es:

$$A = \pi R^2$$

Ecuación 14: Área del círculo

El radio del sensor es de 0.635 cm

$$A = \pi(0.635 \text{ cm})^2$$

Ecuación 15: Resolución del Área

$$A = 1.2668 \text{ cm}^2$$

Ecuación 16: Resultado

Con lo cual se logra obtener la unidad g/cm^2

3.5. DISEÑO DEL MÓDULO CREACIÓN DE GRÁFICAS

DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO CREACIÓN DE GRÁFICAS

La creación de gráficas se encarga de establecer un color característico para cada rango de presión, teniendo el color azul para baja presión y rojo para presiones elevadas, además para los espacios de la plantilla en la que no existen sensores a través de la interpolación x,y se asume un valor de voltaje, finalmente crea una curva característica por zonas.

FLUJOGRAMA DEL MÓDULO CREACIÓN DE GRÁFICAS

La colorimetría por sensor establece 9 colores para cada color box, la interpolación x,y a través de los valores de voltaje que rodean a la zona en la que no existe sensor obtiene valores intermedios, la colorimetría en el Intensity Graph proporciona el color al Intensity Graph de acuerdo a los valores obtenidos en la matriz de interpolación y finalmente la Gráfica Presión Vs. No. de muestras a través de un waveform graph muestra el grafico x y por zona como se muestra en el flujograma de la Figura 145.

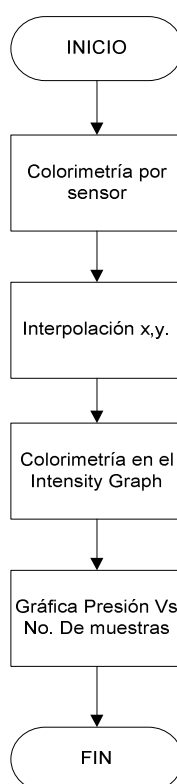


Figura 145. Flujograma del Módulo creación de gráficas

FLUJOGRAMA DEL PROCESO COLORIMETRÍA POR SENSOR

Como se observa en el flujograma que muestra la Figura 146 si existe valores de voltaje en los canales analógicos, se asigna un color para cada color box dependiendo del rango de voltaje en que se encuentre la señal.

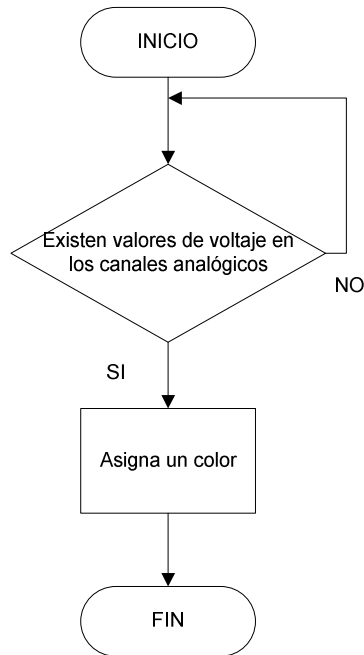


Figura 146. Flujograma de la colorimetría

CÓDIGO DE LA COLORIMETRÍA EN CADA SENSOR

A través del primer formula node se establece que si el voltaje se encuentra en cierto rango se envíe un numero del 0 al 9 con el fin de asignar cada número a un color específico. Ver Figura 147.

```

int32 i;
float64 y[15];

for(i=0; i<=15;i++)
{
  if ((x[i]>0) && (x[i]<0.5))
    y[i]=0;
  if ((x[i]>0.5) && (x[i]<1))
    y[i]=1;
  if ((x[i]>1) && (x[i]<1.5))
    y[i]=2;
  if ((x[i]>1.5) && (x[i]<2))
    y[i]=3;
  if ((x[i]>2) && (x[i]<2.5))
    y[i]=4;
  if ((x[i]>2.5) && (x[i]<3))
    y[i]=5;
  if ((y[i]>3) && (y[i]<3.5))
  
```

Figura 147. Formula node Asignación de colores

Como se observa en la Figura 148 el primer index array es utilizado para extraer el valor del voltaje de cada sensor y el segundo cumple con la función de extraer determinado color del vector de colores que se encuentra ubicado en la parte derecha de la Figura 148.

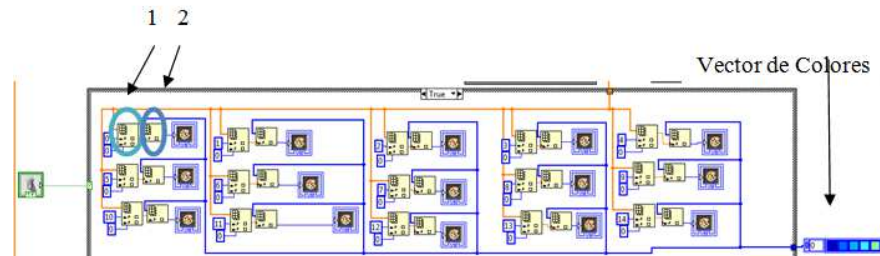


Figura 148. Colorimetría de cada sensor

FLUJOGRAMA DEL PROCESO INTERPOLACIÓN X, Y

Como se observa en el flujograma que muestra la Figura 149 si existe matriz de pie izquierdo o derecho, ingresa al bloque de interpolación horizontal y vertical el cual asume un rango de valores en el espacio en blanco o donde no existe sensor.

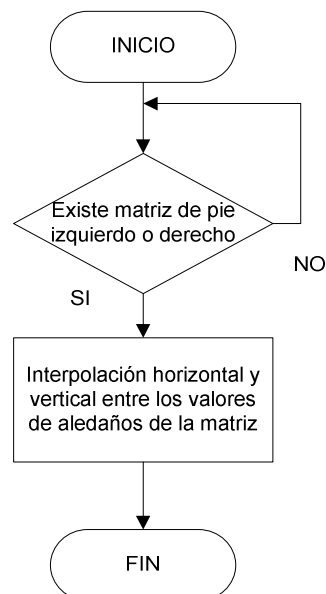


Figura 149. Flujograma de la interpolación.

CODIGO DE LA INTERPOLACIÓN X, Y

Degradación de colores e interpolación para valores intermedios

Para realizar la interpolación creamos una matriz con las posiciones de cada sensor quedando de la siguiente forma:

Tabla 21. Matriz del Pie Izquierdo

	1	2
	3	
5		4
	6	7
9	8	
		10
11		12
	13	
14		15

Tabla 22. Matriz del Pie Derecho

2	1
3	
4	5
6	7
	8 9
10	
11	12
	15
13	14

Para la formación de las matrices en Labview se extrajo elemento por elemento del array de voltajes a través del array subset y se la construyó a través de un build array, para las posiciones que no tienen ningún valor se hizo un promedio con los valores de voltaje de los sensores aledaños, se añade 2 filas y dos columnas de ceros a los extremos de la matriz obtenida, como se observa en las Figuras 150 y 151.

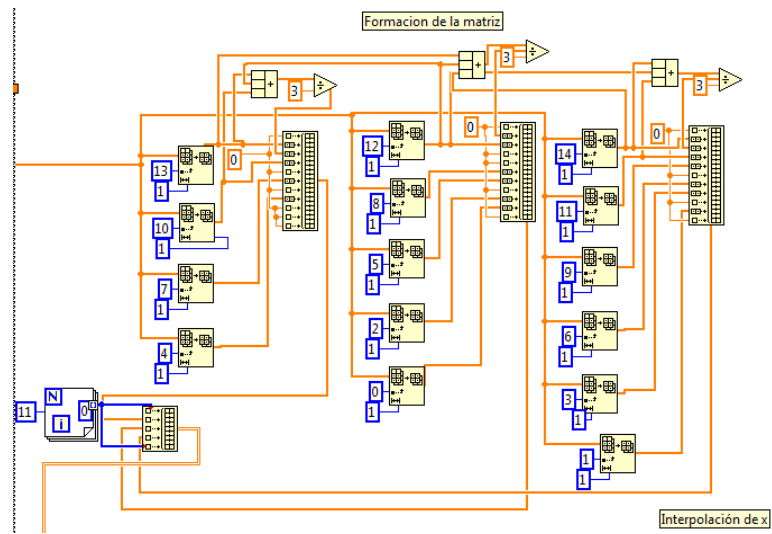


Figura 150. Formación de la Matriz del Pie Izquierdo

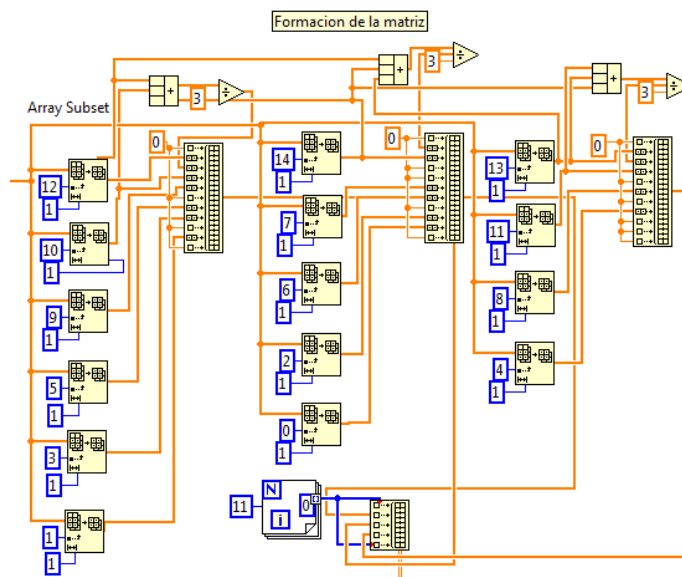


Figura 151. Formación de la Matriz del Pie Derecho

Interpolación en x, y

Con el fin de obtener valores intermedios para los espacios en los que no existe ningún sensor. Se utilizó el método de interpolación lineal con 5 valores de interpolación.

En la Figura 152 se muestra la interpolación en “x” y “y”.

