



---

INFORME FINAL DEL PROYECTO

---

<b>Proyecto:</b>	<b>Corrector de impedancia de electrodos</b>	
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

<b>1. Objetivo del Proyecto</b>	<b>2</b>
<b>2. Descripción del Proyecto</b>	<b>2</b>
<b>3. Diagrama en Bloques (hardware)</b>	<b>4</b>
<b>4. Diagrama de Flujo (firmware)</b>	<b>5</b>
<b>5. Circuito Esquemático</b>	<b>6</b>
<b>6. Listado de Componentes y Costos</b>	<b>8</b>
<b>7. Resultados</b>	<b>8</b>
<b>8. Conclusiones</b>	<b>9</b>
<b>9. Apéndices</b>	<b>10</b>
9.1. Cálculos . . . . .	10
9.2. Hojas de datos . . . . .	10
9.3. Códigos fuente . . . . .	10

## 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 consiste en un circuito con un microcontrolador que genera señales senoidales y continuas para medir y corregir las impedancias, respectivamente. 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 debería detectar esto antes de comenzar). Hay tres opciones: medir, calibrar y corregir. La primera permite ver el/los valor/es de la/s impedancia/s colocada/s en los conectores. La segunda, calibrar el equipo, tal como su nombre lo indica. La opción de corregir permite que el usuario seleccione la impedancia final deseada, el tiempo máximo de espera para la corrección y dé la orden de inicio. Luego de algunos chequeos básicos se da comienzo al proceso. Al terminar con todos los electrodos, se muestra la impedancia final de cada uno.

En líneas generales, el sistema consta de módulos de amplificación y filtros de PWM que permiten generar una señal senoidal con el microcontrolador, además de controlar la señal de offset. Asimismo, hay una fuente de corriente controlada por tensión que permite inyectar corriente continua al sistema para poder disminuir las impedancias necesarias por galvanoplastia.

La señal de salida del PWM es una corriente senoidal de 1 kHz, con uno de los siguientes valores de amplitud: {30 nA, 80 nA, 120 nA, 200 nA}. Éstos se seleccionan con un multiplexor dependiendo del rango de impedancias: {0 – 2 MΩ, 0 – 8 MΩ, 0 – 20 MΩ, 0 – 60 MΩ}. Considerando la ley de Ohm y midiendo el valor pico de tensión, se calcula la impedancia del electrodo en estudio como  $Z@1\text{ kHz} = \frac{\hat{v}}{\hat{i}}$ . Este valor se puede disminuir 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. Se emplea un multiplexor analógico para ir seleccionando cada electrodo y otro en paralelo con éste, que será eventualmente utilizado para verificar que no haya cortocircuitos entre electrodos.

Cada 1 min se mide la impedancia y se corrige de ser necesario. Este proceso se repite tantas veces como se requiera hasta llegar al valor de impedancia deseada determinado previamente en la configuración. Los valores aceptables para empezar el proceso están entre 1 MΩ y 8 MΩ.

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. Éste puede valer 10, 20, 30, 40, 50 ó 60 minutos.

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 botones (ok, cancelar, mover izquierda, mover derecha).

Además, como periféricos principales están los circuitos mencionados antes, 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.

