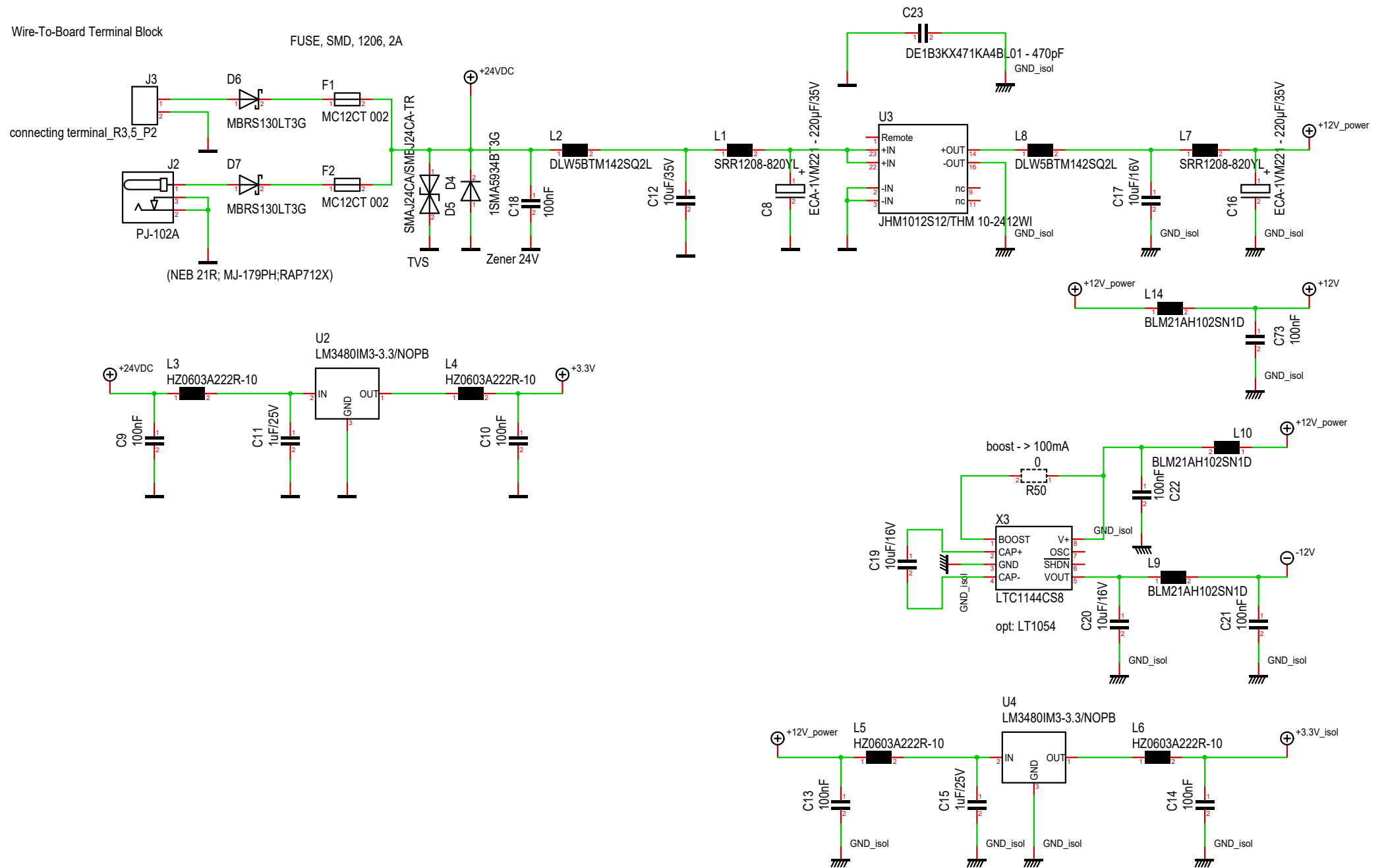
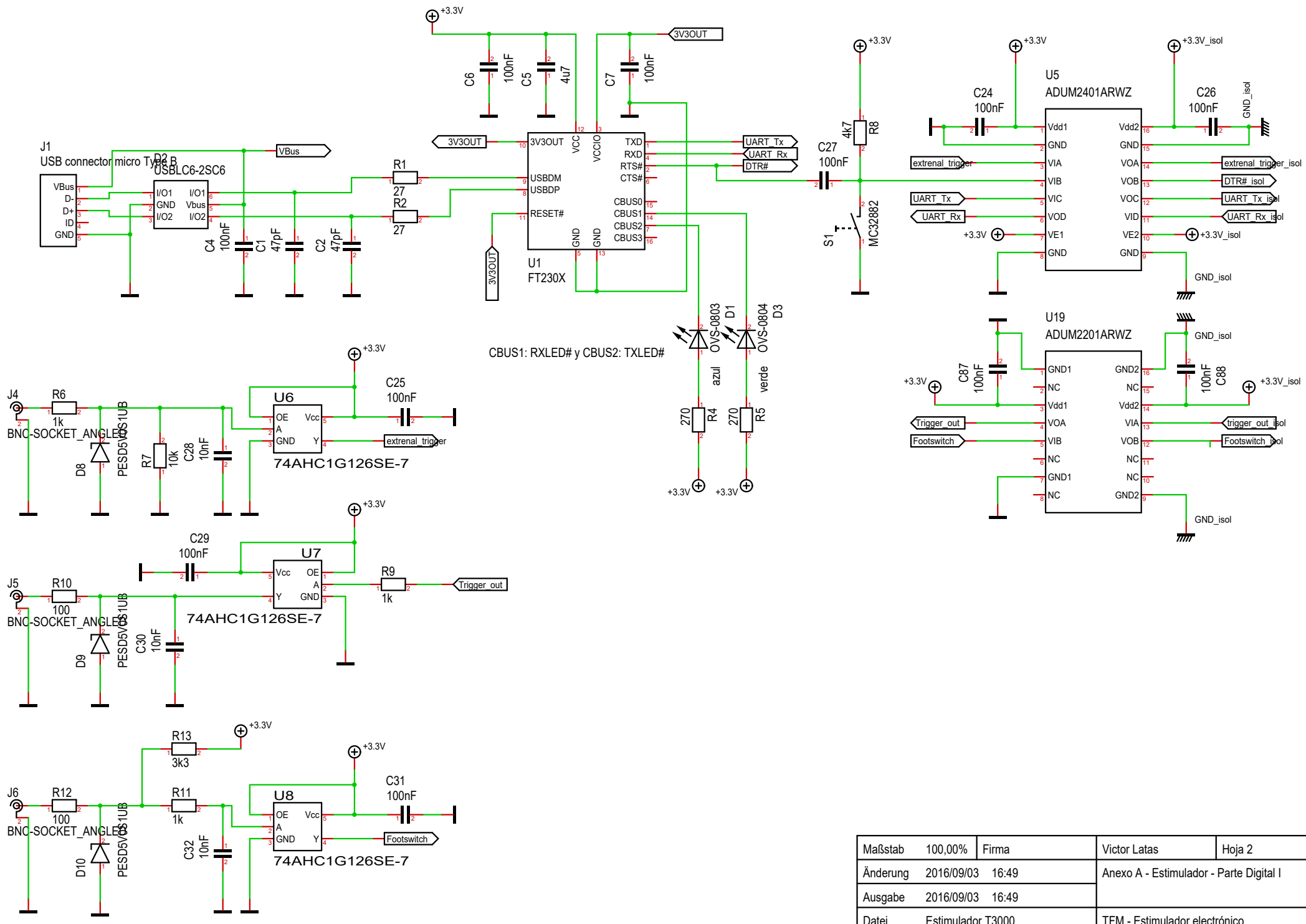


