



INFORME FINAL DEL PROYECTO

Proyecto:	Corrector de impedancia de electrodos	
Autores:	Cassani, María Victoria	95.145
	Ferrari Bihurriet, Francisco	92.275
	Gomez, Kevin Leonel	93.906
Turno de TP:	1 (Martes 19 a 22 hs)	
Año y Cuatrimestre:	2015	Segundo
Docente Guía:	Stola, Gerardo	

Observaciones Generales

Calificación Final	
Firma del Docente	
Fecha	

Índice

1. Objetivo del Proyecto	2
2. Descripción del Proyecto	2
3. Diagrama en Bloques (hardware)	4
4. Diagrama de Flujo (firmware)	5
5. Circuito Esquemático	6
6. Listado de Componentes y Costos	7
7. Resultados	7
8. Conclusiones	7
9. Apéndices	7
9.1. Cálculos	7
9.2. Códigos fuente	8

1. Objetivo del Proyecto

El presente proyecto consiste en el diseño y desarrollo de un sistema de calibración de impedancia y ajuste por electrodeposición (galvanoplastia). Este instrumento se utilizará en el futuro en aplicaciones biomédicas, más precisamente en la fabricación de electrodos de registro extracelular.

2. Descripción del Proyecto

El equipo incluye una cuba conductora, que contiene una solución acuosa, donde se colocan los electrodos. Éstos son similares a un filamento de cobre recubierto con esmalte aislante en su totalidad, excepto en los extremos, los cuales uno va sumergido en la solución y el otro conectado al equipo por medio de un conector especial.

El sistema funciona con 1, 4, 8, 12 ó 16 electrodos, corrigiendo de a uno por vez. El usuario coloca los electrodos procurando que no se produzcan cortocircuitos entre los mismos (se detecta esto antes de comenzar), selecciona la impedancia final deseada y da la orden de inicio. Luego de algunos chequeos básicos se da comienzo al proceso mostrando un mensaje de inicio. Al terminar con todos los electrodos, se muestra la impedancia final de cada uno.

En líneas generales, el sistema consta de un primer módulo que consiste en una fuente de corriente alterna (se espera construirla con un amplificador de transconductancia i_o/v_i , utilizando como entrada una señal senoidal de tensión generada en el microcontrolador, obteniendo en la salida una señal de corriente) que se emplea para medir la impedancia de cada electrodo a estudiar. La señal de salida de este circuito es una corriente senoidal de 1 kHz, con uno de los siguientes valores de amplitud: {30 nA, 80 nA, 120 nA, 200 nA}. Considerando la ley de Ohm y midiendo el valor pico de tensión, se calcula la impedancia del electrodo en estudio como $Z@1\text{ kHz} = \frac{V}{I}$. Luego, este mismo módulo se encarga de imponer una corriente continua de referencia en el sistema, también con los mismos valores posibles citados, para disminuir el valor de la impedancia en caso de ser necesario. Esto es posible porque la solución acuosa contiene oro o plata, de modo de que se produce un recubrimiento por *galvanoplastia* sobre el electrodo y así disminuye la impedancia. Si este proceso es necesario o no, dependerá del resultado previo y de la comparación entre el valor obtenido en la medición y el de referencia establecido previamente por el usuario. Estos dos circuitos se conectan mediante multiplexores analógicos (ver diagrama en bloques) que permiten seleccionar la opción correcta de acuerdo a la cantidad de electrodos analizados.

Como se mencionó, previo a la medición hay que verificar que ningún electrodo esté en cortocircuito con otro. Para ello se propuso inyectar señal en cada electrodo chequeando sobre cada uno de los restantes que no se reciba un nivel elevado de la misma, siendo necesario un multiplexor más, en paralelo con el que se utiliza para inyectar las señales.

Cada determinado tiempo (del orden de 1 min) tiene que medirse la impedancia y corregirla de ser necesario del modo explicado. Este proceso debe repetirse tantas veces como sea necesario hasta llegar al valor de impedancia deseada determinado previamente en la configu-

ración (los valores aceptables para empezar el proceso están entre $1\text{ M}\Omega$ y $5\text{ M}\Omega$), junto con la cantidad de electrodos utilizados. Además, hay que pautar un tiempo máximo de sensado y corrección, para que el sistema deje de actuar en caso de haber pasado ese tiempo sin haber llegado al valor buscado.