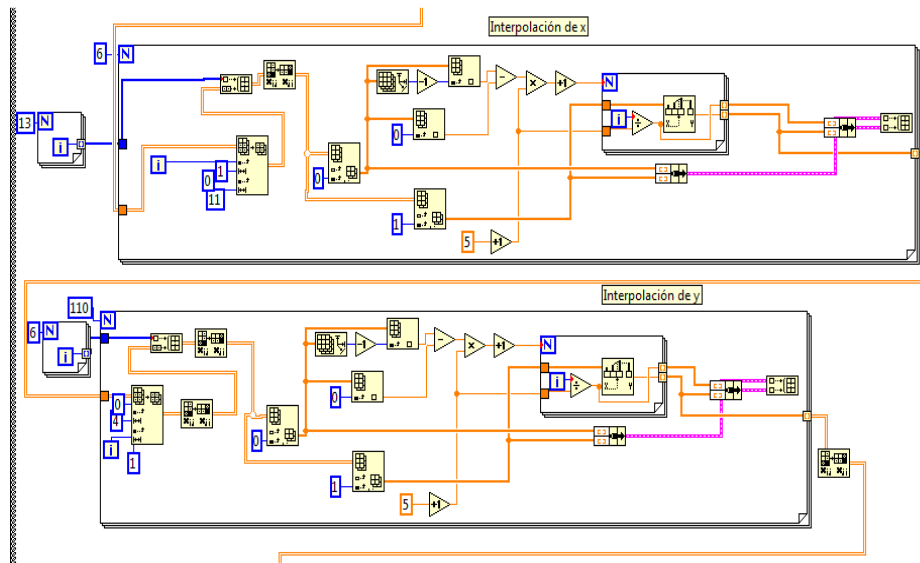


Figura 152. Interpolación en x, y

FLUJOGRAMA DE LA COLORIMETRÍA EN EL INTENSITY GRAPH

Como se observa en el flujograma que muestra la Figura 153 si la matriz de interpolación ya se encuentra creada se asigna un color específico a la matriz existente en el intensity graph dependiendo de los valores de dicha matriz.

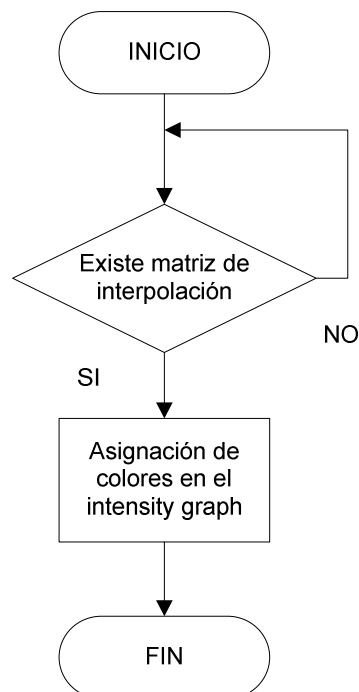


Figura 153. Flujograma de colorimetría en el intensity graph

CÓDIGO DE LA COLORIMETRÍA EN EL INTENSITY GRAPH

Se crea un array de colores como se observa en la Figura 154 y un intensity graph ver Figura 155 con el fin de obtener los colores degradados para cada valor de voltaje.



Figura 154. Array de Colores

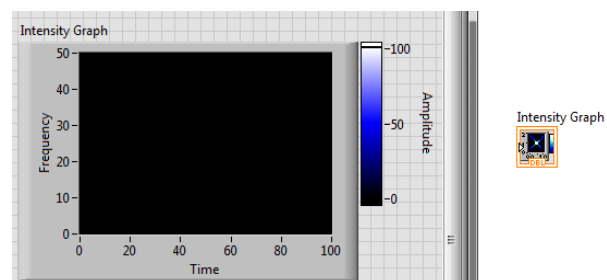


Figura 155. Intensity Graph

La Figura 156 muestra la generación o asignación de píxeles de color de acuerdo al valor asignado.

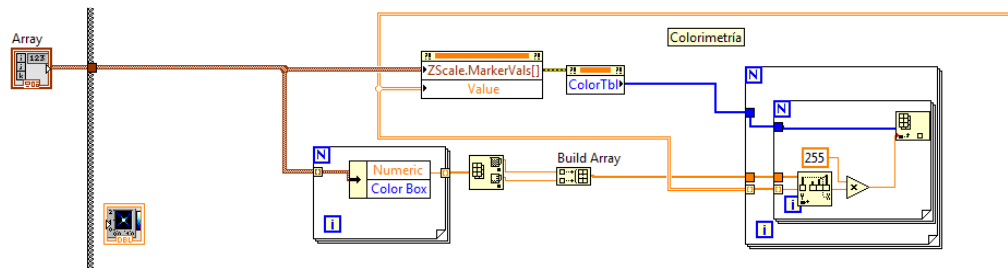


Figura 156. Colorimetría

FLUJOGRAMA DEL PROCESO GRÁFICA DE LA PRESIÓN VS TIEMPO

Como se observa en el flujograma que muestra la Figura 157 al existir valores en la matriz de antepié, mediopie y retropié se crea una gráfica x, y (valores de presión en función del No de muestras) en el waveform graph

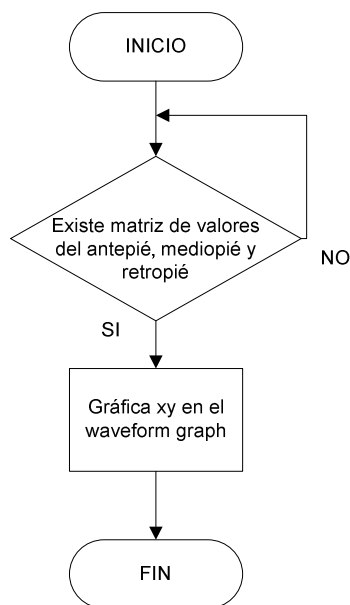


Figura 157. Flujoograma de la gráfica Presión vs Tiempo

CÓDIGO DE LA GRAFICA DE LA PRESIÓN VS TIEMPO

El waveform graph grafica un conjunto de valores en función del número de muestras.

En la Figura 158 se muestra que los arreglos que contienen los promedios de cada zona de presión, son conectados a un Build array, el mismo que permite graficar en un mismo waveform graph las 3 señales enviadas.

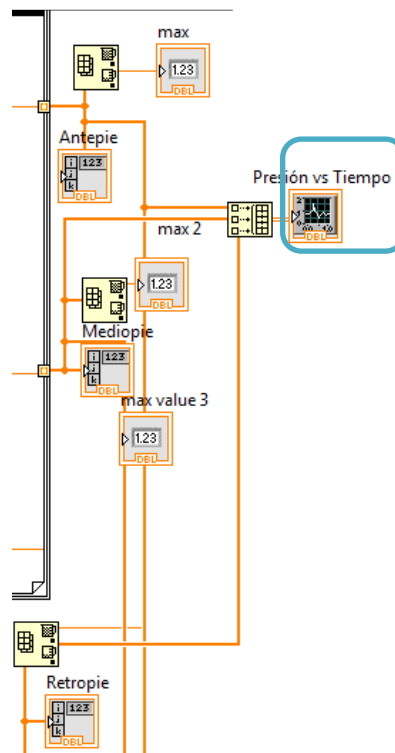


Figura 158. Waveform graph

3.6. DISEÑO DEL MÓDULO VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

La visualización de resultados carga un archivo de datos generados previamente en excel y realiza nuevamente el examen para su posterior análisis además captura cada pantalla como archivo de imagen en formato .png.

FLUJOGRAMA DE LA VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

Como se observa en el flujograma que muestra la Figura 159 el programa se encontrará en la espera de que se le asigne la dirección del archivo en Excel con lo cual se importan los datos guardado para ejecutar nuevamente todo el proceso sin que el paciente se encuentre realizándose el examen en ese momento, posteriormente de ejecuta la impresión encargada de capturar la imagen de las 10 últimas muestras y mostrarlas en un arreglo de imágenes en la pestaña 5 y finalmente si se presiona el botón “CAPTURA DE PANTALLA” el programa pide que se le asigne la dirección donde se guardara el archivo de imagen caso contrario el proceso termina.

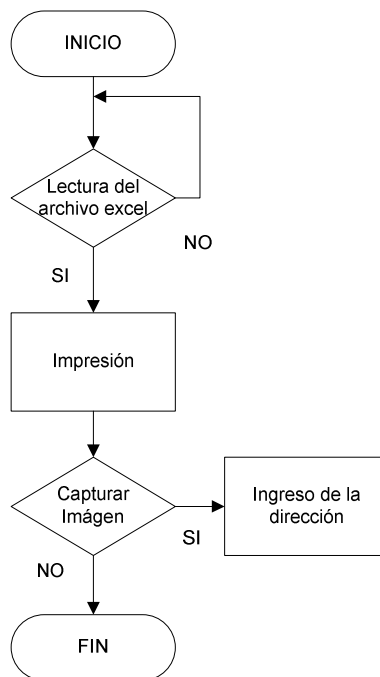


Figura 159. Flujograma de la visualización de resultados

CÓDIGO DE LA VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

La Figura 160 muestra el código encargado de realizar la Lectura del archivo en Excel y el almacenamiento de datos en el Array voltaje

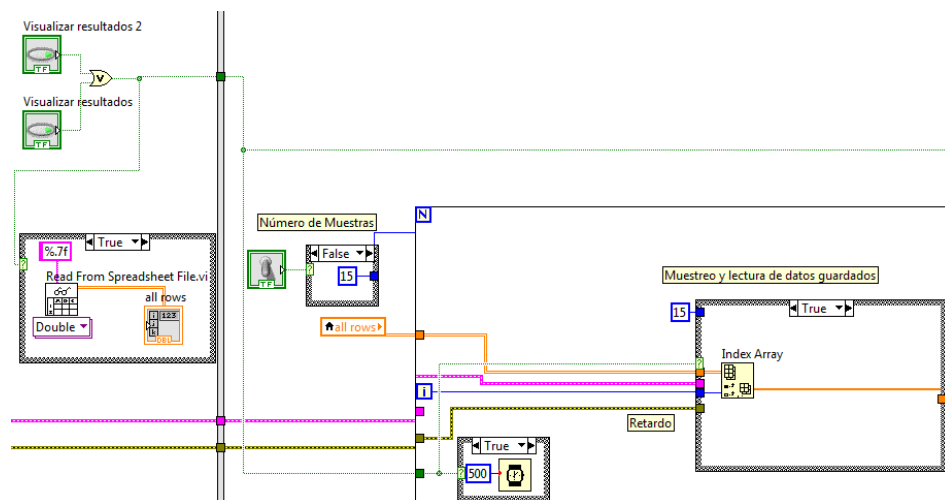


Figura 160. Extracción de las filas del array all rows

En la Figura 161 se muestra como acceder en el software Labview al elemento index array.