Wire-To-Board Terminal Block



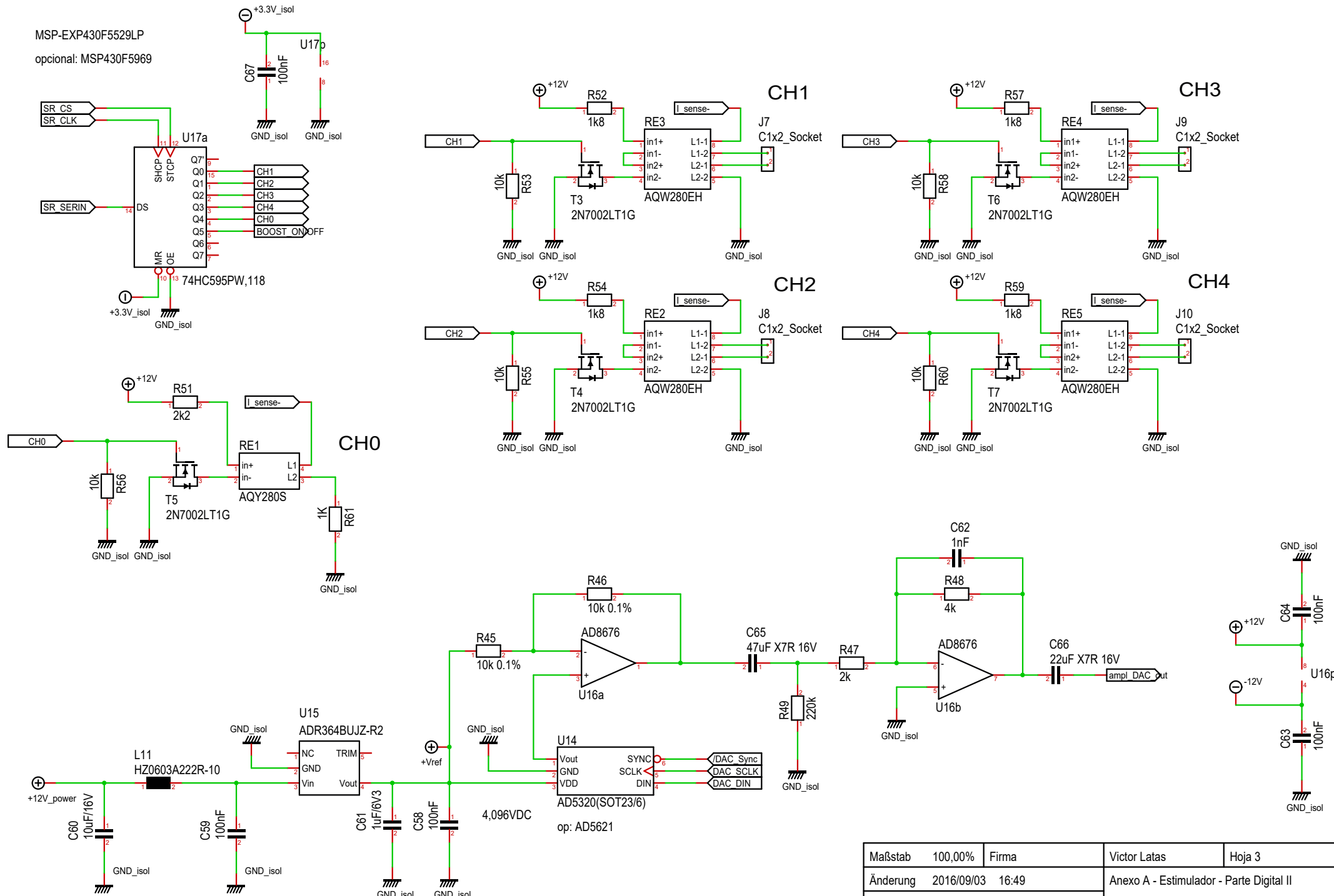
Escala	100,00%	Firma	Victor Latas	Hoja 1
Modificación	2016/09/03	16:49	Anexo A - Estimador - Fuentes de alimentación	
Edición	2016/09/03	16:49		
Archivo	Estimador.T3000		TFM - Estimador electrónico	



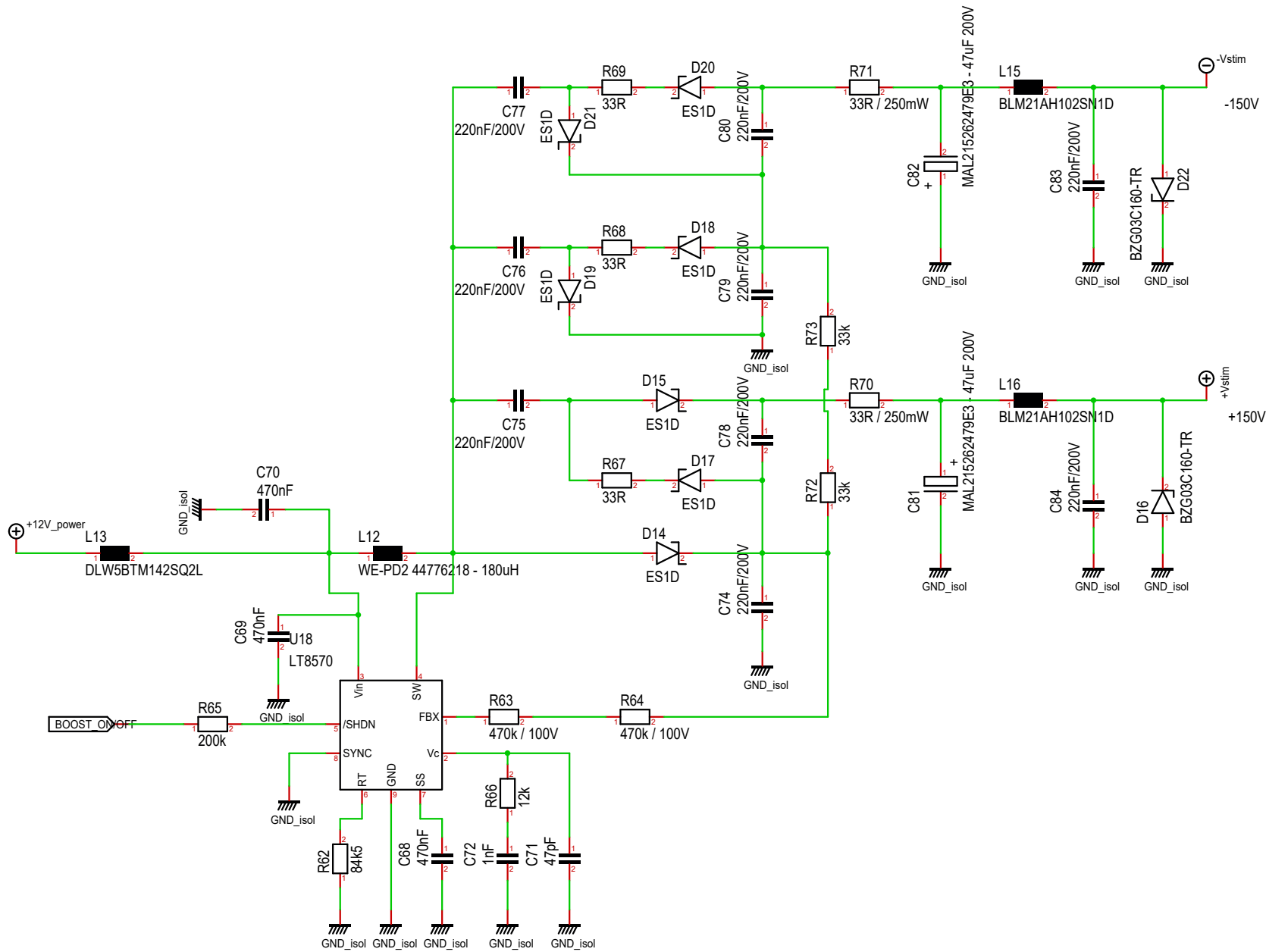
Maßstab	100,00%	Firma	Victor Latas	Hoja 2
Änderung	2016/09/03	16:49	Anexo A - Estimador - Parte Digital I	
Ausgabe	2016/09/03	16:49		
Fecha	Estimador.T3000		TFM - Estimador electrónico	

