

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
Motivación	1
Alcance	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	3
Estructura del trabajo.....	3
Capítulo 2.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
Antecedentes	5
Concepto de monitoreo remoto.....	6
Electrodos de hilo de nylon revestido en plata (Silver plated nylon yarn).....	6
PEDOT:PSS	7
Estado del arte	8
Electrocardiograma remoto	8
Estudios con PEDOT:PSS.....	8
Detección de señales.....	10
Electrocardiograma (ECG)	10
Temperatura	12
Oximetría.....	16
Amplificación.....	18
Amplificador operacional	18
Rechazo a la señal de modo común (CMRR)	19
Amplificador de instrumentación	19
Diagrama de Bode	20
Filtrado.....	21
Filtros pasivos	22
Filtros activos	23
Filtro pasa altos de primer orden	24
Filtro pasa bajos de primer orden.....	26
Filtro pasa banda	26

Filtro notch o rechaza banda	27
Factor de calidad	28
Topología	29
Tipos	32
Elección de filtros.....	33
Alimentación	34
Capítulo 3.....	35
METODOLOGÍA.....	35
Etapas del circuito	35
Inversión del voltaje de entrada.....	35
Pre amplificación.....	35
Filtros.....	36
Instrumentos de medición	41
Multímetro	41
Osciloscopios.....	41
Fuente de corriente continua programable	42
Etapas de implementación y medición	42
Implementación del circuito completo en protoboard	42
Prueba del circuito implementado en protoboard.....	43
Pruebas con electrodos comunes.....	43
Prueba de medios de propagación	44
Diseño e implementación de los electrodos textiles	44
Prueba del circuito con medio escogido y electrodo textil	45
Capítulo 4.....	46
IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS.....	46
Implementación de las etapas del circuito en protoboard	46
Inversor de voltaje.....	46
Amplificador de instrumentación	46
Filtro pasa altos	46
Filtro pasa bajos	46
Filtro notch	47
Resultados de pruebas del circuito en protoboard	47
Con alimentación de 3 V	47
Con alimentación de 5 V	48

Con alimentación de 5 V y sin filtro notch	49
Análisis de la señal con Matlab.....	49
Prueba con electrodos Skintact.....	52
Prueba de medios de propagación.....	53
Lápiz de Níquel	53
Hilo conductor (<i>silver plated nylon yarn</i>)	55
Implementación de los electrodos PEDOT:PSS.....	56
Prueba del circuito con electrodo PEDOT:PSS	57
Capítulo 5.....	59
CONCLUSIONES	59
Caracterización de la señal.....	59
Diseño del circuito	59
Respecto a las pruebas realizadas.....	59
Prueba del circuito con electrodos comunes.....	59
Prueba de medios de propagación	60
Implementación del electrodo PEDOT:PSS.....	60
Prueba con electrodo PEDOT:PSS.....	61
Otras señales	61
Trabajo futuro	62
Almohadita.....	62
Amplificador de aislamiento y seguridad del paciente	62
Inclusión de otras señales	62
Pasar el diseño del circuito a una PCB.....	62
Mejorar elaboración de electrodos PEDOT:PSS	63
Desarrollar el circuito con un DSP	63
Bibliografía	64
Anexo - A	66
Módulos básicos con op-amps	66
Inversor.....	66
No inversor	66
Sumador.....	67
Restador	68
Integrador	69
Diferenciador.....	69

Anexo - B 70

Índice de Figuras

Figura 1: Conceptualización de sistema de monitoreo remoto	6
Figura 2: Hidrofobia de silver plated nylon cloth vs hidrofilia de PEDOT:PSS	7
Figura 3: Registro de ECG con derivación II	11
Figura 4: Arreglo de circuito para una termocupla, mostrando al voltímetro interrumpiendo uno de los cables de la termocupla (a) y en el punto de junta de referencia (b).	14
Figura 5: Medidor de saturación de oxígeno no invasivo desechable.....	17
Figura 6: Configuración de un op-amp, mostrando sus entradas ($V+$ y $V-$), su alimentación positiva y negativa (V_{S+} y V_{S-}) y su salida (V_{out})	18
Figura 7: Diagrama de Bode de un filtro pasa bajos de primer orden. Se muestra la magnitud y la fase v/s la frecuencia en escala logarítmica.	21
Figura 8: Filtro pasa bajos pasivo de primer orden.....	23
Figura 9: Filtro pasa bajos activo de primer orden.	24
Figura 10: Filtro pasa altos pasivo de primer orden.....	25
Figura 11: Filtro pasa altos activo de primer orden.	25
Figura 12: Diagrama de Bode para un filtro pasa altos de primer orden, las aproximaciones rectas se denominan "Bode pole" o "polo de Bode".	26
Figura 13: Ganancia de un filtro pasa banda, el cual muestra las frecuencias de corte pasa bajos y pasa altos.....	27
Figura 14: Diagrama de Bode de un filtro notch centrado en 5 kHz.	28
Figura 15: Configuración Sallen-Key de filtro pasa bajos con ganancia unitaria.	29
Figura 16: Circuito Sallen-Key generalizado.	30
Figura 17: Filtro pasa bajos con configuración Multiple Feedback.	31
Figura 18: Respuesta en frecuencia de un filtro pasa bajos Butterworth. ...	32
Figura 19: Respuesta en frecuencia de un filtro pasa bajos Chebyshev tipo II de 4° orden.	33