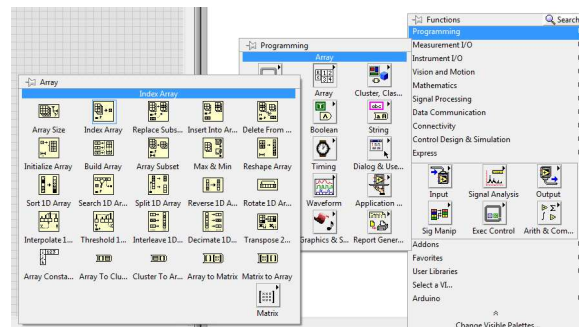


Figura 161. Array

Lectura de un archivo en Excel para leer los datos almacenados en excel, en el caso de seleccionar Visualizar resultados, estos datos serán guardados en la matriz all rows de dimensión 15 columnas y 40 filas (dinámica) o 15 columnas y 15 filas (estática) como lo muestra la Figura 162.

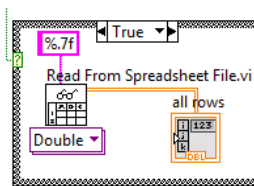


Figura 162. Read From Spreadsheet file

En la Figura 163 se puede visualizar como acceder a dicho elemento de programación.

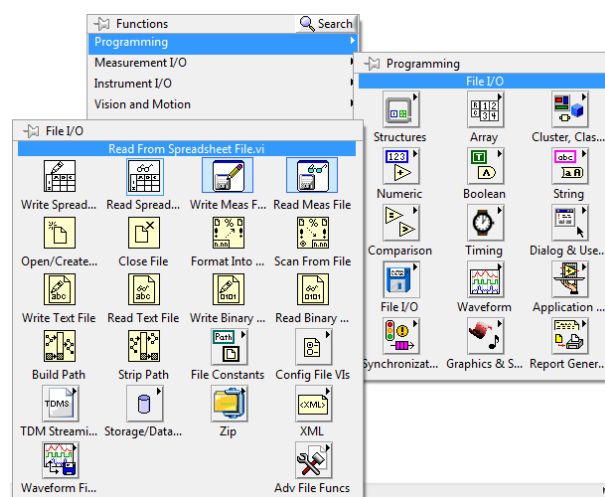


Figura 163 Figura File I/O

Impresión del ciclo de marcha

La impresión del ciclo de marcha se lo hace durante la realización del examen baropodométrico. La Figura 164 indica cómo se realiza la selección de la pantalla, llamando a su rutina de impresión.

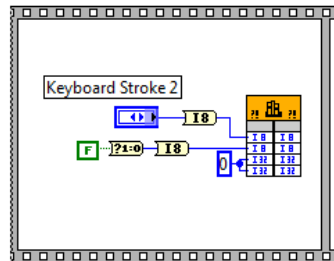


Figura 164. Impresión de Pantalla

La Figura 165 muestra la modificación de los parámetros de impresión del gráfico tales como tipo, número de colores, factor de escalamiento, entre otros.

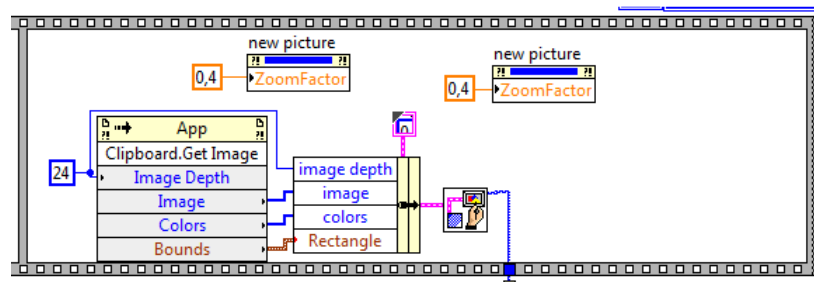


Figura 165. Parámetros de impresión de gráfico

Impresión de pestaña por pestaña

A diferencia de lo anterior, la Figura 166 muestra como se guarda una captura de pantalla en una dirección específica en formato .png. Para realizar dicha acción se necesita presionar el botón CAPTURA DE PANTALLA.

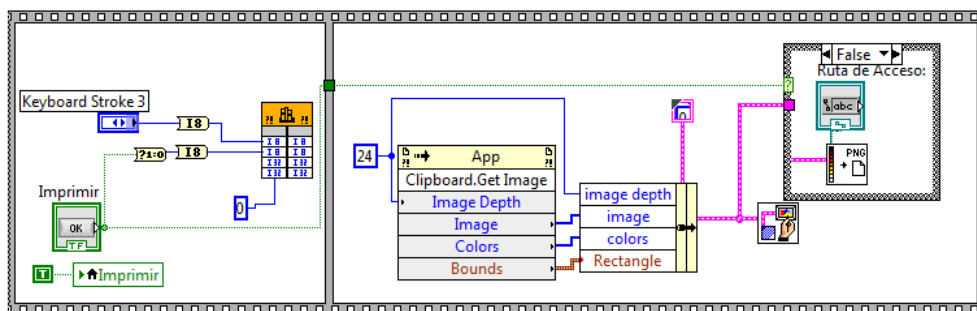


Figura 166. Impresión de pestaña por pestaña

Finalmente se obtiene un programa de baropodometría que realiza el examen estático en el que se toman 20 muestras, dura 14 [s] y se dan 18 pasos, por lo tanto cada muestra se toma en un tiempo de 0.7 [s] y un examen dinámico en el que se toman 40 muestras, dura 39 [s] y se dan 46 pasos, es decir cada muestra se toma en un tiempo de 0.975 [s].

CAPITULO IV

PRUEBAS DEL SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA

Para la realización de las pruebas con el prototipo Sistema de Baropodometría Electrónica se han definido dos escenarios bajo los cuales se realizarán las pruebas.

4.1 DEFINICIÓN DEL ESCENARIO 1

El escenario 1 constará de 4 pacientes con pisada normal los cuales serán evaluados con el Sistema de Baropodometría Electrónica con el esquema que se indica en la Figura 167.



Figura 167. Escenario 1 Pacientes con pisada correcta

Las características de los pacientes a evaluar se detallan en la tabla:

Tabla 23. Características de los pacientes a evaluar.

Paciente	Sexo	Talla del pie	Peso [lb]	Condición física
1	Femenino	28	42	Normal
2	Masculino	28	45	Normal
3	Masculino	28	38	Normal
4	Masculino	28	30	Normal

4.1.1 PRUEBAS CON PACIENTES EN EL ESCENARIO 1

PACIENTE 1

El paciente 1 a evaluar presenta las siguientes características

Edad: 8 años

Peso: 42 libras

Sexo: Femenino

Examen: Baropodométrico Dinámico Derecho

Duración del Examen : 39 segundos

Los resultados obtenidos del paciente 1 con el examen Baropodométrico Dinámico Derecho se muestran en la Figura 168 en la cual se ilustran las gráficas de la huella plantar de las 10 últimas muestras del examen practicado. Analizando las gráficas se puede determinar que la presión se distribuye en el retropié en donde existe mayor presión, luego en el antepié y finalmente en el mediopié donde existe menor presión, además se puede notar que existe apoyo externo lo cual indica que el paciente tiene una pisada correcta sin sobrecarga.

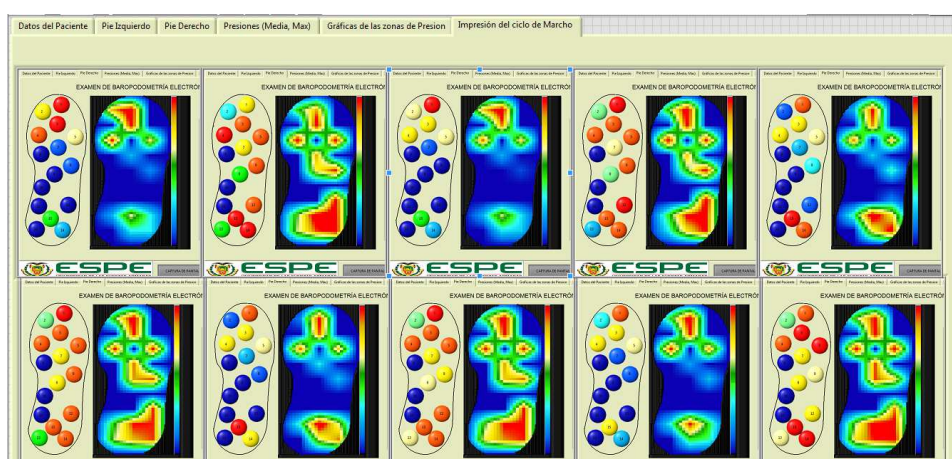


Figura 168. Impresión del ciclo de marcha paciente 1

Al obtener la curva de presión en cada zona del pie a lo largo del tiempo en que se practica el examen aproximadamente. 0.975 seg cada muestra se puede notar que la mayor presión se concentra en el retropié, se puede notar que existe presión media en el antepié y bajas presiones en el mediopie, ya que las tonalidades con que se marcan estas áreas varían de acuerdo al nivel de presión como se muestra en la Figura 169, además se observa que cada pico de presión se produce en el inicio de un nuevo ciclo de marcha.