MSP-EXP430F5529LP

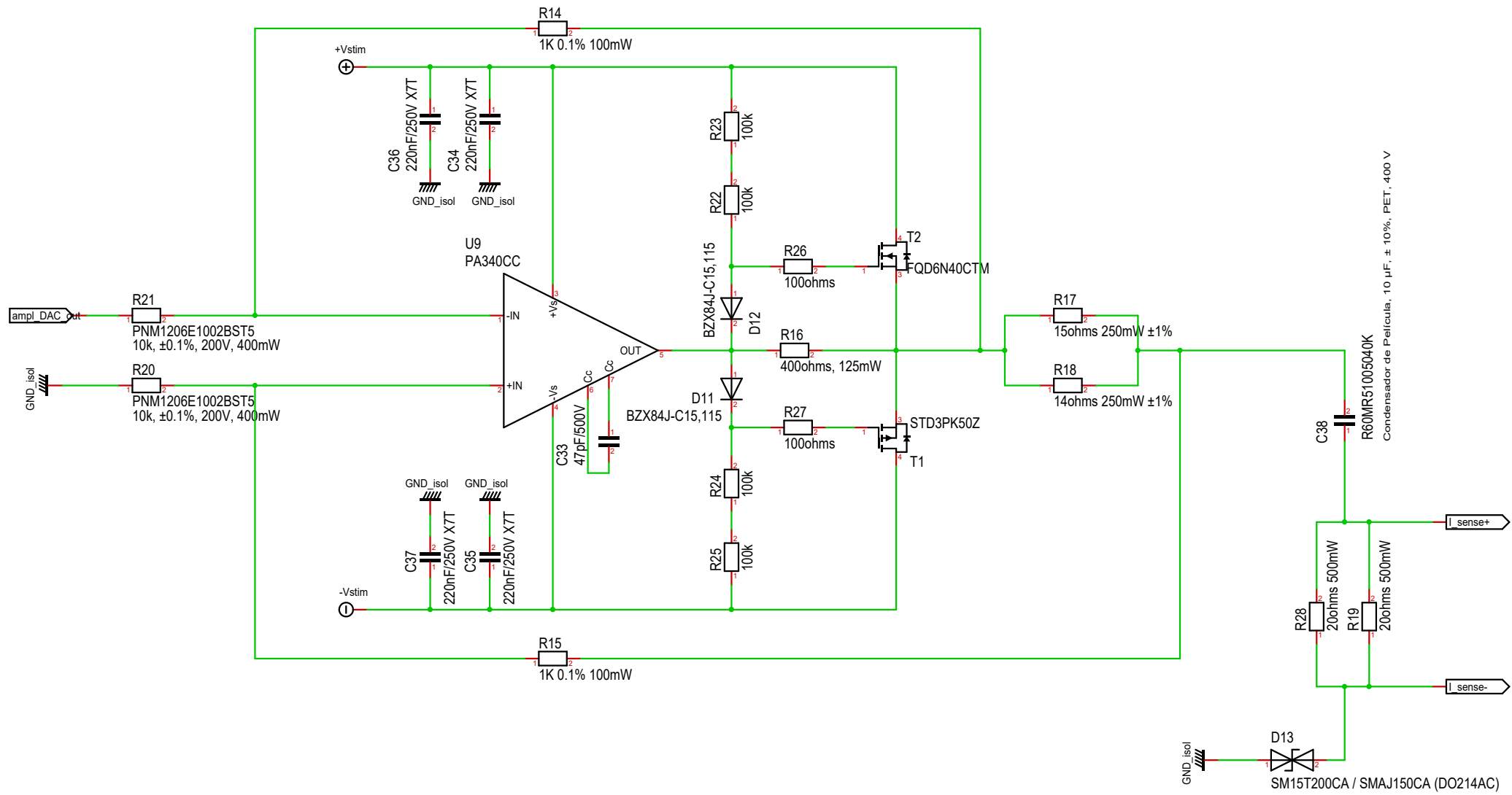
opcional: MSP430F5969



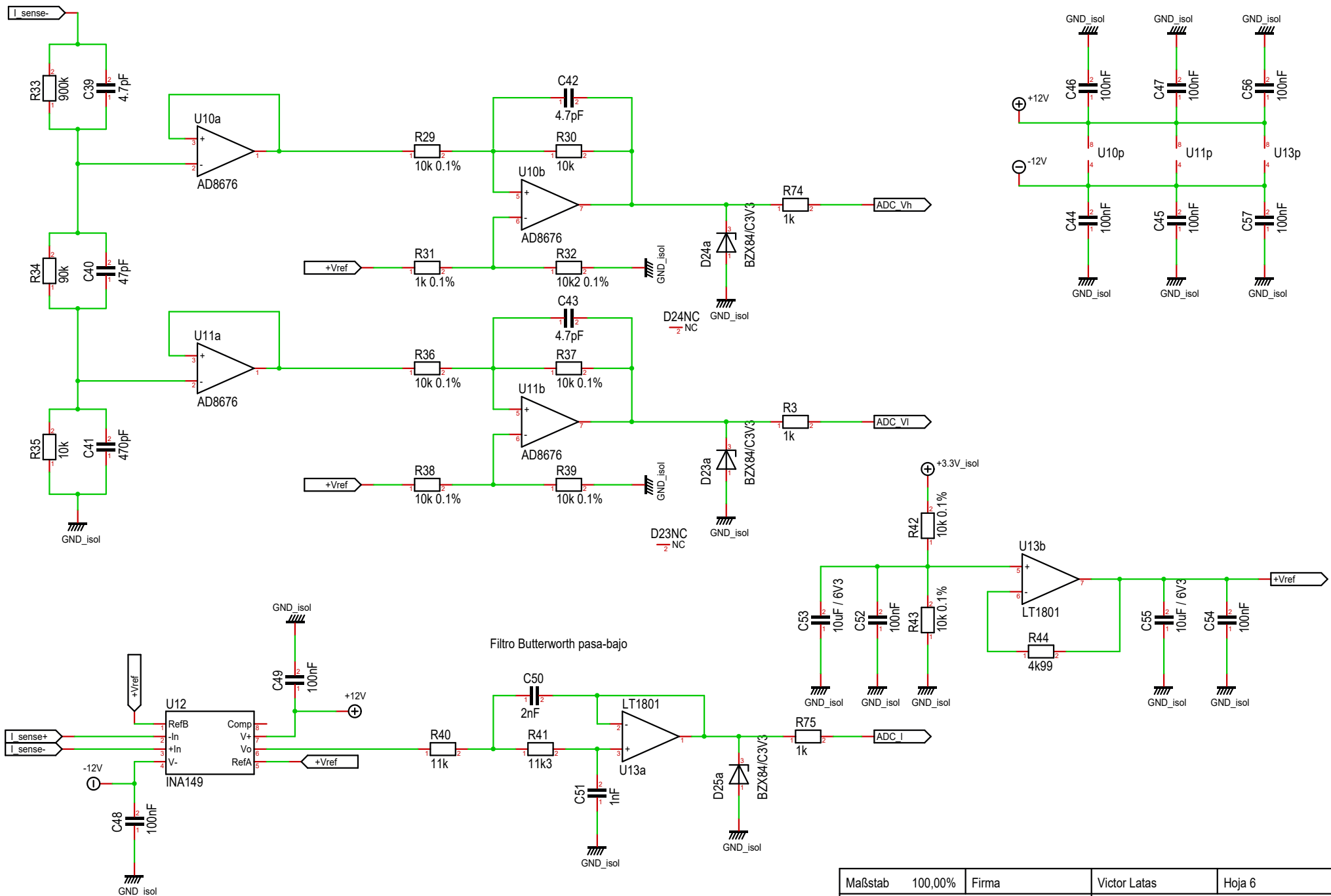
Maßstab	100,00%	Firma	Victor Latas	Hoja 3
Änderung	2016/09/03 16:49	Anexo A - Estimulador - Parte Digital II		
Ausgabe	2016/09/03 16:49			
Fecha	Estimulador.T3000	TFM - Estimulador electrónico		