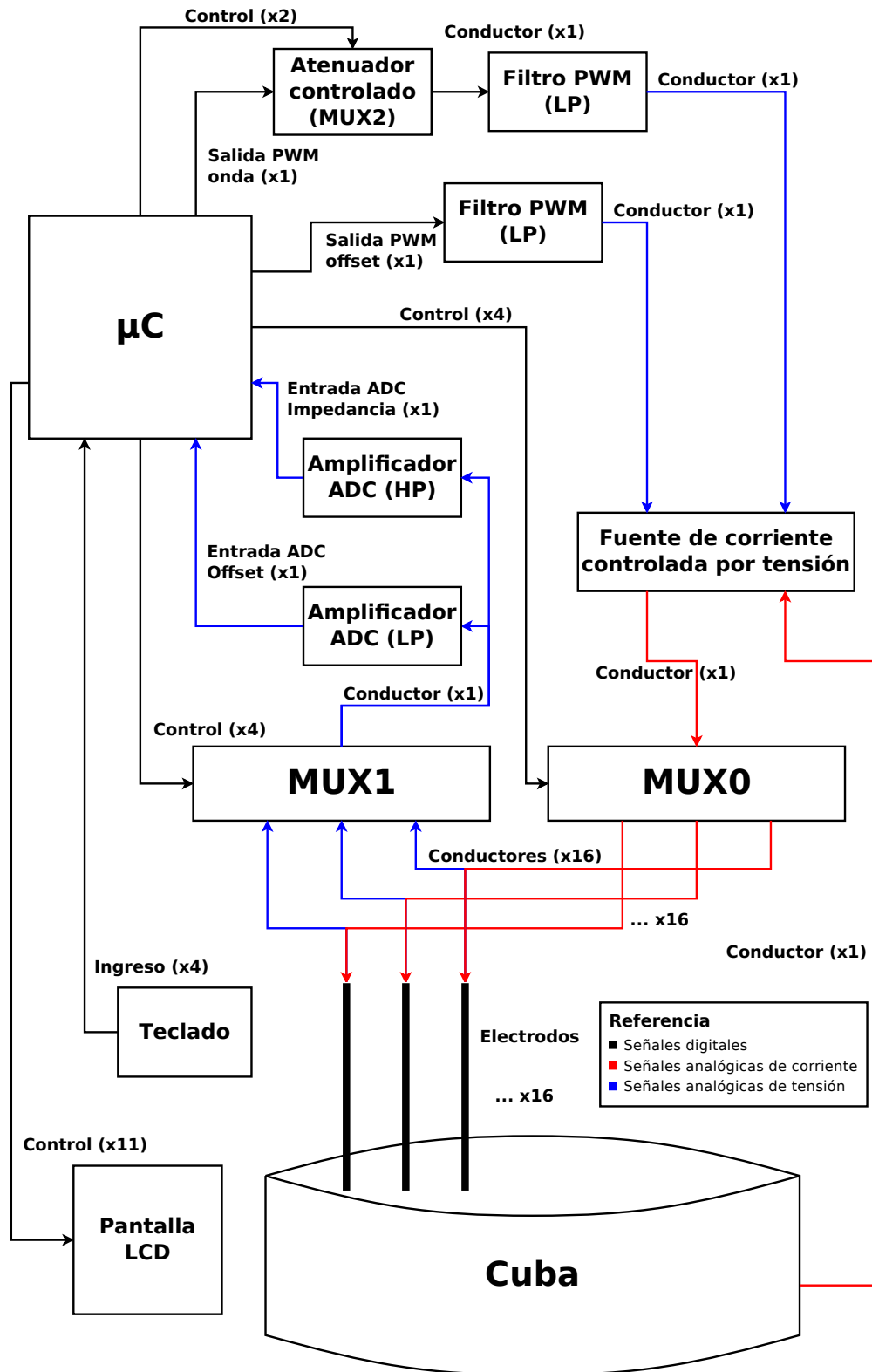
Las especificaciones del sistema son:

Tensión de alimentación	5 V
Rango de impedancias de los electrodos medidos	0 M $\Omega$ - 60 M $\Omega$ (@ 1 kHz)
Impedancia buscada	$\simeq$ 1 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 < 20 %
Modo corrección	señal continua 30/80/120/200 nA, error < 20 %