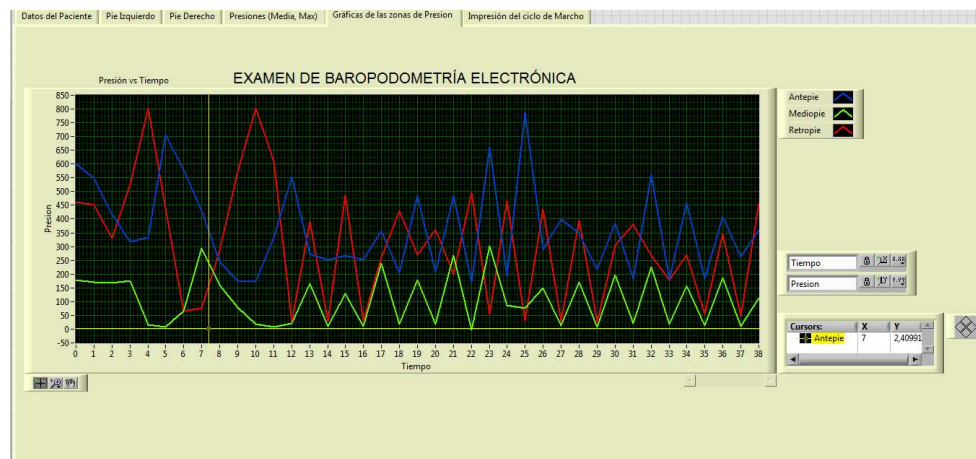


Figura 169 Presión Vs. No. de muestras paciente 1

PACIENTE 2

El paciente 2 a evaluar presenta las siguientes características

Edad: 7 años

Peso: 45 libras

Sexo: Masculino

Examen: Baropodométrico Estático Izquierdo

Duración del Examen : 14 segundos

Los resultados obtenidos del paciente 2 con el examen Baropodométrico Estático Izquierdo se muestran en la Figura 170 en la cual se ilustran las gráficas de la huella plantar de las 10 últimas muestras del examen practicado. Al analizar las gráficas correspondientes al ciclo de marcha no se observan muchos cambios en la pisada debido a que el paciente asume una posición para todo el examen.

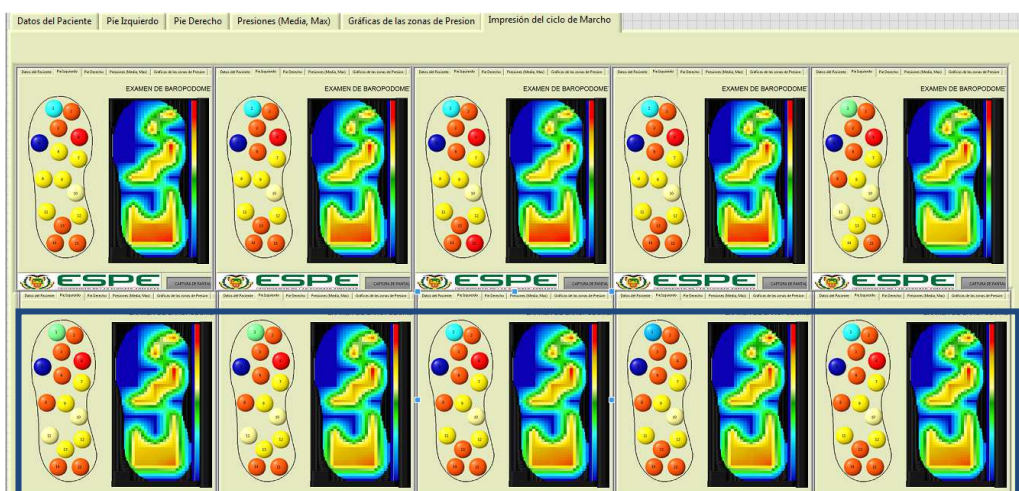


Figura 170. Impresión del ciclo de marcha paciente 2

Al obtener la curva de presión en cada zona del pie a lo largo del tiempo en que se practica el examen aproximadamente. 0.7 seg cada muestra indica que la presión en el retropie es alrededor de 420 g/cm², en el mediopie existe una presión de alrededor de 170 g/cm² y en el antepie de 300 g/cm². Los picos existentes se dan porque el paciente al realizarse el examen no se encuentra totalmente quieto, es decir que puede variar su punto de equilibrio. Dicho resultado se muestra en la Figura 171.

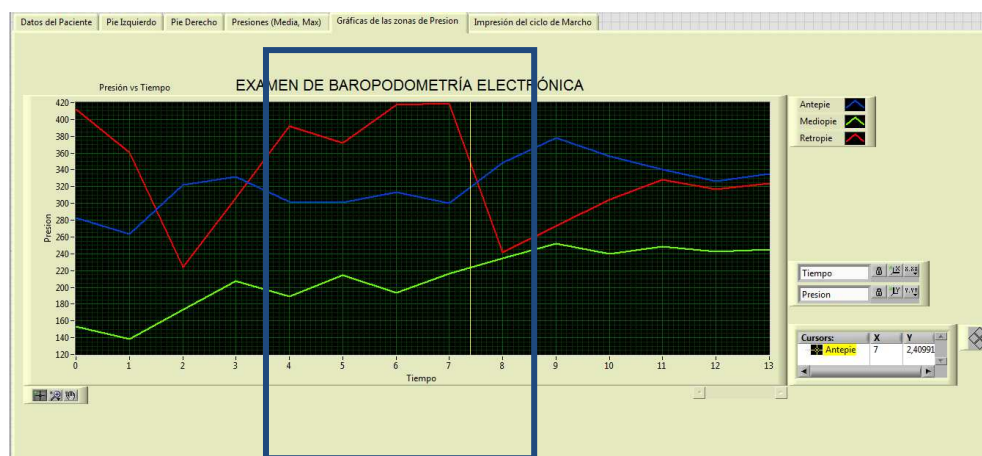


Figura 171. Presión Vs. No. de muestras paciente 2

PACIENTE 3

El paciente a evaluar presenta las siguientes características

Edad: 7 años

Peso: 38 libras

Sexo: Masculino

Examen: Baropodométrico Dinámico Izquierdo

Duración del Examen : 39 segundos

Los resultados obtenidos del paciente 3 con el examen Baropodométrico Dinámico Izquierdo se muestran en la Figura 172 en la cual se ilustran las gráficas de la huella plantar de las 10 últimas muestras del examen practicado. Al analizar las gráficas se observa claramente que en la zona del mediopié la presión es casi nula distribuyéndose la carga en el antepié y retropié.

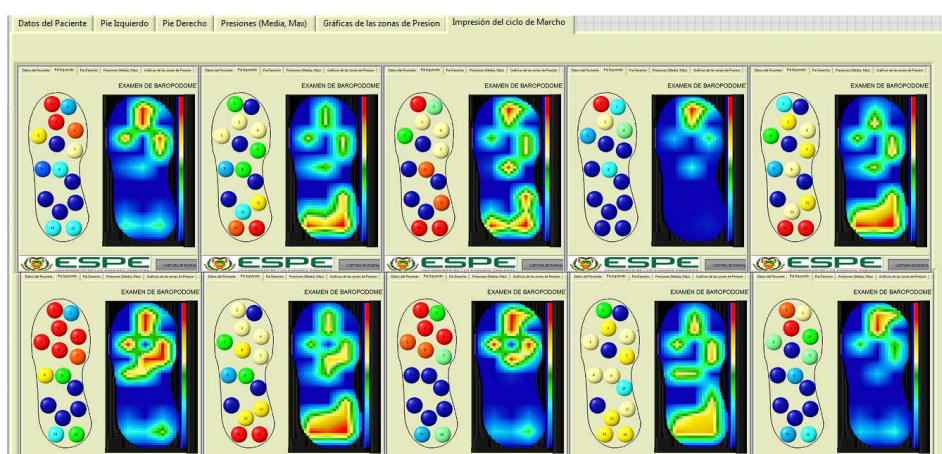


Figura 172. Impresión del ciclo de marcha paciente 3.

Al obtener la curva de presión en cada zona del pie a lo largo del tiempo en que se practica el examen aproximadamente. 0.975 seg cada muestra indica que el paciente seleccionado realiza una distribución similar en el antepié y retropié en el mediopié la presión tiende a 0 o valores muy bajos, la gráfica se muestra en la Figura 173.

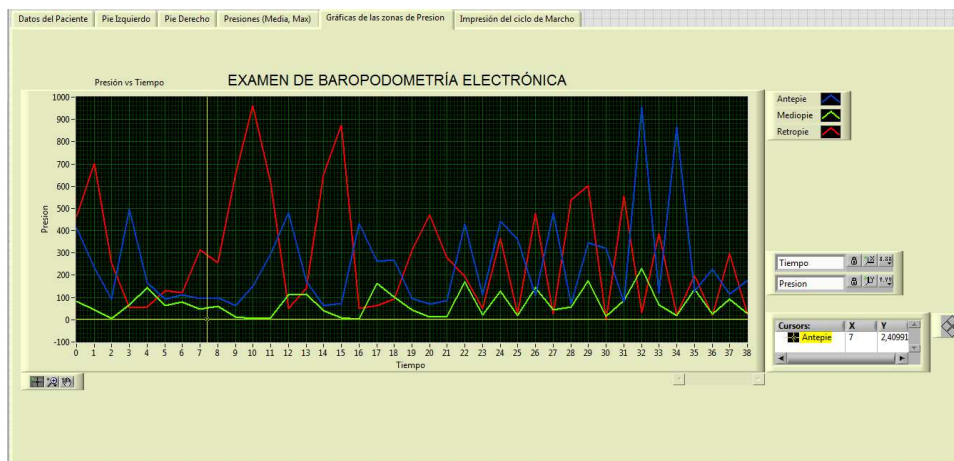


Figura 173. Presión Vs. No. de muestras paciente 3.

PACIENTE 4

El paciente a evaluar presenta las siguientes características

Edad: 6 años

Peso: 30 libras

Sexo: Masculino

Examen: Baropodométrico Dinámico Izquierdo

Duración del Examen : 39 segundos

Los resultados obtenidos del paciente 3 con el examen Baropodométrico Dinámico Izquierdo se muestran en la Figura 174 en la cual se ilustran las gráficas de la huella plantar de las 10 últimas muestras del examen practicado. Al analizar las gráficas se observa que el color más intenso en la huella plantar se encuentra en el talón y en la unión entre en primer y segundo metatarsiano, además no se ejerce una presión significativa en el arco plantar.