Figura 20: Respuesta en frecuencia de un filtro pasa bajos Chebyshev de 5° orden.....	33
Figura 21: Topología de inversor de voltaje, mostrando como ejemplo un voltaje de entrada de 5 V.	35
Figura 22: Respuesta en frecuencia del filtro pasa altos diseñado en Filter Wizard. Muestra la magnitud v/s la frecuencia.	37
Figura 23: Respuesta en frecuencia del filtro pasa altos diseñado en Filter Wizard. Muestra la fase v/s la frecuencia.	37
Figura 24: Circuito del filtro pasa altos diseñado en Filter Wizard.....	38
Figura 25: Respuesta en frecuencia del filtro pasa bajos diseñado en Filter Wizard. Muestra la magnitud v/s la frecuencia.	38
Figura 26: Respuesta en frecuencia del filtro pasa bajos diseñado en Filter Wizard. Muestra la fase v/s la frecuencia.	39
Figura 27: Circuito del filtro pasa bajos diseñado en Filter Wizard.....	39
Figura 28: Diseño de filtro notch de alimentación dual de Filter Design in 30 Seconds.	40
Figura 29: Multímetro Rish Multi 11.	41
Figura 30: Osciloscopio Rigol MSO4012.	41
Figura 31: Osciloscopio DSO Nano V3.	42
Figura 32: Fuente continua programable Rigol DP832.	42
Figura 33: Electrodo Skintact.	43
Figura 34: Conexión del electrodo PEDOT:PSS. La placa azul es el electrodo, la placa café es una tela hecha de nylon bañado en plata, la tela superior es una tela elástica, y la línea amarilla es un cable metálico.....	44
Figura 35: Señal obtenida con alimentación de 3 V en implementación en protoboard.	48
Figura 36: Señal obtenida con alimentación de 5 V en implementación en protoboard.	48
Figura 37: Señal obtenida con alimentación de 5 V y sin filtro notch.	49
Figura 38: Respuesta del circuito obtenida con Matlab.....	50

Figura 39: Respuesta en frecuencia de la señal obtenida con protoboard. ..	50
Figura 40: Señal obtenida filtrando los 50 Hz invasivos.	51
Figura 41: Respuesta en frecuencia de la señal filtrada en Matlab.	52
Figura 42: Señal obtenida con electrodos Skintact, alimentación independiente y medida con el osciloscopio DSO Nano V3.	52
Figura 43: Prueba de continuidad y resistencia realizada sobre una tela elástica (blanca) y no elástica (negra).	53
Figura 44: Gráficos de Resistencia v/s longitud del trazo para ambas telas en distintas direcciones.	54
Figura 45: Resistencia por cm del hilo conductor, medido con el multímetro.	55
Figura 46: Prueba de resistencia del hilo conductor.	56
Figura 47: En la parte superior se ve la simulación de tela conductora, y debajo de ésta se encuentra el electrodo PEDOT:PSS.	56
Figura 48: Electrodo diseñado. Se aprecia el velcro, el electrodo PEDOT:PSS y el conector de 3.5 mm.	57
Figura 49: Salida del osciloscopio para prueba con un electrodo PEDOT:PSS y dos Skintact.	58
Figura 50: Configuración inversor.	66
Figura 51: Configuración no inversor.	67
Figura 52: Configuración sumador.	67
Figura 53: Configuración restador.	68
Figura 54: Configuración integrador.	69
Figura 55: Configuración diferenciador.	69

Índice de Tablas

Tabla 1: Frecuencia respiratoria y cardiaca por edad.	12
Tabla 2: Coeficiente de temperatura de resistencia para metales y aleaciones comunes	13
Tabla 3: Impedancia por componentes. Se ve el caso de frecuencia cero e infinita para una resistencia, un condensador y una inductancia.	22
Tabla 4: Prueba de continuidad y resistencia por centímetro de lápiz de níquel en tela elástica y no elástica.	54
Tabla 5: Resultados de prueba de resistividad sobre el hilo conductor.	55