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

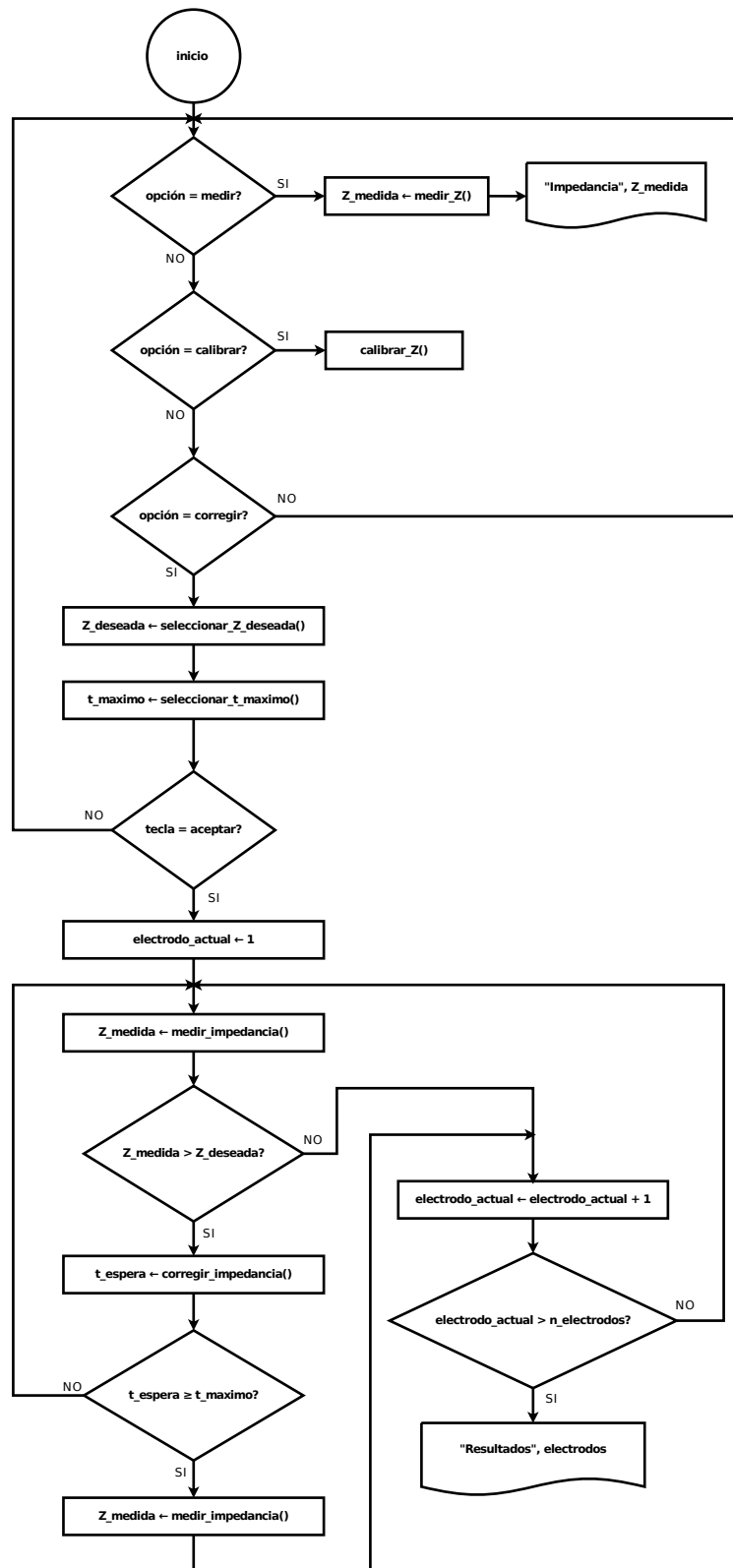
### 3. Diagrama en Bloques (hardware)