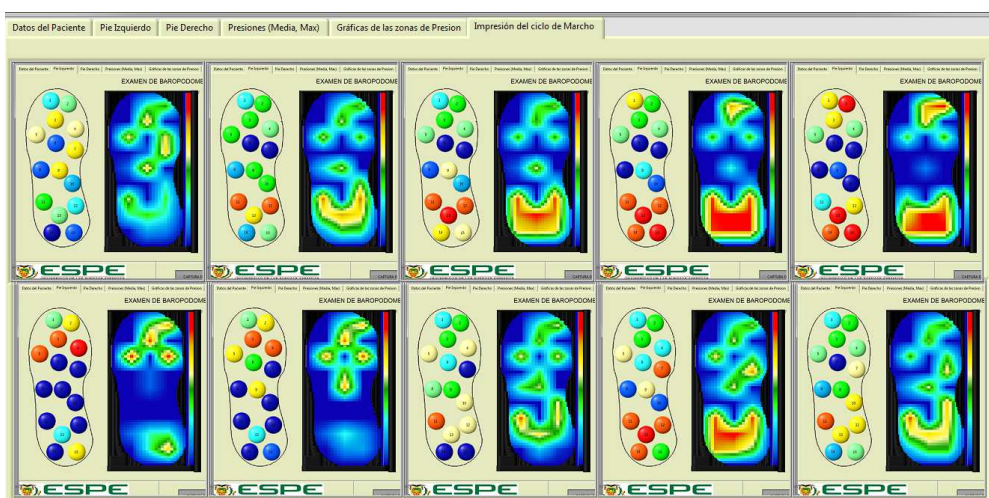


Figura 174. Presión Vs. No. de muestras paciente 3.

Al obtener la curva de presión en cada zona del pie a lo largo del tiempo en que se practica el examen aproximadamente. 0.975 seg se visualiza picos elevados en el retropié los cuales indican el inicio de un ciclo de marcha, la gráfica se muestra en la Figura 175.

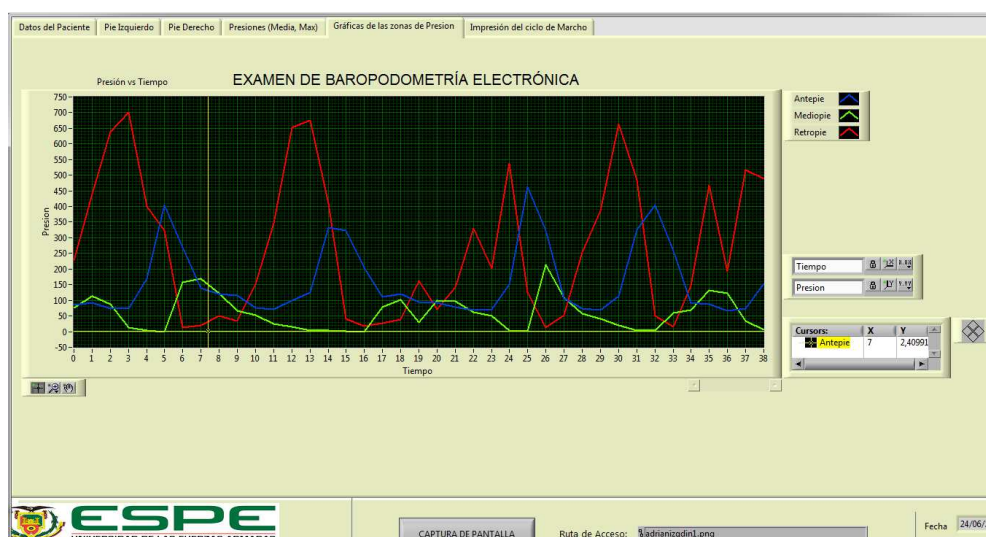


Figura 175. Presión Vs. No. de muestras paciente 4.

4.2. DEFINICIÓN DEL ESCENARIO II

El escenario 2 se ha definido bajo el esquema que se muestra en la Figura 176 el cual considera 1 paciente con alteraciones en la pisada el mismo que será evaluado por el sistema de Baropodometría Electrónica.

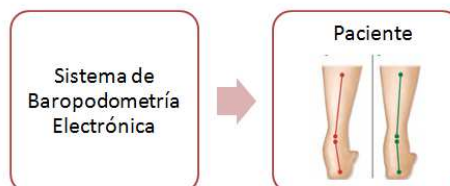


Figura 176. Escenario 2 Pacientes con alteraciones en la pisada

Las características del paciente se detallan en la tabla

Tabla 24. Características del paciente del escenario 2

Paciente	Sexo	Talla del pie	Peso [lb]	Condición física
1	Masculino	28	50	Patológica

4.2.1 PRUEBAS CON PACIENTES EN EL ESCENARIO 2

PACIENTE 1

El paciente a evaluar presenta las siguientes características

Edad: 7 años

Peso: 50 libras

Sexo: Masculino

Examen: Baropodométrico Estático Derecho.

Duración del Examen : 14 segundos

Los resultados obtenidos del paciente 1 con el examen Baropodométrico Estático se muestran en la Figura 177 en la cual se ilustran las gráficas de la huella plantar de las 10 últimas muestras del examen practicado. Al analizar las gráficas se observa una distribución de la presión en toda la huella plantar, existiendo valores de presión elevados en el mediopié.

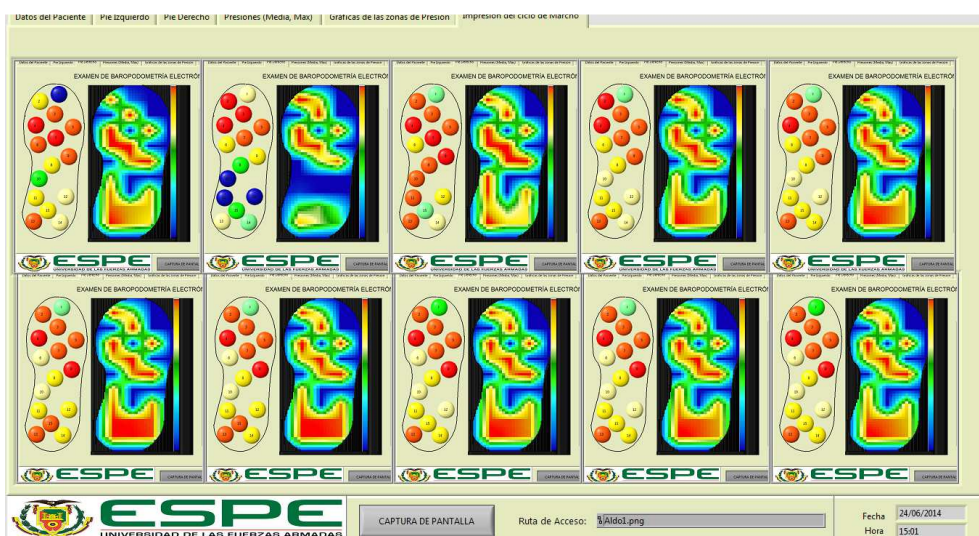


Figura 177. Presión Vs. No. de muestras paciente 1.

Al obtener la curva de presión en cada zona del pie a lo largo del tiempo en que se practica el examen aproximadamente. 0.7 seg se visualiza la distribución de la presión de la siguiente manera: mediopié, antepié y retropié por lo cual no cumple con los parámetros de una pisada correcta, la gráfica se muestra en la Figura 178.

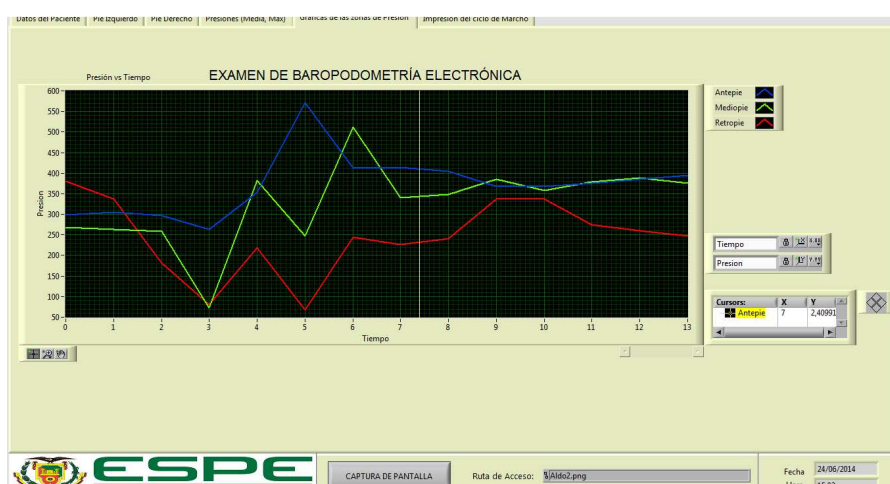


Figura 178. Presión Vs. No. de muestras paciente 1

4.3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

Para validar el prototipo se ha definido un escenario adicional en el cual se incluye a un médico Fisioterapeuta especializado en niños el cual evaluará los resultados obtenidos con el Sistema de Baropodometría como se muestra en la Figura 179.



Figura 179. Escenario 3

Se ha considerado una muestra de dos pacientes: uno con pisada correcta y otro con alteraciones en la pisada

PACIENTE 1: PISADA CORRECTA

El paciente seleccionado para esta prueba corresponde al paciente 4 del escenario de pruebas 1 que tiene 6 años de edad y 30 libras de peso.

Antes de someterle al paciente al examen con el sistema de baropodometría se ha procedido a tomarle la huella plantar como se indica en la Figura 180, para lo cual ha sido necesario colorear la planta del pie y ejercer apoyo sobre una hoja de papel blanco.



Figura 180. Huella plantar paciente 1

Como se puede observar en la Figura 180 la mayor presión se ejerce en el retropié, la presión media en el antepié y la menor presión en el mediopié, además se observa la formación del arco plantar características que corresponden a una correcta pisada.

Luego se ha procedido a someter al paciente al examen baropodométrico dinámico izquierdo por el tiempo de 39 seg obteniendo las gráficas mostradas en la Figura 181.