Se presentan las siguientes especificaciones a cumplir:

Tensión de alimentación	5 V
Consumo	$< 500\text{ mA}$ (2,5 W)
Temperatura de funcionamiento	$5\text{ }^{\circ}\text{C} - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$
Rango de impedancias de los electrodos medidos	$0\text{ M}\Omega - 60\text{ M}\Omega$ (@ 1 kHz)
Impedancia buscada	$\simeq 1\text{ M}\Omega$
Cantidad de electrodos a conectar	1, 4, 8, 12 ó 16
Tiempo máximo de corrección por electrodo	90 min (*)
Modo medición	señal senoidal, 1 kHz, error $< 10\%$
Modo corrección	señal continua 30/80/120/200 nA, error $< 20\%$

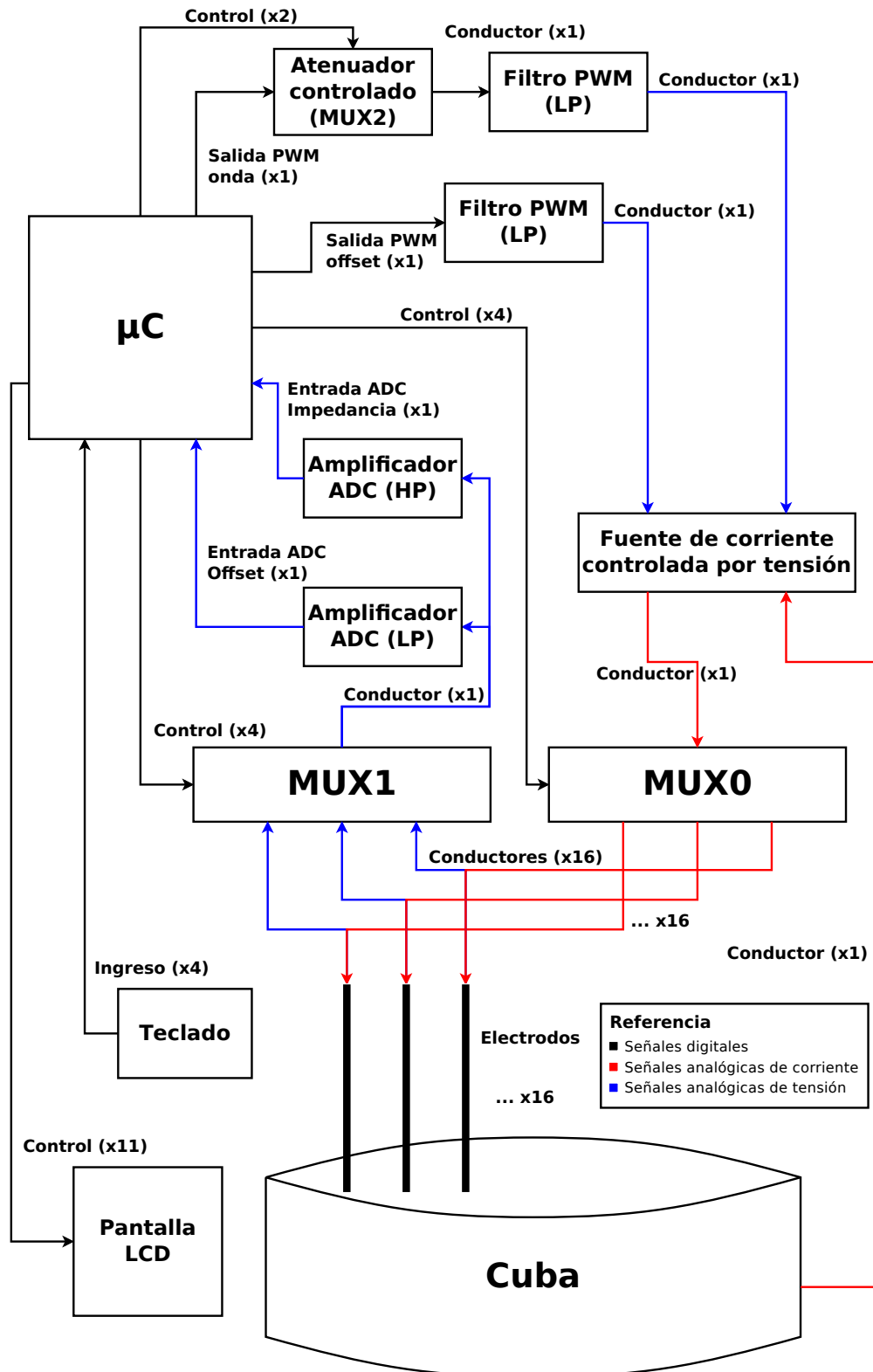
(*) una vez cumplido este tiempo se abandonan los esfuerzos.