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



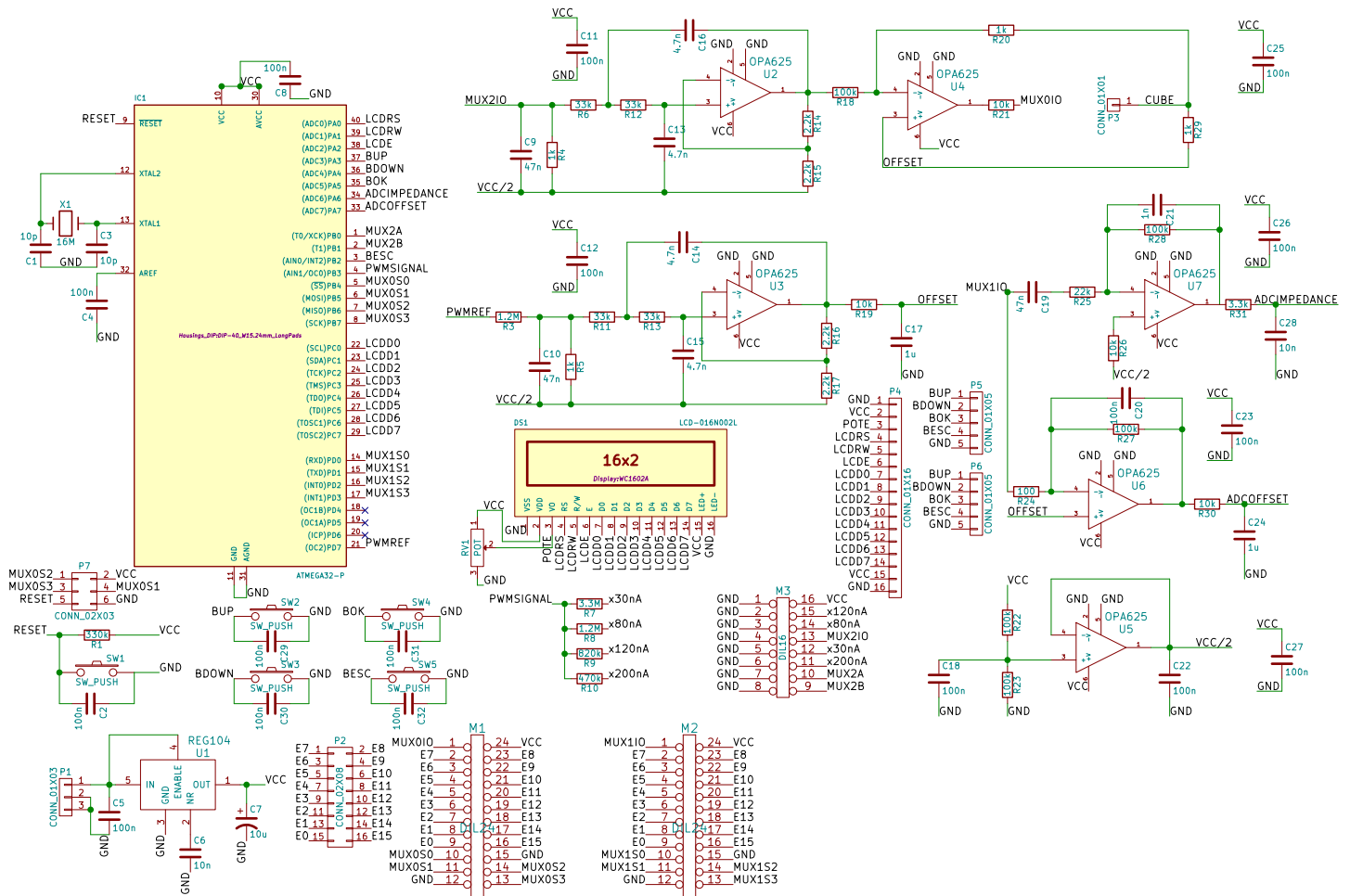
## 4. Diagrama de Flujo (firmware)

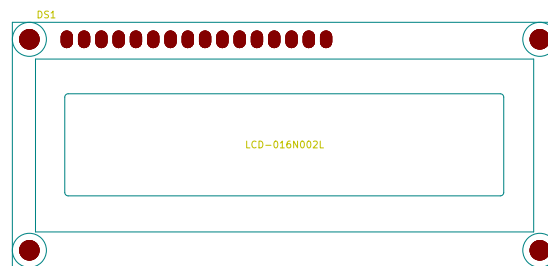
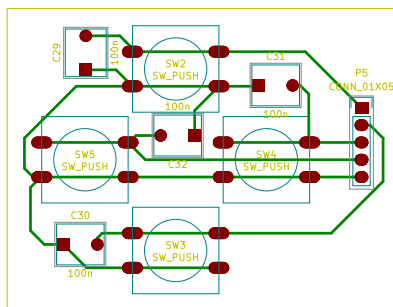
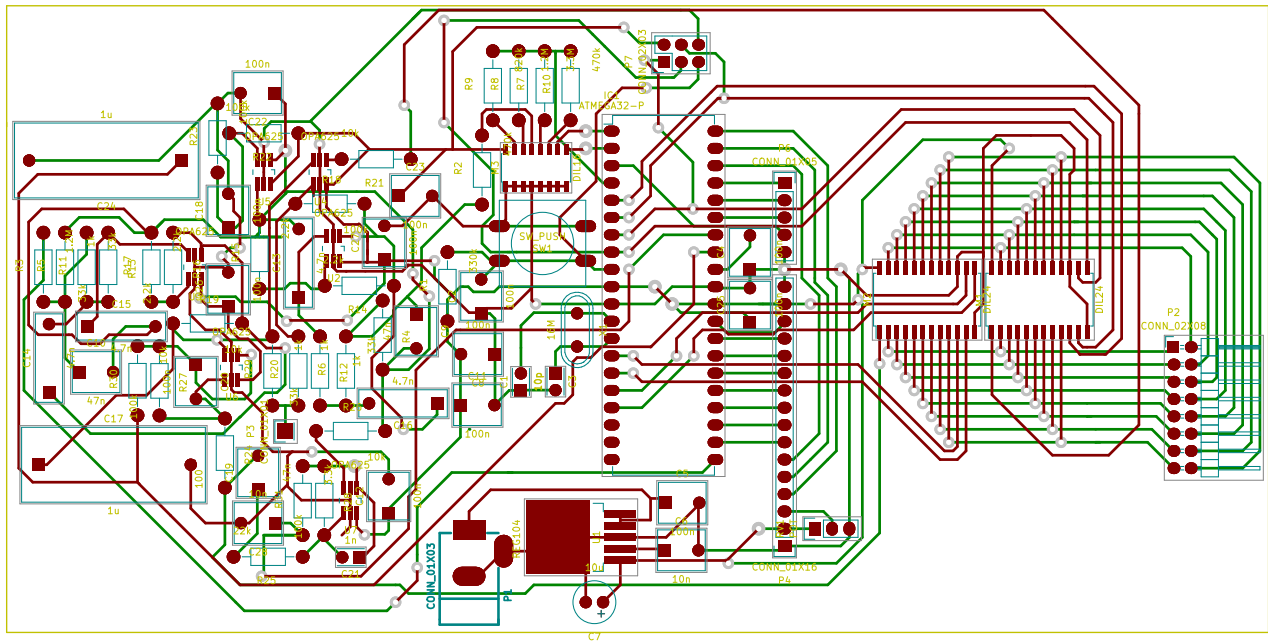
El diagrama de flujo final del proyecto es el siguiente:



## 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	\$ 164.5
OPA625 x6 (*)	\$ 166.2
REG104 (*)	\$ 70.0
CD74HC4067 x2 (*)	\$ 16.8
SN74LV4052 (*)	\$ 5.0
Resistencias x30	\$ 9.6
Potenciómetro	\$ 6.7
Capacitores x31	\$ 43.1
Display LCD	\$ 120.0
Pulsadores x5	\$ 18.8
Cristal 16 Mhz	\$ 6.0
Conectores	\$ 8.6
Placa Epoxy	\$ 120.0
Zócalo	\$ 3.0
Jack power	\$ 3.2
TOTAL	\$ 761.5

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 \$503,5.

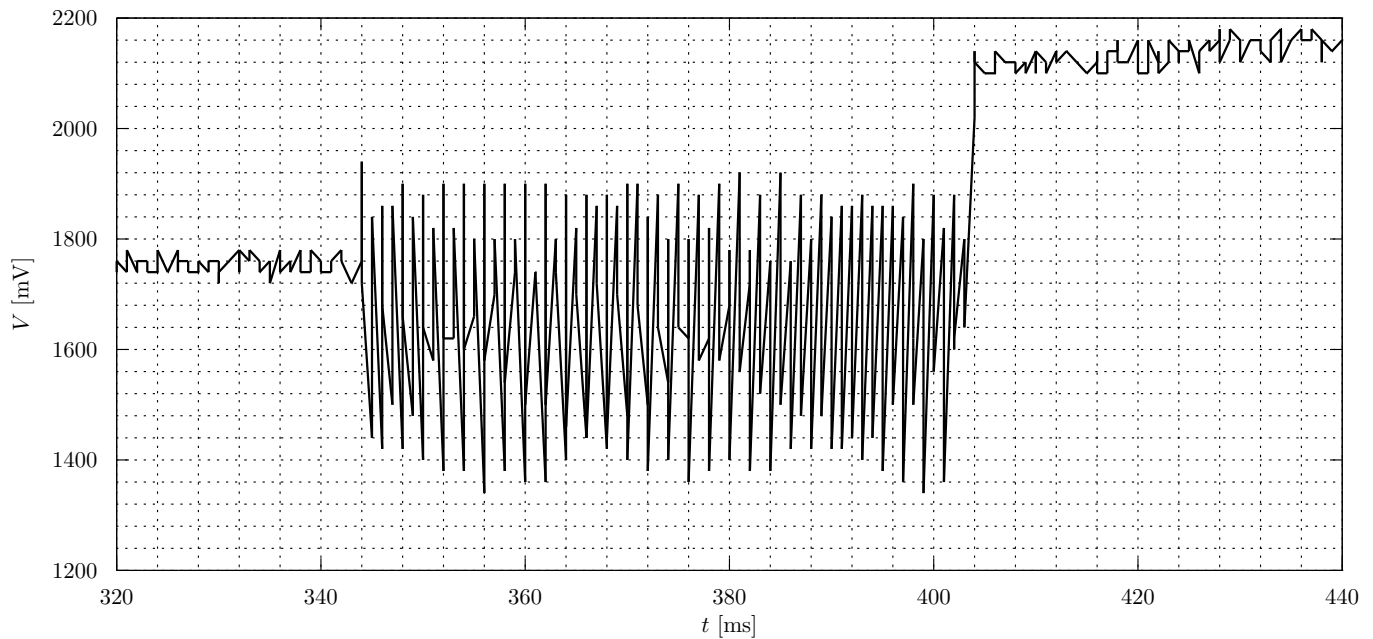
En cuanto a las horas-hombre involucradas, se puede estimar un número de 300 horas/hombre.