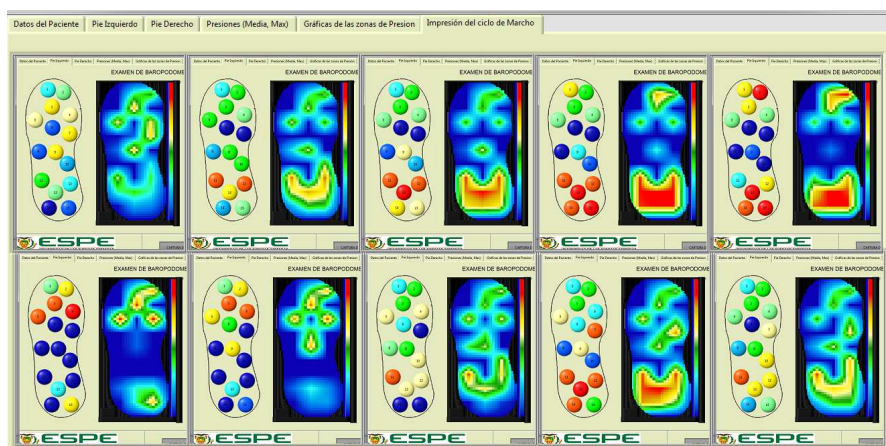


Figura 181. Impresión del ciclo de marcha – Paciente1

CRITERIO MÉDICO

El médico primeramente valoró la muestra 33 y 34 en la cual determinó que existe un apoyo inicial en el talón como lo indica la Figura 182:

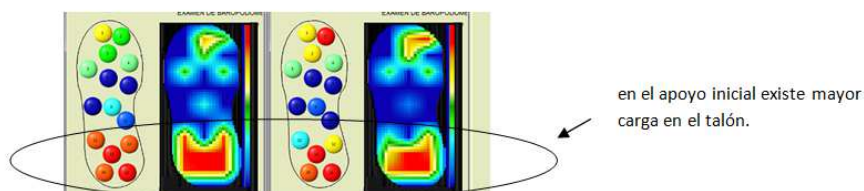


Figura 182. Mayor zona de presión del pie

Luego procedió a valorar las muestras 35 - 39 determinando que existe una decoloración en la zona del mediopié que representa la falta de carga de peso al menos en el borde interno del arco plantar como se muestra en la Figura 183.

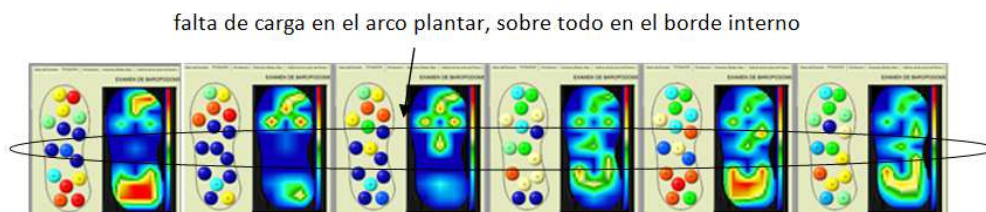


Figura 183. Menor zona de presión del pie

Luego procedió el médico a analizar la curva de las zonas de presión en la cual determinó que la mayor cantidad de carga está en el retropié (línea roja) y una carga también correlacionada en el antepié en color azul, en la gráfica en verde determinó que no se desarrolla mayor carga porque corresponde al mediopié, además observó que cuando inicia un ciclo de marcha se genera un pico en la curva del retropié.

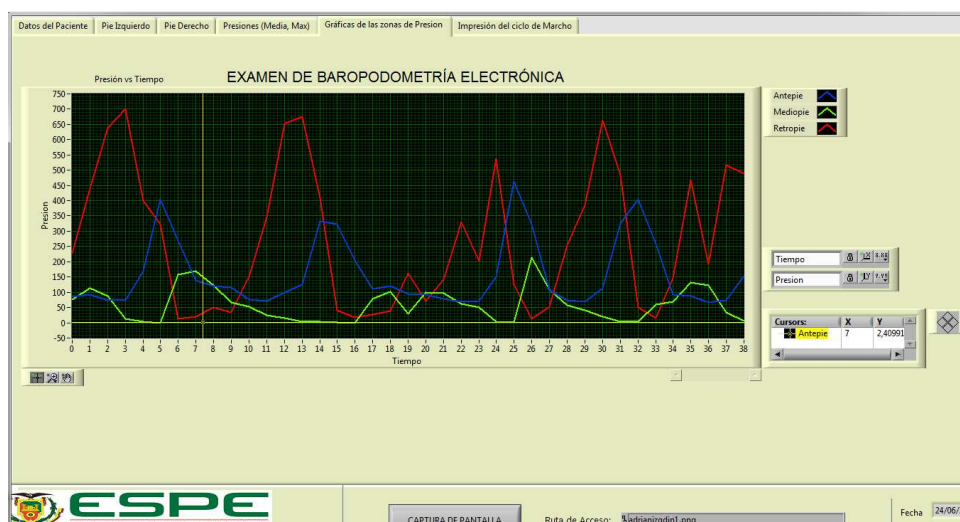


Figura 184. Gráficas de las zonas de presión – Paciente1

Luego procedió a verificar los valores de presión media y máxima en la ventana de la interface grafica llamada Presion media y Max. Como se muestra en la Figura 185.

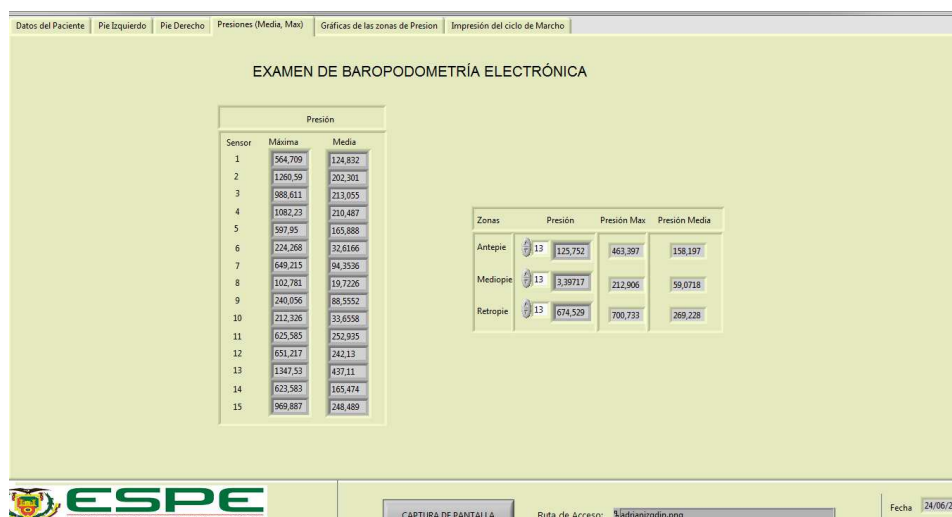


Figura 185. Presiones (Media, Max) – Paciente1

Con estos datos de presión máxima y media verificó que las mayores concentraciones de carga son en el antepié y retropié; en el retropié se observa una carga bastante alta al menos en los sensores del calcáneo, que es donde se apoya el talón. En el mediotipé la carga es pequeña, esto es una condición normal en niños y en personas que tienen un arco plantar y un sostén arquitectónico del pie bien definido.

Con este análisis concluyó el médico que se trata que el ciclo de marcha del niño en estudio está apegado a lo normal lo cual se confirma con la huella plantar pero de una forma científica y precisa.

Presión		
Sensor	Máxima	Media
1	564,709	124,832
2	1260,59	202,301
3	988,611	213,055
4	1082,23	210,487
5	597,95	165,888
6	224,268	32,6166
7	649,215	94,3536
8	102,781	19,7226
9	240,056	88,5552
10	212,326	33,6558
11	625,585	252,935
12	651,217	242,13
13	1347,53	437,11
14	623,583	165,474
15	969,887	248,489

Valores más bajos de presión

Mayor carga situada en el antepié y retropié

Figura 186. Presiones máximas y mínimas.

PACIENTE 2: PISADA CON ALTERACIONES

El paciente seleccionado para esta prueba corresponde al paciente 1 del escenario de pruebas 2 que tiene 7 años de edad y 50 libras de peso.

Antes de someterle al paciente al examen con el sistema de baropodometría se ha procedido a tomarle la huella plantar como se indica en la Figura 181, para lo cual ha sido necesario colorear la planta del pie y ejercer apoyo sobre una hoja de papel blanco .



Figura 187. Huella plantar paciente 2

Como se puede observar en la Figura 187 la presión se encuentra distribuida en toda la planta del pie.

Luego se procedió a realizar un análisis de las gráficas del ciclo de marcha las cuales se observan en la Figura 188.

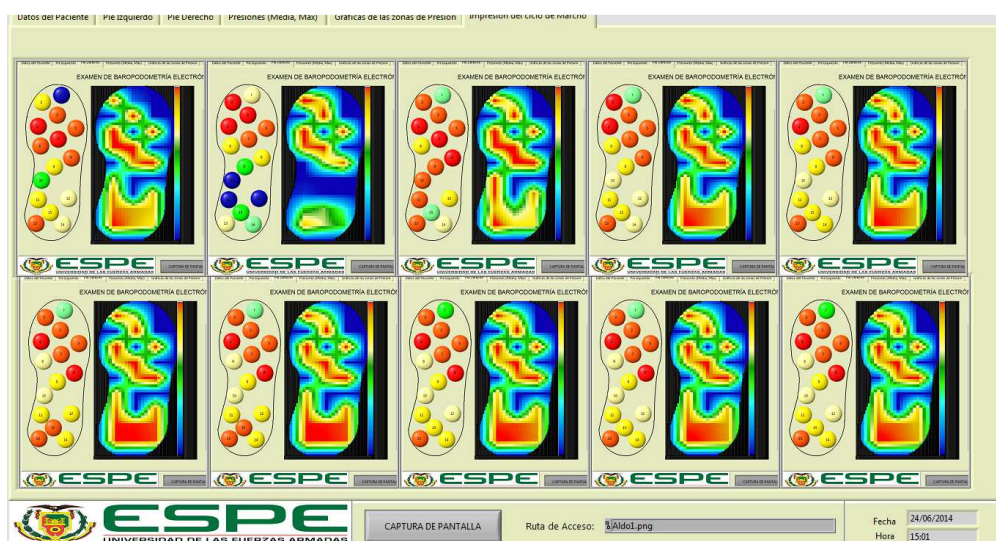
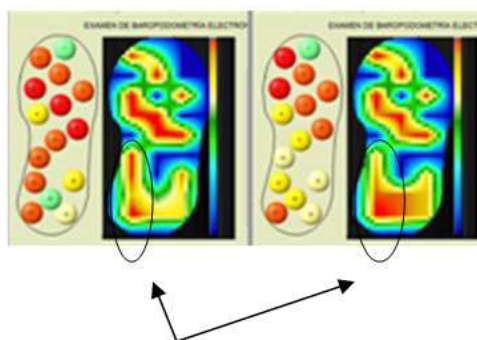


Figura 188. Impresión del ciclo de marcha – Paciente2

CRITERIO MÉDICO

De acuerdo al análisis realizado por el especialista se observa un trastorno que está definido por un mayor apoyo en la parte interna del pie, en la parte lateral falta carga de peso, la Figura 189 nos permite apreciar el aumento de carga de peso en el borde interno.