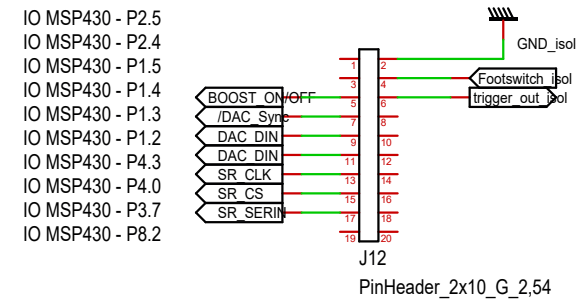
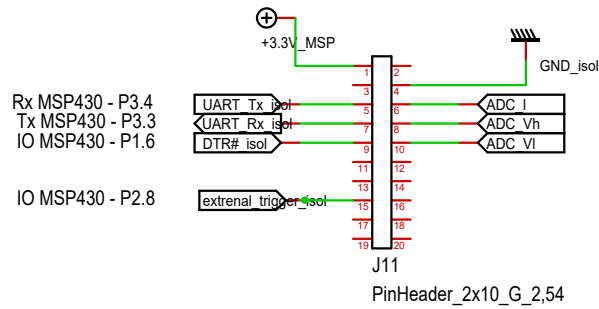
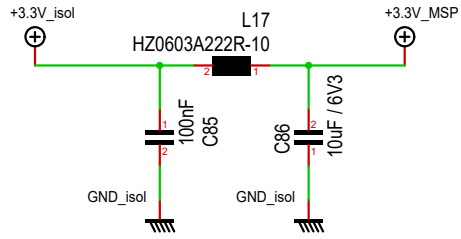
Maßstab	100,00%	Firma	Victor Latas	Hoja 4
Änderung	2016/09/03 16:49	Anexo A - Convertidor Buck-Boost		
Ausgabe	2016/09/03 16:49			
Fecha	Estimulador.T3000	TFM - Estimulador electrónico		



Maßstab	100,00%	Firma	Victor Latas	Hoja 5
Änderung	2016/09/03	16:49	Anexo A - Estimulador - Fuente de corriente	
Ausgabe	2016/09/03	16:49		
Fecha	Estimulador.T3000		TFM - Estimulador electrónico	



Maßstab	100,00%	Firma	Victor Latas	Hoja 6
Änderung	2016/09/03	16:49	Anexo A - Medida de la impedancia	
Ausgabe	2016/09/03	16:49		
Datei	Estimulador.T3000		TFM - Estimulador electrónico	



Maßstab	100,00%	Firma	Victor Latas	Hoja 7
Änderung	2016/09/03	16:49	Anexo A - Microcontrolador	
Ausgabe	2016/09/03	16:49		
Fecha	Estimulador.T3000		TFM - Estimulador electrónico	

Anexo B. Listado de materiales del circuito electrónico del estimulador

Pos	Quantity	Name	Value	Package	SMD
1	4	C1,C2,C40,C71 C4,C6,C7,C9,C10,C13,C14,C18,C21,C22,C24,C25,C26,C27,C29,C31,C44,C45,C46,C47,C48,C49,C52,C54,C56,C57,C58,C59,C63,C64,C67,C7	47pF	0603	YES
2	35	3,C85,C87,C88	100nF	0603	YES
3	1	C5	4u7	0603	YES
4	2	C8,C16	ECA-1VM221 - 220µF/35V	D8R3,81_ELKO	NO
5	2	C11,C15	1uF/25V	0805	YES
6	1	C12	10uF/35V	1206	YES
7	4	C17,C19,C20,C60	10uF/16V	0805	YES
8	1	C23	470pF	8X9R10,16	NO
9	3	C28,C30,C32	10nF	0603	YES
10	1	C33	47pF/500V	0805	YES
11	4	C34,C35,C36,C37	220nF/250V X7T	1206	YES
12	1	C38	R60MR51005040K	18X32R27,94	NO
13	3	C39,C42,C43	4.7pF	0603	YES
14	1	C41	470pF	0603	YES
15	1	C50	2nF	0603	YES
16	3	C51,C62,C72	1nF	0603	YES
17	3	C53,C55,C86	10uF / 6V3	0603	YES
18	1	C61	1uF/6V3	0603	YES
19	1	C65	47uF X7R 16V	2220	YES
20	1	C66	22uF X7R 16V	1210	YES
21	3	C68,C69,C70	470nF	0603	YES
22	9	C74,C75,C76,C77,C78,C79,C80,C83,C84	220nF/200V	0805	YES
23	2	C81,C82	200V	D12R5,08_ELKO	NO
24	1	D1	OVS-0803	0805	YES
25	1	D2	USBLC6-2SC6	SOT23/6	YES
26	1	D3	OVS-0804	0805	YES
27	1	D4	SMAJ24CA/SMBJ24CA-TR	DO-214AA(SMB)	YES
28	1	D5	1SMA5934BT3G	DO-214AC(SMA)	YES
29	2	D6,D7	MBRS130LT3G	SMB	YES
30	3	D8,D9,D10	PESD5V0S1UB	SOD523	YES
31	2	D11,D12	BZX84J-C15,115	SOD323	YES
32	1	D13	SM15T200CA / SMAJ150CA (DO214AC)	DO214AB	YES

		D14,D15,D17,D18,			
33	7	D19,D20,D21	ES1D	SMA	YES
34	2	D16,D22	BZG03C160-TR	DO214AA	YES
35	3	D23,D24,D25	BZX84/C3V3	SOT23/3	YES
36	2	F1,F2	MC12CT 002	USF1206	YES
37	1	J2	PJ-102A	PJ-102A	NO
			connecting	ANSCHLUSSKLEM	
38	1	J3	terminal_R3,5_P2	ME-2_MINI	NO
				BNC-socket-	
39	3	J4,J5,J6	BNC-SOCKET_ANGLED	angled	NO
40	4	J7,J8,J9,J10	C1x2_Socket	1X02_socket	NO
				Stiftleiste_2x10_	
41	2	J11,J12	PinHeader_2x10_G_2,54	G_2,54	NO
42	2	L1,L7	SRR1208-820YL	5050	YES
43	3	L2,L8,L13	DLW5BTM142SQ2L	5050	YES
44	6	L3,L4,L5,L6,L11,L17	HZ0603A222R-10	0603	YES
45	5	L9,L10,L14,L15,L16	BLM21AH102SN1D	0805	YES
			WE-PD2 44776218 -		
46	1	L12	180uH	WE-PD2_L	YES
47	2	R1,R2	27	0603	YES
		R3,R6,R9,R11,R74,R			
48	6	75	1k	0603	YES
49	2	R4,R5	270	0603	YES
		R7,R30,R35,R53,R5			
50	8	5,R56,R58,R60	10k	0603	YES
51	1	R8	4k7	0603	YES
52	2	R10,R12	100	0603	YES
53	1	R13	3k3	0603	YES
54	2	R14,R15	1K 0.1% 100mW	0805	YES
55	1	R16	400ohms, 125mW	0805	YES
56	1	R17	15ohms 250mW ±1%	0805	YES
57	1	R18	14ohms 250mW ±1%	0805	YES
58	2	R19,R28	20ohms 500mW	0805	YES
59	2	R20,R21	PNM1206E1002BST5	1206	YES
60	4	R22,R23,R24,R25	100k	0805	YES
61	2	R26,R27	100ohms	0603	YES
		R29,R36,R37,R38,R			
		39,R42,R43,R45,R4			
62	9	6	10k 0.1%	0603	YES
63	1	R31	1k 0.1%	0603	YES
64	1	R32	10k2 0.1%	0603	YES
65	1	R33	900k	0603	YES
66	1	R34	90k	0603	YES
67	1	R40	11k	0603	YES
68	1	R41	11k3	0603	YES
69	1	R44	4k99	0603	YES
70	1	R47	2k	0603	YES
71	1	R48	4k	0603	YES
72	1	R49	220k	0603	YES
73	1	R50	0	0603	YES

