

# Índice de contenidos

|  |           |
|--|-----------|
| Glosario   | ii        |
| Índice de contenidos   | iv        |
| Índice de figuras  | vii       |
| Índice de tablas   | xvi       |
| Resumen  | xvii      |
| Abstract   | xviii     |
| <b>1. Introducción</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. Motivación . . . . .  | 1         |
| 1.2. Objetivo . . . . .  | 2         |
| 1.3. Organización de la tesis . . . . .  | 3         |
| <b>2. Músculo esquelético</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1. Estructura del músculo . . . . .  | 4         |
| 2.2. Contracción muscular a nivel molecular . . . . .  | 7         |
| 2.3. Contracción muscular a nivel macroscópico . . . . .   | 8         |
| 2.3.1. Unidad motora . . . . .   | 9         |
| 2.3.2. Clasificación de unidades motoras . . . . .   | 9         |
| 2.3.3. Reclutamiento de unidades motoras . . . . .   | 11        |
| 2.3.4. Fatiga muscular y abastecimiento de energía . . . . .   | 12        |
| 2.3.5. Modelo de Hill: relación entre activación, fuerza, longitud y ve-<br>locidad de contracción . . . . . | 13        |
| 2.4. Origen de las vibraciones musculares . . . . .  | 17        |
| 2.5. Mecanomiografía . . . . .   | 22        |
| 2.6. Características de la señal de mecanomiografía . . . . .  | 25        |
| <b>3. Desarrollo del dispositivo</b>   | <b>30</b> |
| 3.1. Necesidades y requerimientos . . . . .  | 30        |

---

|   |            |
|---|------------|
| 3.2. Arquitectura del dispositivo . . . . .                         | 31         |
| 3.3. Carcasa . . . . .  | 33         |
| 3.4. Placa de desarrollo . . . . .                                  | 34         |
| 3.5. Acelerómetro . . . . .   | 38         |
| 3.6. Electrónica . . . . .  | 40         |
| 3.6.1. Filtro antialias y protección de sobretensión . . . . .      | 40         |
| 3.6.2. Alimentación . . . . .                                       | 41         |
| 3.6.3. Acondicionamiento de señal para acelerómetro . . . . .       | 41         |
| 3.6.4. Acondicionamiento de señal para celda de carga . . . . .     | 44         |
| 3.6.5. Manufactura . . . . .  | 45         |
| 3.6.6. Caracterización . . . . .                                    | 47         |
| 3.7. Aplicación de control y comunicación . . . . .                 | 49         |
| <b>4. Procesamiento de señal</b>                                    | <b>52</b>  |
| 4.1. Procesamiento de señal en tiempo real . . . . .                | 52         |
| 4.1.1. Corrección de alinealidad del ADC . . . . .                  | 54         |
| 4.1.2. Sobremuestreo, aliasing y error de cuantización . . . . .    | 56         |
| 4.1.3. Diseño del filtro digital . . . . .                          | 61         |
| 4.2. Procesamiento de señal fuera de línea . . . . .                | 64         |
| 4.2.1. Transformaciones tiempo-frecuencia . . . . .                 | 66         |
| 4.2.2. Preprocesamiento . . . . .                                   | 69         |
| 4.2.3. Descomposición . . . . .                                     | 73         |
| 4.2.4. Extracción de parámetros de la señal . . . . .               | 77         |
| 4.2.5. Selección de parámetros . . . . .                            | 83         |
| <b>5. Validación experimental</b>                                   | <b>87</b>  |
| 5.1. Objetivo de los experimentos . . . . .                         | 87         |
| 5.2. Arreglo experimental . . . . .                                 | 88         |
| 5.3. Metodología experimental . . . . .                             | 92         |
| 5.3.1. Protocolo de ensayo . . . . .                                | 92         |
| 5.3.2. Procesamiento de datos . . . . .                             | 95         |
| 5.4. Resultados . . . . .   | 97         |
| 5.4.1. Carga variable . . . . .                                     | 97         |
| 5.4.2. Ejercicio al fallo . . . . .                                 | 108        |
| 5.4.3. Prueba de impacto . . . . .                                  | 118        |
| 5.5. Posible interpretación de los parámetros encontrados . . . . . | 122        |
| <b>6. Conclusión</b>  | <b>126</b> |
| 6.1. Conclusiones del trabajo . . . . .                             | 126        |
| 6.2. Trabajo a futuro . . . . .                                     | 129        |

**Bibliografía**

**132**

**Agradecimientos**

**139**