El dispositivo tiene una pantalla LCD donde se muestran las opciones de configuración para seleccionar a través de un menú y también los resultados del proceso, además de los mensajes de error o alerta (en caso de ocurrir algún imprevisto o no llegar al valor deseado en el tiempo pautado, por ejemplo). Las opciones se seleccionan desde un teclado de 4 ó [6] botones (ok, cancelar, mover izquierda, mover derecha).

Además, como periféricos principales están los circuitos mencionados antes, el de medición y el de corrección, a través de los cuales se interactúa directamente con los electrodos. Asimismo, otros elementos importantes con los que interactúa el microcontrolador son los multiplexores, que tienen 2 ó 4 entradas de control, según sean de 4 canales o 16, y la cuba electrolítica donde se produce la reacción química para disminuir la impedancia, que está compuesta por un material conductor, el cual también debe conectarse.

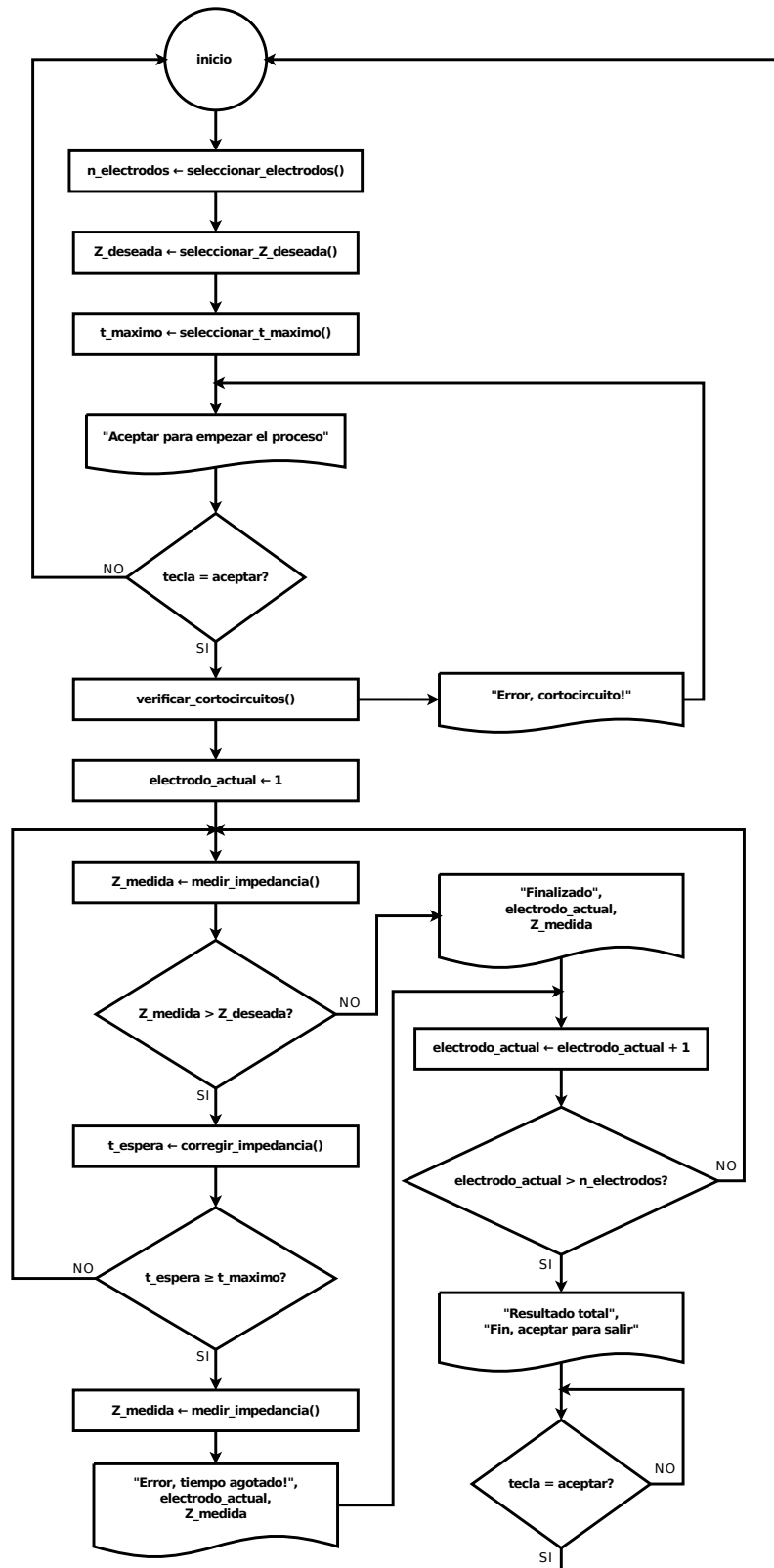
3. Diagrama en Bloques (hardware)