74	1	R51	2k2	0603	YES
75	4	R52,R54,R57,R59	1k8	0603	YES
76	1	R61	1K	1206	YES
77	1	R62	84k5	0603	YES
78	2	R63,R64	470k / 100V	0805	YES
79	1	R65	200k	0603	YES
80	1	R66	12k	0603	YES
81	3	R67,R68,R69	33R	0805	YES
82	2	R70,R71	33R / 250mW	0805	YES
83	2	R72,R73	33k	0805	YES
84	1	RE1	AQY280S	SOP4	YES
85	4	RE2,RE3,RE4,RE5	AQW280EH	DIL8	NO
86	1	S1	MC32882	Pushbutton_SMD	YES
87	1	T1	STD3PK50Z	TO252AA	YES
88	1	T2	FQD6N40CTM	TO252AA	YES
89	5	T3,T4,T5,T6,T7	2N7002LT1G	SOT-23/3	YES
90	1	U1	FT230X	SSOP16	YES
91	2	U2,U4	LM3480IM3-3.3/NOPB JHM1012S12/THM 10-	SOT23/3	YES
92	1	U3	2412WI	TRACO_TEN8	NO
93	1	U5	ADUM2401ARWZ	SOIC16W	YES
94	3	U6,U7,U8	74AHC1G126SE-7	SOT353	YES
95	1	U9	PA340CC	7LEAD-DD	YES
96	3	U10,U11,U16	AD8676	SO8_SOT96-1	YES
97	1	U12	INA149	SO8_SOT96-1	YES
98	1	U13	LT1801	SO8_SOT96-1	YES
99	1	U14	AD5320(SOT23/6)	SOT23/6	YES
100	1	U15	ADR364BUJZ-R2	TSOT23/5	YES
101	1	U17	74HC595PW,118	TSSOP16 MSOP8-	YES
102	1	U18	LT8570	ED/WB3X3/P0,65	YES
103	1	U19	ADUM2201ARWZ	SOIC16W	YES
104	1	X3	LTC1144CS8	SO8/WB3,9/P1,2	YES

ANEXO C. Cálculos para la elección de los componentes del convertidor tipo Boost

Ecuaciones obtenidas de la tabla 4 en la página 22 del Datasheet del componente “LT8570” del fabricante “Linear Technology” para la selección de componentes del convertidor en configuración tipo Boost.

Pasos:

1. Escoger los valores de V_{IN} , V_{OUT} y f_{OSC} .
 - a. $V_{IN} = 12V$
 - i. $V_{IN_MIN} = 11V$
 - ii. $V_{IN_MAX} = 13V$
 - b. $V_{OUT} = 77.098V$ (en la salida del multiplicador de voltaje será 154.196V)
 - c. $f_{OSC} = 1MHz$
2. Valores DC

$$DC_{MAX} = \frac{77.098V - 11V}{77.098V + 0.5V - 0.4V} = 0.85621$$

$$DC_{MIN} = \frac{77.098V - 13V - 0.5}{77.098V + 0.5V - 0.4V} = 0.84763$$

3. L_{MIN}

$$L_{TYP} = \frac{(11V - 0.4V) \times DC_{MAX}}{1MHz \times 0.15} = \frac{(11V - 0.4V) \times 0.85621}{1MHz \times 0.15} = 60.5\mu H$$

$$L_{MIN} = \frac{(11V - 0.4V) \times (2 \times 0.85621 - 1)}{0.6 \times (0.85621 - 300 \times 10^{-9} \times 1MHz) \times 1MHz \times (1 - 0.85621)} = 157.3\mu H$$

$$L_{MAX1} = \frac{(11V - 0.4V) \times 0.85621}{1MHz \times 0.04} = 226.89\mu H$$

$$L_{MAX2} = \frac{(13V - 0.4V) \times 0.84763}{1MHz \times 0.04} = 267\mu H$$

El valor mínimo de L, es el máximo de entre los valores L_{TYP} y L_{MIN} . Es decir, 157.3 μH .

El valor máximo de L, es el mínimo de entre los valores L_{MAX1} y L_{MAX2} . Es decir, 226.89 μH .

Por tanto, un valor óptimo para L es **180 μH** .

4. I_{ripple_max}

$$I_{ripple\ min} = \frac{(11V - 0.4V) \times DC_{MAX}}{1MHz \times L_1} = \frac{(11V - 0.4V) \times 0.85621}{1MHz \times 180\mu H} = 0.050421A$$

ANEXO C – Cálculos para la elección de los componentes del convertidor tipo Boost

$$I_{ripple\ max} = \frac{(13V - 0.4V) \times DC_{MIN}}{1MHz \times L_1} = \frac{(13V - 0.4V) \times 0.84763}{1MHz \times 180\mu H} = 0.0593341A$$

5. I_{out}

$$I_{OUT_MIN} = \left(0.5 - \frac{0.050421}{2}\right) \times (1 - 0.85621) = 68mA$$

$$I_{OUT_MAX} = \left(0.5 - \frac{0.0593341}{2}\right) \times (1 - 0.84763) = 71mA$$

Esta corriente es para la salida del circuito “Boost”, como usamos un multiplicador de voltaje en cascada, la corriente de salida del multiplicador será aproximadamente la mitad (una eficiencia alrededor del 95%) de la aquí calculada.

6. D1

Diodos “ES1D” de $V_R = 200V$ y $I_{AVG} = 1A$.

7. C_{OUT}

$$C_{OUT} \geq \frac{71mA \times 0.85621V}{1MHz \times 0.005 \times 77.098V} \geq 157nF, \text{ para el multiplicador de voltaje con } I_{OUT} = 35mA$$

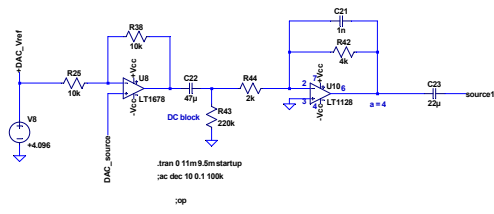
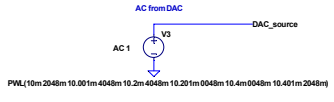
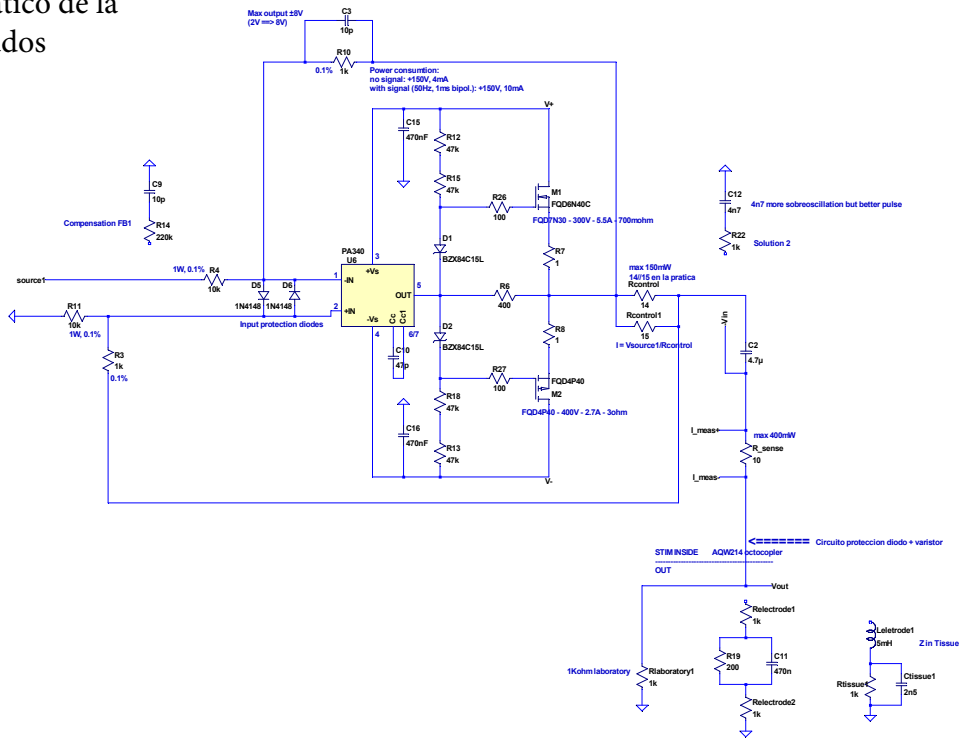
$$\text{tendriamos, } C_{OUT} \geq \frac{35mA \times 0.85621V}{1MHz \times 0.005 \times 154.196V} \geq 38nF$$

8. C_{IN}

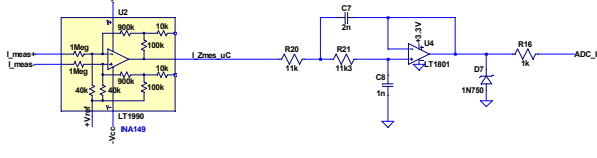
$$C_{IN} \geq \frac{0.5 \times 0.85621V}{40 \times 1MHz \times 0.005 \times 11V} + \frac{0.0593341V}{8 \times 1MHz \times 0.005 \times 13V} \geq 308nF$$