mayor apoyo en la
parte interna o
medial del pie

Figura 189. Trastorno en la pisada estática

Luego el médico observó el exceso de carga en el arco plantar (mediopié), como lo muestra la Figura 190:

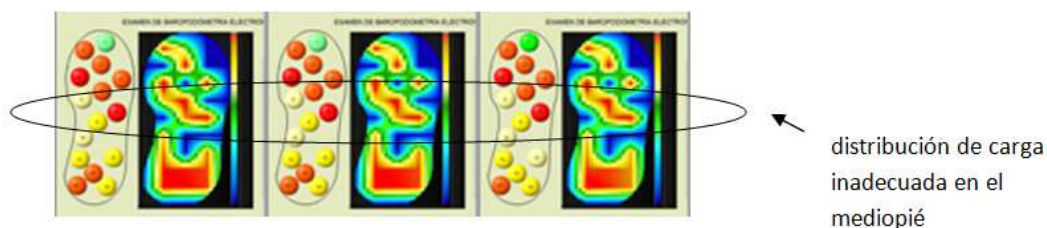


Figura 190. Distribución de la carga de peso en el mediopié

Además siendo una baropodometría estática se debe observar la huella de la carga del pie en los metatarsianos y bien distribuida en el talón, como se observa en la Figura 191, en este paciente en todas las graficas se aprecia una mayor carga en los sectores del borde interno y en el primer metatarsiano, lo que nos sugiere un pie pronador plano.

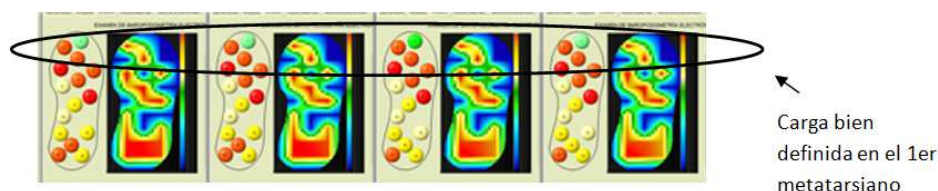


Figura 191. Sobrecarga en el bordo interno del pie derecho.

La Figura 192 indica la Grafica de las zonas de presión en un examen de baropodometría estática.

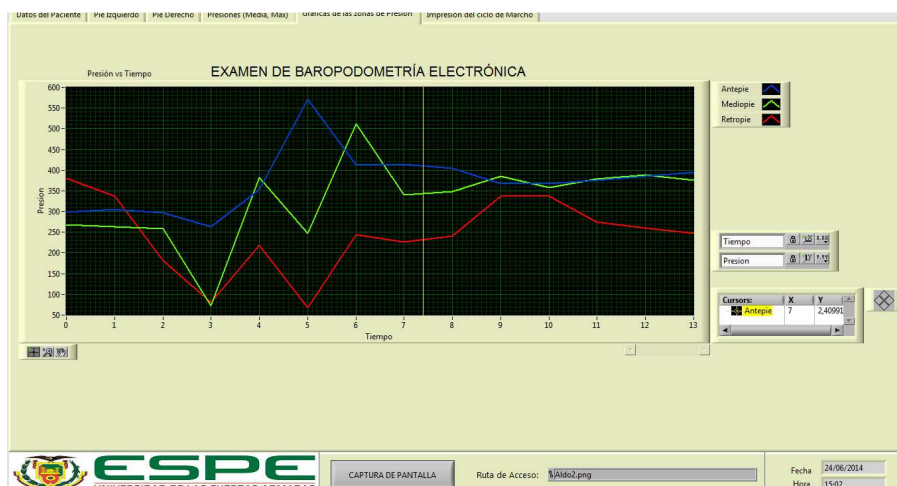


Figura 192. Graficas de las zonas de presión – Paciente2

Se espera que en un examen de baropodometría estática, el mediopié concentre la menor carga, pero en la Figura 193 se observa un aumento de carga en el mediopié y antepié, es decir en el retropié no existe mayor condición de carga, la línea verde correspondiente al mediopié debería ser la línea que registre menores presiones en condiciones normales.

La Figura 193 indica los valores numéricos de presión.

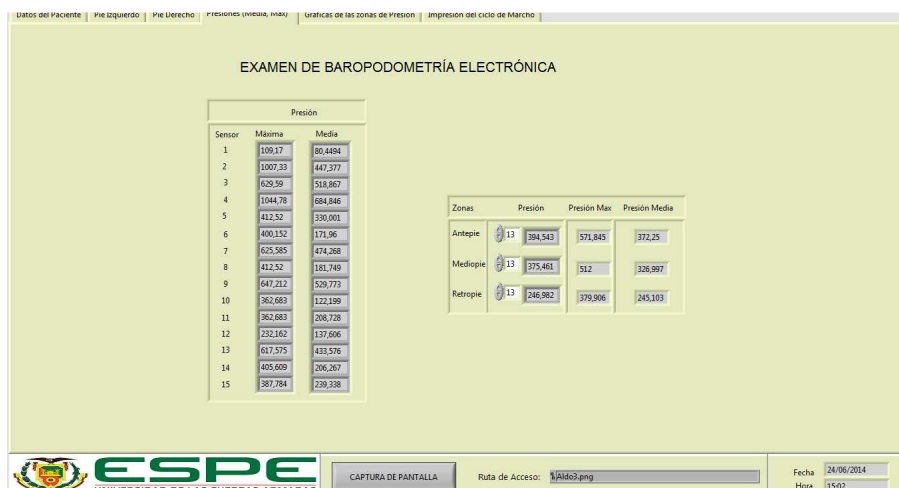


Figura 193. Presiones (Media, Max) – Paciente2

Finalmente se realizó un análisis de los valores de presión. La Figura 194 muestra que los sensores del mediopié están sometidos a alta presión, y en el retropié existe falta de carga a nivel de talón, observándose la mayor distribución de carga en el antepié y mediopié

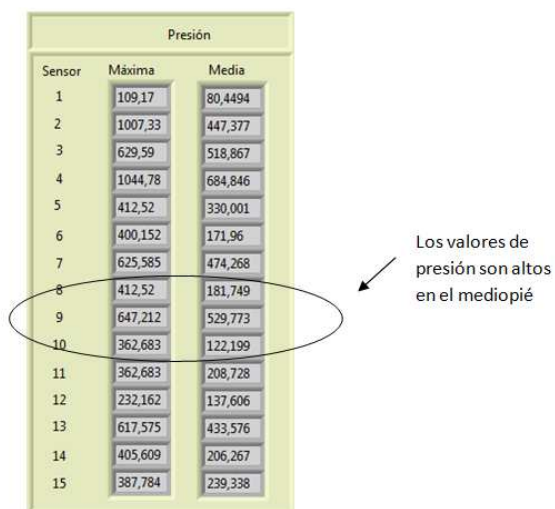


Figura 194. Presiones en el mediopié

El análisis anterior nos permite concluir que el niño tiene pie plano pronador.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

✓ Para que los sensores de fuerza no marquen un valor sin tener peso, es importante que todo el circuito tenga una tierra común y que las fuentes utilizadas tengan 2 capacitores en paralelo.

✓ Los exámenes baropodométricos permiten establecer que el estudio estático identifica de mejor manera el pie plano en el paciente, mientras que para la definición de pronación o supinación el estudio dinámico resulta más acertado. Ambos exámenes son muy importantes ya que el uno puede identificar patologías imperceptibles para el otro y viceversa.

✓ Uno de los principales requerimientos que se debe tener en cuenta en un sistema de baropodometría es el acelerado procesamiento de datos dinámicos e imágenes de la planta del pie en un tiempo corto con capacidad de cómputo en tiempo real.

✓ El registro de presiones plantares varía de paciente a paciente e incluso entre el mismo paciente debido a la posición del pie y al balanceo, éste último hace que varíe el peso que soportan las diferentes zonas durante la marcha. Además, también influye la metodología utilizada para la medición de las presiones plantares.

✓ En un examen de baropodometría dinámica se observa que conforme avanza el peso del cuerpo a la zona central del talón aumenta la superficie de apoyo, la presión se reduce en esa área.

✓ Al realizar la comparación entre el examen estático y dinámico, se encuentra que las zonas de presión son similares, la

diferencia más notoria que existe es la visualización de nuevas áreas y el aumento de la superficie de la zona central del talón.

5.2. RECOMENDACIONES.

✓ Para una buena captura de pantalla del ciclo de marcha no se debe cambiar de pestaña o de pantalla ya que mientras se realiza el examen se toman capturas de pantalla sucesivas de la pantalla desplegada.

✓ Si el módulo bluetooth empieza a parpadear se o se apaga se debe quitar la energía, cerrar el programa y reiniciar el sistema.

✓ Para futuros prototipos se recomienda usar un Software que permita registrar una mayor cantidad de muestras en menor tiempo, con lo cual el examen va a tener resultados aun más reales.

✓ En la elaboración de las plantillas sería recomendable no doblar los sensores, ya que un peso excesivamente alto podría romper el sensor y dañar la plantilla por ende dañar la vida útil del sistema.

✓ Sería recomendable aumentar el número de sensores en las plantillas y de ser posible que sean de menor tamaño con el fin de tener datos de mayor superficie de sensamiento del pie.