## 7. Resultados

Debido a las complicaciones en el diseño del hardware y los reiterados cambios que fueron hechos con el desarrollo del proyecto, se modificó el circuito de manera de poder medir impedancias del orden de los  $k\Omega$ , en vez de  $M\Omega$ , ya que las señales eran muy pequeñas y no se diferenciaban de las señales de ruido. Los nuevos rangos de medición son:  $\{0 - 143 k\Omega, 143 k\Omega - 243 k\Omega, 243 k\Omega - 335 M\Omega, 335 k\Omega - 900 M\Omega\}$ .

Con estas modificaciones se pudo obtener un funcionamiento acorde a lo esperado, visualizando valores de impedancia en el display con un error aproximado del 15 %. Este error se debe a la alinealidad que genera el circuito. Como hipótesis, es posible considerar que se debe a que la fuente de corriente ya no se comporta linealmente con estos nuevos valores de corriente (se aumentaron 100 veces).

Fue posible observar el correcto funcionamiento de las rutinas de impresión por display, conversión ADC, obtención de la mediana a través de ordenamiento de tablas por burbujeo, utilización de pulsadores externos, timers, interrupciones, PWM. Se pudo observar, con el uso de un osciloscopio, el funcionamiento de la rutina de corrección de electrodos, observando un valor de continua. En la imagen a continuación se puede ver cómo en una primera etapa no hay corriente circulando, luego se observa la senoidal que sirve para medir y finalmente un valor de continua que permite corregir el valor de la impedancia.



## 8. Conclusiones

Como mejoras, se puede mencionar que es altamente recomendable contar con una opción más en el menú para determinar si dos electrodos están o no en cortocircuito. Para ello, se emplea el segundo multiplexor (que aparece en el diseño pero no forma parte de este proyecto). Se podría realizar inyectando señal en cada electrodo y chequeando sobre cada uno de los restantes que no se reciba un nivel elevado de ésta. Además, agre

Por otro lado, sería útil para el usuario que hubiera alguna identificación para ver cuándo mide correctamente cada electrodo, si hay dos en cortocircuito y demás cuestiones que momentáneamente sólo aparecen al final del proceso (leds, por pantalla, etc), así el usuario no tiene que esperar hasta el final para ver si funcionó correctamente o no.

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

G OpAmp ADC	Vexcursión deseado [V]	kADC [mV]	γ = 2^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. Hojas de datos

Los componentes empleados son:

Componente	Hoja de datos
Atmega32	<a href="http://www.atmel.com/images/doc2503.pdf">http://www.atmel.com/images/doc2503.pdf</a>
OPA625	<a href="http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa625.pdf">http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa625.pdf</a>
REG104	<a href="http://www.ti.com/lit/ds/symlink/reg104.pdf">http://www.ti.com/lit/ds/symlink/reg104.pdf</a>
CD74HC4067	<a href="http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4067.pdf">http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4067.pdf</a>
SN74LV4052	<a href="http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74lv4052a.pdf">http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74lv4052a.pdf</a>
Display LCD	<a href="http://elmicro.com/files/lcd/gdm1602a_datasheet.pdf">http://elmicro.com/files/lcd/gdm1602a_datasheet.pdf</a>

### 9.3. Códigos fuente

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