9. Y 10. Están calculados dentro del proyecto.

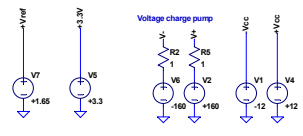
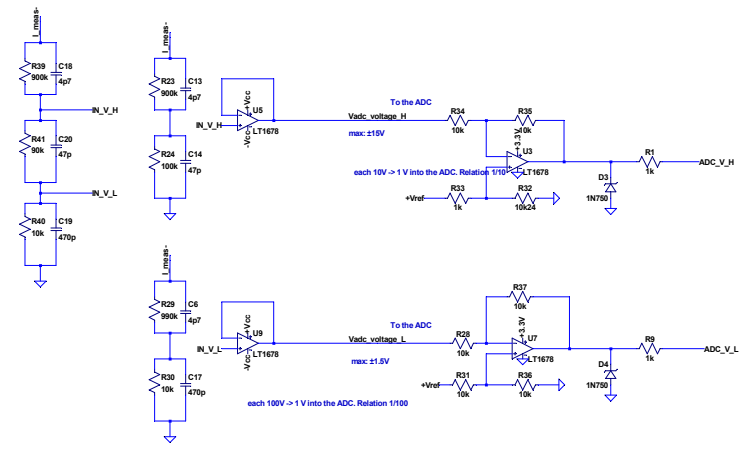
Anexo D - Esquemático de la simulación y resultados



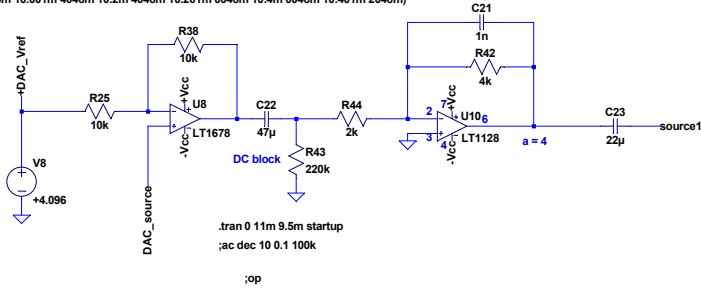
Current measurement -> Impedance measurement circuit



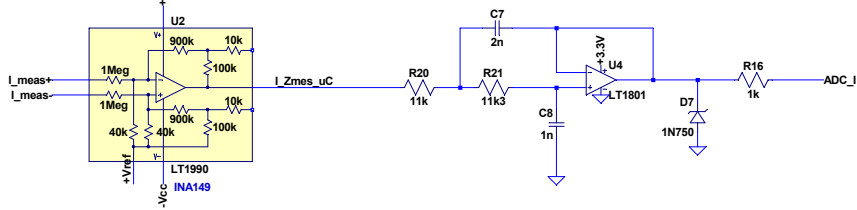
Voltage -> Impedance measurement circuit



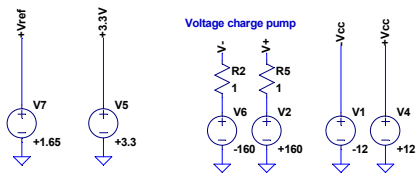
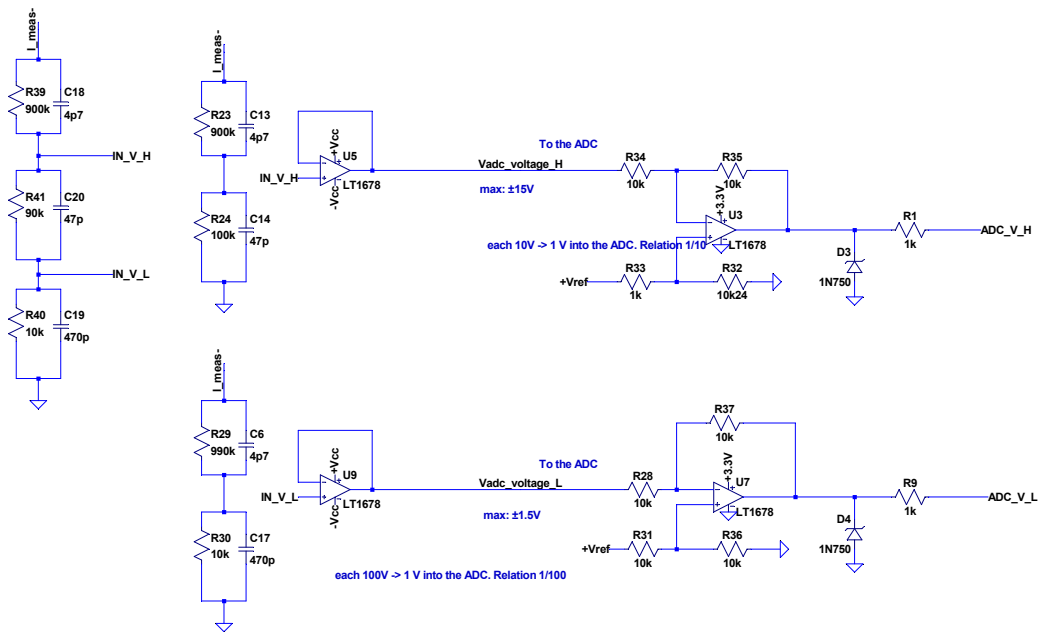
PWL(10m 2048m 10.001m 4048m 10.2m 4048m 10.201m 0048m 10.4m 0048m 10.401m 2048m)