✓ Optimizar el tamaño de la tarjeta de adquisición de datos para evitar desbalance en el centro de gravedad de la marcha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- (s.f.). Recuperado el 23 de Junio de 2014, de USO DE ESTRUCTURAS EN LABVIEW:
<http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/labviewusodestructuras.pdf>
- Alvarez, N. &. (Diciembre de 2006). Descripción de un sistema para la medición de las presiones plantares por medio del procesamiento. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*(6), 3-5.
- aplicada, M. (3 de Noviembre de 2011). *Pierna y pie*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/71366562/81/ARTICULACION-MEDIOTARSIANA-O-TRANSVERSA-DEL-TARSO>
- Arce, C. (2011). *Baropodometría Computarizada: Fundamentos y Aplicaciones*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2013, de http://www.rehab-almenara.org/academic_archivos/presenta_2011/BPMC-%28Fundamentos-y-Aplicaciones%29.pdf
- Arduino. (2014). *ARDUINO MEGA 2560*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- Arduino. (2014). *Descarga el Software de Arduino*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://arduino.cc/es/main/software>
- Armada., U. N. (1 de Junio de 2008). *Anatomía Humana*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2013, de <http://unefaanatomia.blogspot.com/2008/06/msculos-del-miembro-inferior.html>
- Bach. (s.f.). *Interpolación*. Recuperado el 2014 de Junio de 27, de <http://carmesimatematic.webcindario.com/interpolacion%20lineal.htm>
- Bisbal, B. &. (s.f.). *Pie, tobillo y boveda plantar*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2013, de <http://www.authorstream.com/Presentation/analisis-1957219-biomecanica-tobillo-pie-boveda-plantar/>
- Clemente, J. (30 de Enero de 2012). *Huesos.Pie*. Recuperado el 05 de Junio de 2014, de <https://www.flickr.com/photos/71742660@N04/6788678407/in/photostream/>
- Cohen, R. (08 de Febrero de 2013). *La importancia de una buena pisada*. Recuperado el 10 de Junio de 2014, de <http://www.ruthcohen.es/index.php/blog/82-blog/140-la-importancia-de-una-buena-pisada>
- Consult, M. N. (2014). *Inestabilidad subastragalina con rehabilitación*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de https://www.google.com.ec/search?q=metatarsiana&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=quI9U_LUF_a2sAStpIHwAg&ved=0CD8QsAQ&biw=1440&bih=799#q=articulacion+subtalar&tbm=isch&facrc=_&imgdii=_&imgrc=W4rJyEilcGergM%253A%3BmdRUVpw_rhr-pM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.n
- Docpods. (s.f.). *Peroneal Tendon Subluxation*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://www.docpods.com/peroneal-tendon-subluxation>
- Echeverría, M. (2 de Junio de 2013). *Tobillo*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2013, de <http://www.slideshare.net/mariajorosellechevarria/tobillo>

- EcuRed. (s.f.). *Huesos del Pie*. Recuperado el 05 de Junio de 2014, de http://www.ecured.cu/index.php?title=Huesos_del_Pie&action=history
- Electronics, I. (s.f.). *State of the art pointing solutions for the OEM*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de www.interlinkelectronics.com
- Elsys. (2014). *Elsys Instrument Driver for NI LabVIEW*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de http://www.elsys-instruments.com/support/labview_instrument_driver.php
- Elvira, J. &. (2008). *ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL APOYO PLANTAR EN LA MARCHA ATLÉTICA. RELACIÓN ENTRE LA HUELLA PLANTAR, ÁNGULOS DE LA ARTICULACIÓN SUBASTRAGALINA Y PRESIONES PLANTARES*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de [http://www.revistamotricidad.es/openjs/index.php?journal=motricidad&page=article&op=viewArticle&path\[\]=176&path\[\]=360](http://www.revistamotricidad.es/openjs/index.php?journal=motricidad&page=article&op=viewArticle&path[]=176&path[]=360)
- Encarnación, a. (Julio de 2012). *Análisis Biomecánico de la Marcha Nórdica*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://roderic.uv.es/handle/10550/24309>
- Estructura Osea*. (s.f.). Recuperado el 2 de Diciembre de 2013, de http://www.podoortosis.com/a_introduccion/a01e.htm
- Facts, F. H. (1942). *Lesiones en un Hueso Sesamoideo del Pie*. Recuperado el 05 de Junio de 2014, de <http://www.foothealthfacts.org/content.aspx?id=1547>
- Galeon901. (Septiembre de 2012). *Articulaciones Tobillo y Pie*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://www.slideshare.net/galeon901/articulacin-tobillo-y-pie>
- García, L. &. (2 de Noviembre de 2007). *Sistema de plantillas instrumentadas "PIEZOMED" destinadas a la valoración del calzado*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2013, de <http://revistabme.eia.edu.co/numeros/2/art/79-82.pdf>
- Garcia, N. (27 de Mayo de 2009). *Articulaciones del miembro inferior*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://www.slideshare.net/jesuscardenasr/articulaciones-miembro-inferior>
- Gardner, E. &. (1989). Pie y Tobillo. En E. &. Gardner, *Anatomía de Gardner* (págs. 304-321). Nueva Editorial Interamericana.
- Girones, S. (s.f.). *Salud e higiene infantil*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://html.rincondelvago.com/salud-e-higiene-infantil.html>
- Grancol, R. (s.f.). *Sistema Muscular*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://vitruviomuscular.webnode.es/componentes/>
- Hacker, L. (s.f.). *Labview interface for arduino*. Recuperado el 09 de Junio de 2014, de <https://www.labviewhacker.com/doku.php?id=libraries:lifa:lifa>
- Healthwise. (08 de Junio de 2013). Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <https://espanol.kaiserpermanente.org/static/health-encyclopedia/es-us/kb/hw14/3095/hw143095.shtml>
- Humana, L. d. (2013). *Descripción Cíngulo Pélvico y Miembro Inferior*. Recuperado el 05 de Junio de 2014, de <http://www.anatomiahumana.ucv.cl/efi/modulo3.html>
- Leon, L. (22 de Abril de 2014). *[Curso-Introduccion] – Fundamentos y curiosidades del Arduino*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://creatinueva.com/2014/04/22/curso-introduccion-fundamentos-y-curiosidades-del-arduino/>

- lookfordiagnosis. (Abril de 2009). *Articulación Metatarsofalángica*. Recuperado el 05 de Junio de 2014, de https://lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Articulaci%C3%B3n+Metatarsofal%C3%A1ngica&lang=2
- Lopez, J. (s.f.). *Qué es la podología*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2013, de <http://www.genbasa.com/clinipie/podologia.htm>
- Mahiques, A. (s.f.). *Síndrome del Túnel Tarsiano*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de http://cto-am.com/t_neurologicos_pie.htm
- Mansilla, G. (2007). *La Biomecánica del pie y el calzado deportivo*. Recuperado el 10 de Junio de 2014, de http://www.felipeisidro.com/articulos/biomecanica_pie.htm
- Martínez, A. (Julio de 2012). *Análisis biomecánico de la Marcha Nórdica: efectos de la experiencia y de la velocidad de práctica sobre el patrón de presión plantar, las fuerzas de reacción del suelo y los niveles de impacto*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2013, de <http://roderic.uv.es/handle/10550/24309>
- Medicina, C. V. (s.f.). *Sistema Muscular de la Pierna y el Tobillo*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de http://www.iqb.es/facultad%20de%20medicina/anatomia/tema15/tema15_02.html
- Medicina, P. U. (s.f.). *Patología ortopédica del pie*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2013, de http://escuela.med.puc.cl/publ/OrtopediaTraumatologia/Trau_Secc02/Trau_Sec02_10.html
- Medicine, T. C. (1999). *POSTERIOR TIBIAL TENDON INJURIES*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://www.arthroscopy.com/sp09012.htm>
- Monroy, M. (s.f.). *Un estudio oportuno puede evitar operaciones de columna*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2013, de <http://www.vocero.com.mx/un-estudio-oportuno-puede-evitar-operaciones-de-columna/>
- Moris, D. (s.f.). *Anatomía del Pie Humano*. Recuperado el 06 de Julio de 2014, de <http://www.podologiamoris.es/el-pie-introduccion.html>
- Moscardo, L. (s.f.). *ESGUINCE DE LA ARTICULACIÓN MEDIOTARSIANA*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://www.abcfisioterapia.com/fisioterapia-esguince-articulacion-meditarsiana.html>
- Muñoz, J. (4 de Abril de 2006). *Deformidades del pie*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2013, de <http://www.neonatos.org/DOCUMENTOS/Pie.pdf>
- Ortopédico, I. T. (2006). *Estudios de la marcha - Baropodometría electrónica*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://www.ortopedia-online.com/ortopedia-a-medida.asp?id=17>
- Pediatría, A. E. (Julio de 2006). *Deformidades del Pie*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://www.apcontinuada.com/es/deformidades-del-pie/articulo/80000202/>
- Pilates Espai, 7. (2014). *Fortalece tus pies*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://pilates-espai7.blogspot.com/2010/10/fortalece-tus-pies.html>
- Portilla, Y. (Agosto de 2012). *HUESOS DEL PIE*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de http://yadyprinse.blogspot.com/p/huesos-del-pie_28.html

- Root, M. &. (1991). Pronación y Supinación. En *Exploración Biomecánica del pie* (págs. 45-55). Madrid. Obtenido de <http://www.uclm.es/profesorado/xaguado/ASIGNATURAS/BMD/4-Apuntes/PRONACIONYSUPINACION.pdf>
- Rouviere, H. &. (2005). Anatomía Humana. En *Anatomía descriptiva del miembro inferior*. España: Masson.
- Salud, P. (s.f.). *Pie Cavo*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2013
- Salud, P. (s.f.). *Pie Plano*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://www.piesalud.com.do/pie-plano.html>
- Sanchez, A. (03 de Noviembre de 2013). *Labview + Arduino*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://www.slideshare.net/AlbertoSanchez6/arduino-labview>
- Sanz, M. (s.f.). *Cinesiología de la Marcha Humana Normal*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2013, de <http://wzar.unizar.es/acad/cinesio/Documentos/Marcha%20humana.pdf>
- Trainer, C. (08 de Noviembre de 2013). *Como pisas en la vida.... Pronación, Supinación o Neutro*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://jllagares.wordpress.com/2013/11/08/como-pisas-en-la-vida-pronacion-supinacion-o-neutro/>
- Tutorial de Labview*. (s.f.). Recuperado el 06 de Junio de 2014
- Ultrawalking, E. (s.f.). *ELECCIÓN DE ZAPATILLAS - BIOMECANICA DEL PIE*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2013, de http://www.gym19.com.ar/biomecanica_pie.html
- UNEFM, M. (Junio de 2011). *Semiología Osteoarticular*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://introduccionalapm.blogspot.com/2011/05/articulacion-del-pie.html>
- Vélez, M. (s.f.). *Importancia preventiva y curativa de la baropodometría para la ergonomía y salud ocupacional*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/31384572/Baropodometria-UDLA>
- Yabar, L. &. (s.f.). *Estudio para el diseño de un Sistema*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2013, de <http://ns1.fi.uner.edu.ar/grupos/geic/biblioteca/archivos/Trabypres/T08TCPe07.pdf>