El diagrama de bloques aquí abajo muestra la interconexión de los dispositivos más relevantes del sistema.



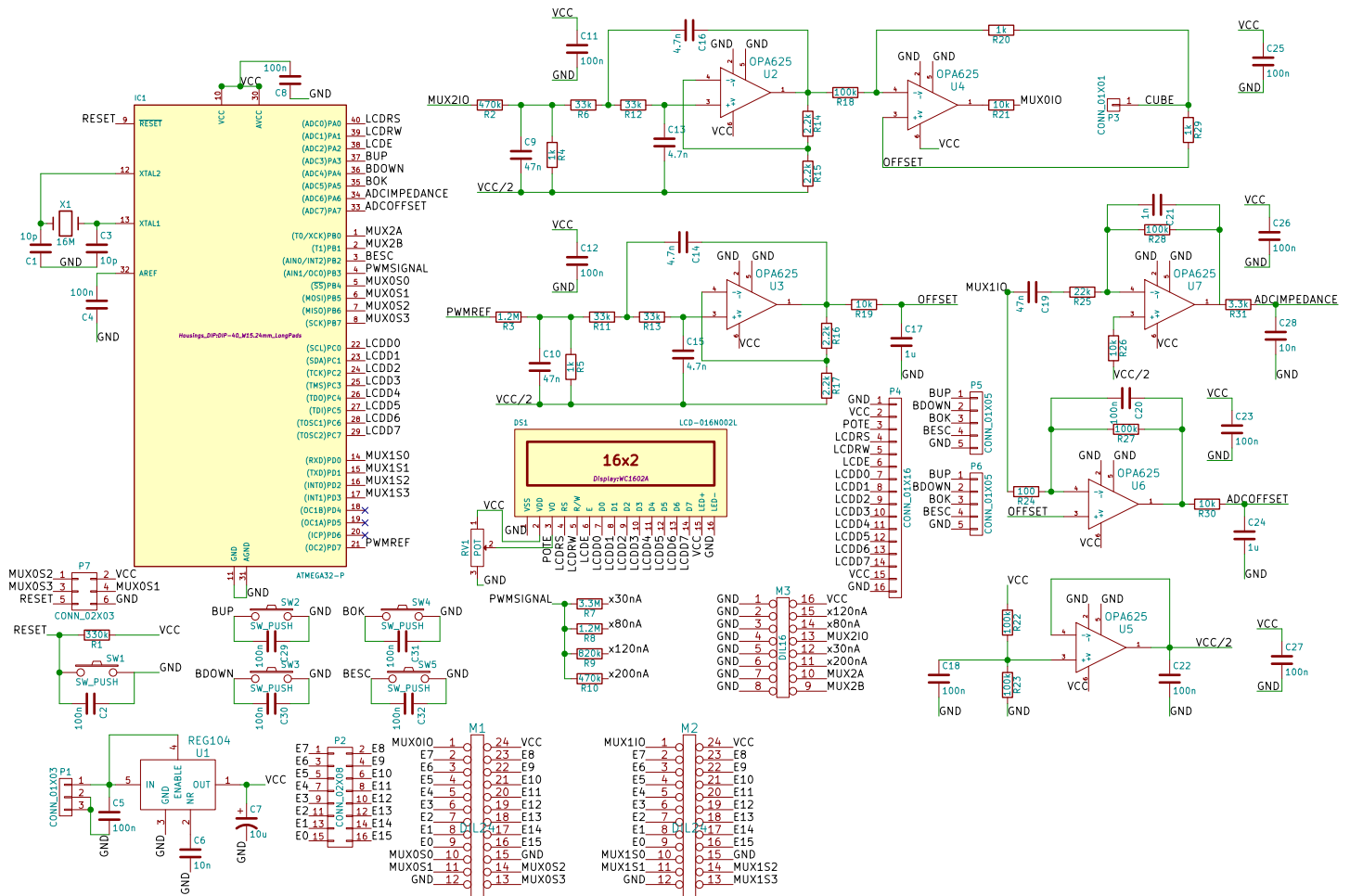
4. Diagrama de Flujo (firmware)