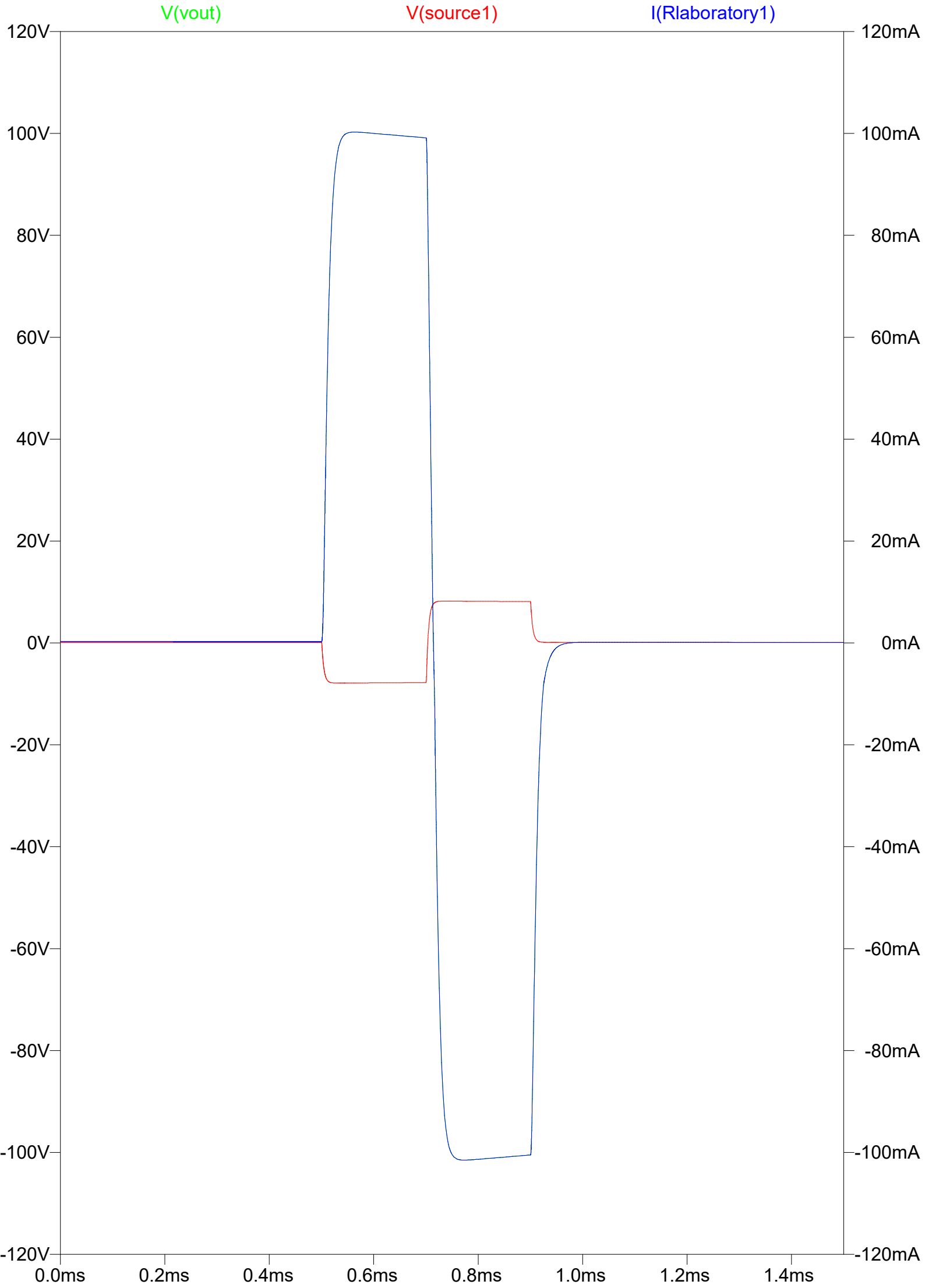


Current measurement -> Impedance measurement circuit



Voltage -> Impedance measurement circuit





Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

Para comprobar y medir de forma practica el comportamiento del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente tipo "Howland", he realizado el montaje de un prototipo con estas dos etapas.

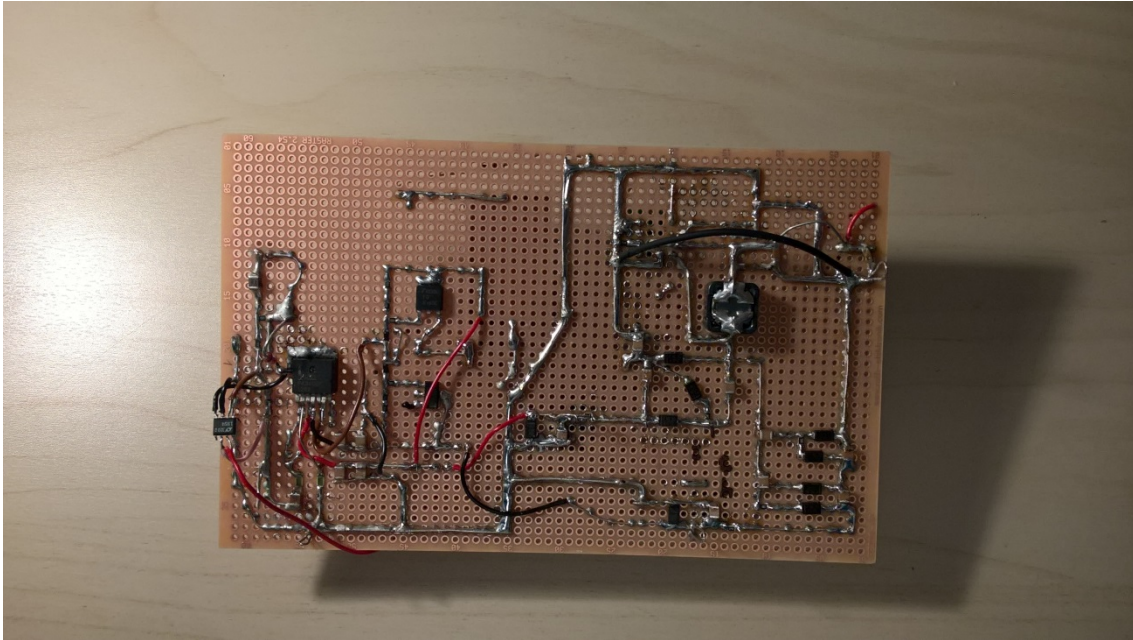


Figura 1 – Vista de la parte soldable de la placa de prototipado.

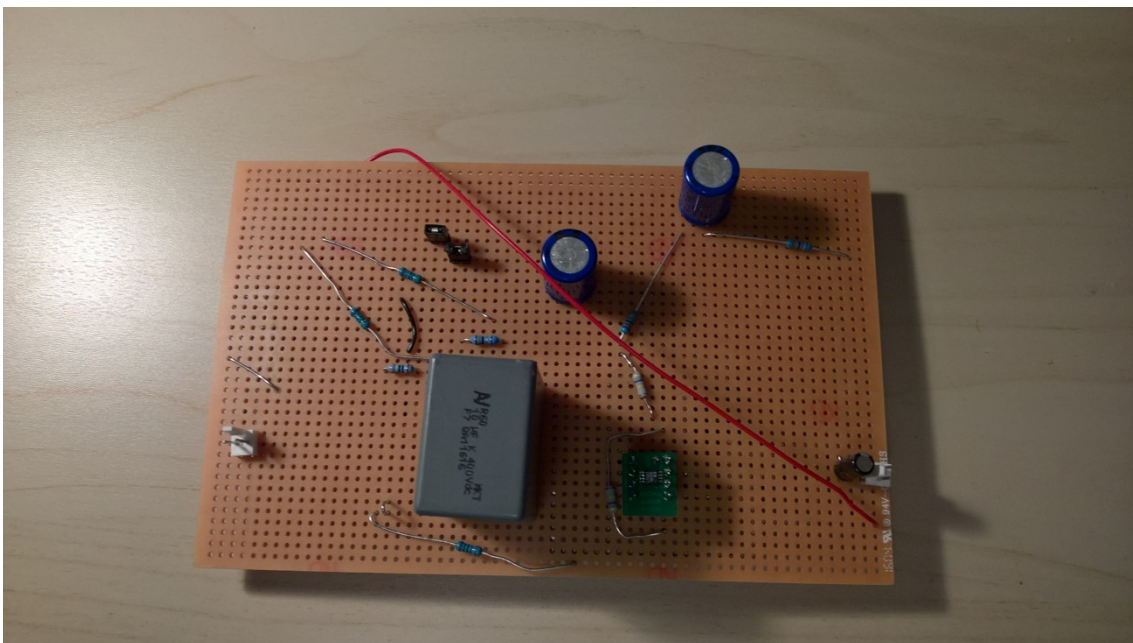


Figura 2 – Vista de la parte no soldable de la placa de prototipado.

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

En la mitad izquierda de la placa esta la fuente de corriente y la mitad derecha es el circuito del convertidor tipo "BOOST" (figura 1).

La alimentación proviene de un cargador comercial AC/DC con 12V de salida y 1A de corriente. Este cargador provee los +12V y la masa eléctrica. Este, solo suministra los +12V al convertidor tipo "BOOST", el cual, a su vez, alimenta a la fuente de corriente con $\pm 150V$ (cables negro y rojo de la parte izquierda inferior). La masa eléctrica de la fuente de corriente se une a la del convertidor y ambas a la del cargador.

EL circuito integrado LT8570, esta soldado a un adaptador de fibra de vidrio del tipo MSOP-10 a DIP (ver figura 2).

La resistencia de carga o de salida conectada a la fuente de corriente es de 1k Ω .

En el prototipo hay pequeños cambios respecto al esquemático propuesto sin que ello suponga ninguna merma significativa en su funcionamiento. En caso de que el esquemático propuesto ha de llevarse a la práctica (a una PCB), los componentes deberán ser tal y como se ha descrito en el esquemático, los cambios realizados en el prototipo han sido exclusivamente para facilitar la labor de montaje y de medición del prototipo.

En el convertidor, se ha sustituido el filtro de modo común "L13" por una resistencia de 15 Ω (del mismo tipo que la utilizada en la fuente de corriente) para limitar posibles picos de corriente indeseados por el cargado y para limitar la corriente en caso de producirse algún cortocircuito. Se ha unido el pin 5 ("/SHDN") del LT8570 ("U18") con una resistencia de 470k Ω a +12V. Este pin apaga y enciende el LT8570. Como la lógica para habilitar o deshabilitar este circuito integrado debería ser controlada por un microcontrolador, lo he unido a +12V para que siempre esté en funcionamiento cuando la fuente de alimentación (cargador) este encendida. Lo mismo ocurre con el condensador "C68", que no ha sido soldado, este condensador actuaba a modo de "soft-start" que para este prototipo no es necesario.

