

Tabla de Contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
TABLA DE CONTENIDOS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMÁTICA	2
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
1.4. METODOLOGÍA	2
1.5. ESTADO DEL ARTE	3
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
1.6.1 <i>Alcances</i>	8
1.6.2 <i>Limitaciones</i>	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. ELECTROMIOGRAFÍA.....	9
2.2. ELECTRODOS	10
2.2.1 <i>Electrodos subdérmicos</i>	11
2.2.2 <i>Electrodos superficiales</i>	12
2.2.3 <i>Localización de los electrodos, forma, tamaño, distancia inter-electrodo</i>	15
2.3. FILTROS ELECTRÓNICOS.....	16
CAPÍTULO 3. SISTEMA PROPUESTO	18
3.1. ADQUISICIÓN DE SEÑAL EMG	18
3.1.1 <i>Amplificador de instrumentación</i>	19
3.1.2 <i>Amplificador no inversor</i>	23
3.2. FILTRADO	24
3.3. RECTIFICADO	28
3.4. PROCESAMIENTO DE SEÑAL	32
CAPÍTULO 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES	34
4.1. IMPLEMENTACIÓN DE CIRCUITO	34
4.2. DISEÑO DE CIRCUITO EN PLACA	38
4.3. PRUEBAS EXPERIMENTALES	42
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	56
5.1. CONCLUSIONES.....	56
5.2. TRABAJOS FUTUROS.....	57
REFERENCIAS	58
ANEXO A. CÓDIGO ARDUINO	60

Lista de Figuras

Figura 1. Prótesis Luke Arm de DEKA	4
Figura 2. Mano y antebrazo del proyecto Inmoov.	4
Figura 3. Electrodo intramuscular EMG.	5
Figura 4. Electrodo EMG de superficie.	5
Figura 5. Electromiógrafo de 8 canales modelo EMG-VIII.	6
Figura 6. Placa ECG/EKG/EMG para Arduino.	7
Figura 7. Sensor muscular Myoware.	7
Figura 8. Detector de gestos Myo Armband.	8
Figura 9. Unidad motora y fibras musculares.	9
Figura 10. Relación entre la contracción muscular voluntaria y la señal electromiográfica.	10
Figura 11. Diferente tipo de electrodos de agujas. a) Electrodo monopolar. b) Electrodo de aguja monopolar. c) Electrodo de aguja bipolar.	12
Figura 12. Diagrama de descomposición de señales electromiográficas de superficie.	13
Figura 13. Diferentes tipos de electrodos de superficie. a) Electrodo plano. b) Electrodo adhesivo. c) Electrodo de succión. d) Electrodo suspendido. e) Electrodo adhesivo de banda. f) Electrodo seco.	14
Figura 14. Resultado de la impedancia de contacto entre la piel y el electrodo contra el tiempo para los cuatro tipos de electrodos; la gráfica muestra un promedio de datos recabados a 5 sujetos [17].	15
Figura 15. Resultados de un inventario de usos de sensores para SEMG en laboratorios europeos obtenidos escaneando 6 volúmenes (1991-1997) de revistas con publicaciones acerca de SEMG. a) Histograma del diámetro del electrodo. b) Histograma de la distancia inter-electrodo [13].	16
Figura 16. Gráfica de magnitud vs frecuencia de los diferentes tipos de filtros para una frecuencia de corte de 10kHz.	17
Figura 17. Diagrama de funcionamiento circuito de adquisición de señales EMG.	18
Figura 18. Señal EMG registrada con electrodos de Ag/AgCl del músculo bíceps durante dos contracciones breves.	19
Figura 19. Diagrama de amplificador de instrumentación INA128 de Texas Instrument [21].	20
Figura 20. Circuito de retroalimentación para disminuir las corrientes de fuga (Circuito de pierna derecha) [21].	21
Figura 21. Circuito de retroalimentación para disminuir las corrientes de desbalance y ruido en modo común (circuito de pierna derecha) para EMG.	21
Figura 22. Diagrama esquemático del circuito integrador de la etapa de pre amplificación.	22
Figura 23. Diagrama de amplificado de instrumentación.	23
Figura 24. Diagrama de amplificador no inversor.	24
Figura 25. Rango de frecuencia EMG.	25
Figura 26. Comportamiento de filtros Butterworth de distintos órdenes.	25
Figura 27. Filtro pasa alto activo de segundo orden Butterworth con topología Sallen Key.	26
Figura 28: Filtros pasa bajo activo de segundo orden Butterworth con topología Sallen Key.	27
Figura 29. Diagrama de filtrado con valores nominales.	28
Figura 30. Rectificador de precisión de onda completa.	29
Figura 31. Circuito equivalente cuando $V_{IN} > 0$	30
Figura 32. Circuito equivalente cuando $V_{IN} < 0$	30
Figura 33. Rectificador de precisión de onda completa con valores nominales.	31
Figura 34. Diagrama de flujo de procesamiento de señal EMG.	33
Figura 35. Montaje de circuito de detección de señales EMG.	34
Figura 36. Toma de señales EMG con electrodos de superficie en el antebrazo.	35
Figura 37. Gráfica de señal EMG en el antebrazo con circuito montado en protoboard.	36
Figura 38. Programa de accionamiento de servomotor con una señal EMG.	36
Figura 39. Gráfica de duración de una señal muscular.	37
Figura 40. Diagrama de accionamiento de servomotor.	38
Figura 41. Esquemático de circuito EMG en software EAGLE.	39
Figura 42. Diagrama placa PCB de circuito EMG.	40
Figura 43. Fabricación de placa PCB en router CNC.	40
Figura 44. Conjunto de placas PCB ya ruteadas y listas para ser cortadas.	41
Figura 45. Montaje de placa de circuito EMG.	42
Figura 46. Gráfica de señal EMG en placa PCB con electrodos en antebrazo.	43

Figura 47. Diagrama de conexión para tres circuitos de adquisición de señales EMG.....	44
Figura 48. Montaje de tres circuitos de adquisición de señales EMG.....	45
Figura 49. Electrodo húmedo con terminal metálico.....	45
Figura 50. Distribución de tres pares de sensores EMG en el brazo.....	46
Figura 51. Gráfica de señales para tres sensores de señales EMG.....	47
Figura 52. Combinaciones de señales musculares. a) Señal 2 y señal 3. b) Señal 1 y señal 3. c) Señal 1, señal 2 y señal 3.	48
Figura 53. Señal de levantamiento de peso de 2kg.....	49
Figura 54. Filtro digital para señal EMG.....	49
Figura 55. Diagrama de conexión de sistema con servomotores.....	51
Figura 56. Prótesis de brazo con montaje de servomotores.....	52
Figura 57. Sistema de adquisición de señales EMG conectado a prótesis de brazo.....	53
Figura 58. Resultado de experimento de tomar pelota de 6cm de diámetro.....	54
Figura 59. Experimento de agarrar y vaciar una botella con agua.....	55