El diagrama de flujo final del proyecto es el siguiente:



5. Circuito Esquemático

A continuación se muestra el circuito esquemático correspondiente al prototipo, así como también el diseño del PCB. Ambos fueron realizados con el programa KiCad.



6. Listado de Componentes y Costos

Los componentes que se emplearon para la construcción del dispositivo se muestran en la tabla siguiente:

Componente	Costo
Atmega32	\$ 130
OPA625 x6 (*)	\$ 166.2
REG104 (*)	\$ 70
CD74HC4067 x2 (*)	\$ 16.8
SN74LV4052 (*)	\$ 5
Resistencias x31	\$ 11.5
Potenciómetro	\$ 6.7
Capacitores x31	\$ 43.1
Display LCD	\$ 120
Pulsadores x5	\$ 18.8
Cristal 16 Mhz	\$ 6.0
Conectores	\$ 8.6
Placa PCB	\$ 95
TOTAL	\$ 697.7

Los componentes marcados con un asterisco(*) son de Texas Instruments y en el marco del IIBM y de la Facultad se obtuvieron como muestras gratis. Por ende, para este trabajo en particular el costo de los componentes utilizados fue de \$439,7.

En cuanto a las horas-hombre involucradas, se puede estimar un número de 200 horas/hombre.

7. Resultados

8. Conclusiones

9. Apéndices

9.1. Cálculos

A continuación se muestran los cálculos involucrados en la obtención de los parámetros p por el que habrá que multiplicar a la medición del valor pico para obtener la impedancia. Vale aclarar que estos son valores iniciales y luego serán corregidos durante la calibración automática del equipo.

Rango [MΩ]	I máx [nA]	Escala: x/128 (por soft)	I [nA]	ΔV [mV] si ΔZ = 0,1MΩ	ΔZ [MΩ] si ΔV = kADC	ΔZ [MΩ] si ΔV = 96,5mV	Vexcursion [V]	α [kΩ]	β = α / 0,1 MΩ	p = [γ β]	Error absoluto [kΩ]	Error relativo [%]	
0	2	200,00	128	200,00	90,91	0,021	0,106	1,82	21,48	0,215	55	100	10,00%
		212,31	100,00%	212,31	96,51	0,020	0,100	1,93	20,24	0,202	52	100	10,00%
		80,00	84	52,50	23,86	0,082	0,404	1,91	81,85	0,818	210	100	2,50%
0	8	83,26	65,63%	54,64	24,84	0,079	0,389	1,99	78,64	0,786	202	100	2,50%
		30,00	92	21,56	9,80	0,199	0,985	1,96	199,28	1,993	511	100	1,00%
		30,29	71,88%	21,77	9,90	0,197	0,975	1,98	197,34	1,973	506	200	2,00%
0	60	30,00	30	7,03	3,20	0,611	3,020	1,92	611,11	6,111	1565	100	0,33%
		30,29	23,44%	7,10	3,23	0,605	2,990	1,94	605,18	6,052	1550	400	1,33%

G OpAmp ADC	Vexcursión deseado [V]	kADC [mV]	γ = Z ⁰ k
4,55	2,00	19,53	256

Corriente deseada [nA]	R multiplexada [kΩ]	Corriente final [nA]
30	3300	30,29
80	1200	83,26
120	820	121,80
200	470	212,31

9.2. Códigos fuente

En las siguientes páginas se incluyen a modo de apéndice todos los archivos que conforman el firmware de equipo.