Finalmente, el filtro de compensación no está unido al pin 2 del LT8570.

En la fuente de corriente tipo "Howland" no se han soldado las resistencias tipo "Shunt" "R19" y "R28" (no hay circuito de medida de la impedancia de salida) y no se han soldado el diodo tipo TVS ("D13") que protege al circuito de otros artefactos médicos de alto voltaje y de descargas ESD.

En la entrada de la fuente de corriente se ha soldado un filtro paso alto compuesto por un condensador de 47 μF y una resistencia de 10k Ω . Esto se ha hecho para proteger al "Picoscope" de corrientes DC y para poder usar voltajes flotantes DC como masa virtual y así, poder crear pulsos de salida negativos del "Picoscope". También se ha soldado una etapa de pre-amplificación análoga a la propuesta en el esquemático pero con una ganancia $G = -4$ (etapa inversora). Esto es debido a que el generador de ondas del "Picoscope" tiene una amplitud máxima de 1V cuando se usa la modalidad de ondas "AWG". Para alimentar al amplificador de la etapa de ganancia -4, he tomado los +12V directamente de la fuente de corriente AC/DC y los -12V los he tomado del voltaje -150V a través de un diodo Zener de 12V (ánodo a -Vin y el cátodo a masa) y una resistencia de 20k Ω (entre los -150V y -Vin).

Resultados y capturas

Las he realizado con un osciloscopio digital portátil “Picoscope 2204A” con el software “Picoscope6”. Las señales son generadas con el generador de funciones integrado de que dispone el “Picoscope”. Esta unido mediante dos cables a la entrada de la fuente de corriente.

Las ondas obtenidas del “Picoscope” no han sido tan rectangulares como los que podría haber creado un DAC, debido a que, el generador de señales no es de alta velocidad. Aun así, los pulsos unipolares y bipolares han sido lo suficientemente rectangulares para aproximarnos a lo que el DAC podría ofrecer. Las ondas o pulsos de salida, desde el punto de vista de mi experiencia laboral, han sido muy parecidos o iguales a los que podríamos esperar de un estimulador de tipo medico.

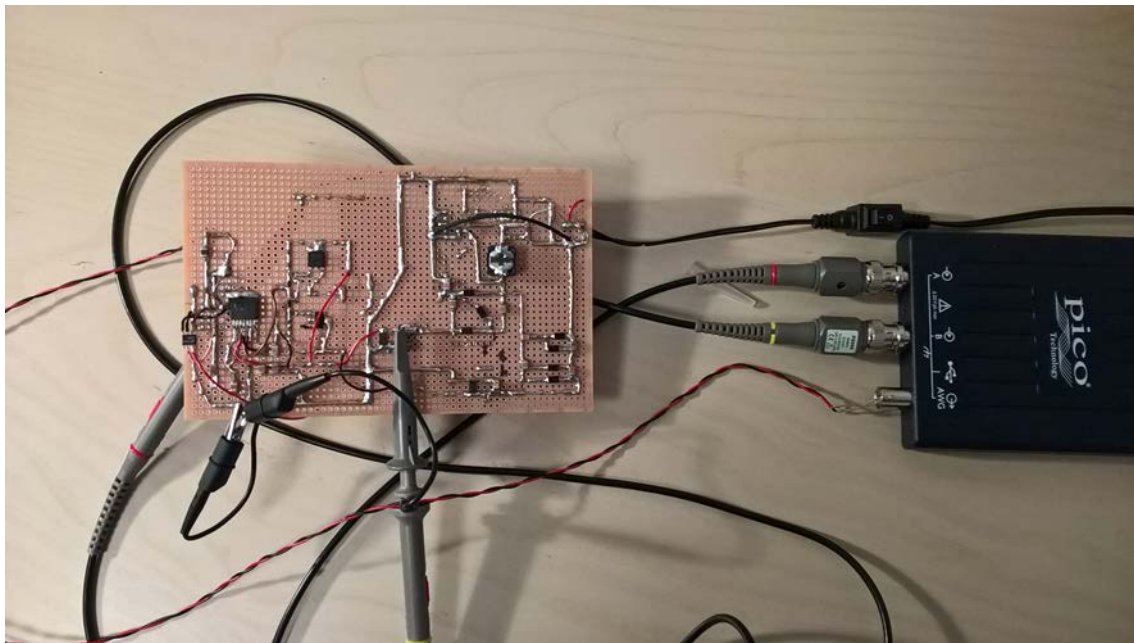


Figura 3 – Vista del “Picoscope”, el cable del cargador y el prototipo conectados.

Capturas del convertidor tipo "BOOST"

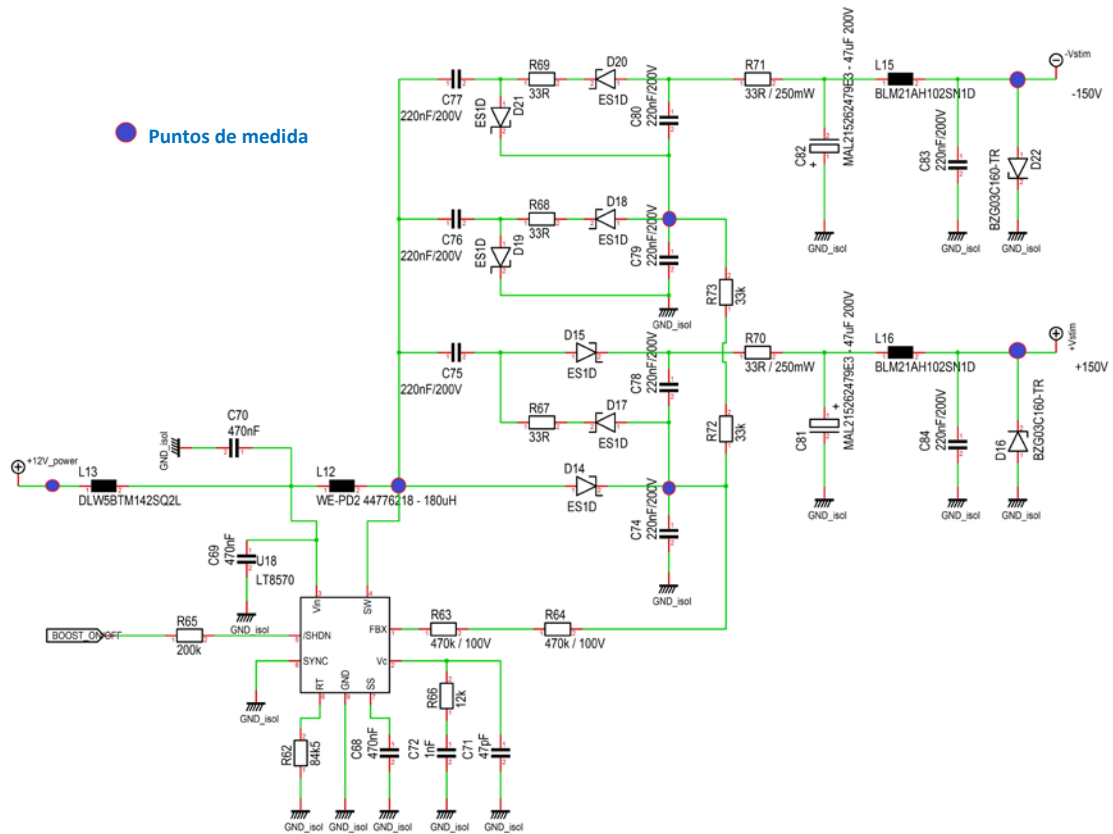


Figura 4 – Puntos donde se han realizado las medidas (6 en total).

Los puntos elegidos son:

- Entrada de voltaje del cargador, +12V.
- Pin 4, llamado "SW" del LT8570 (pin 2 de la bobina).
- Primera etapa positiva del doblador de tensión, +75V
- Primera etapa negativa del doblador de tensión, - 75V.
- Salida positiva del doblador de tensión positivo, 150V.
- Salida negativa del doblador de tensión negativo, -150V.

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

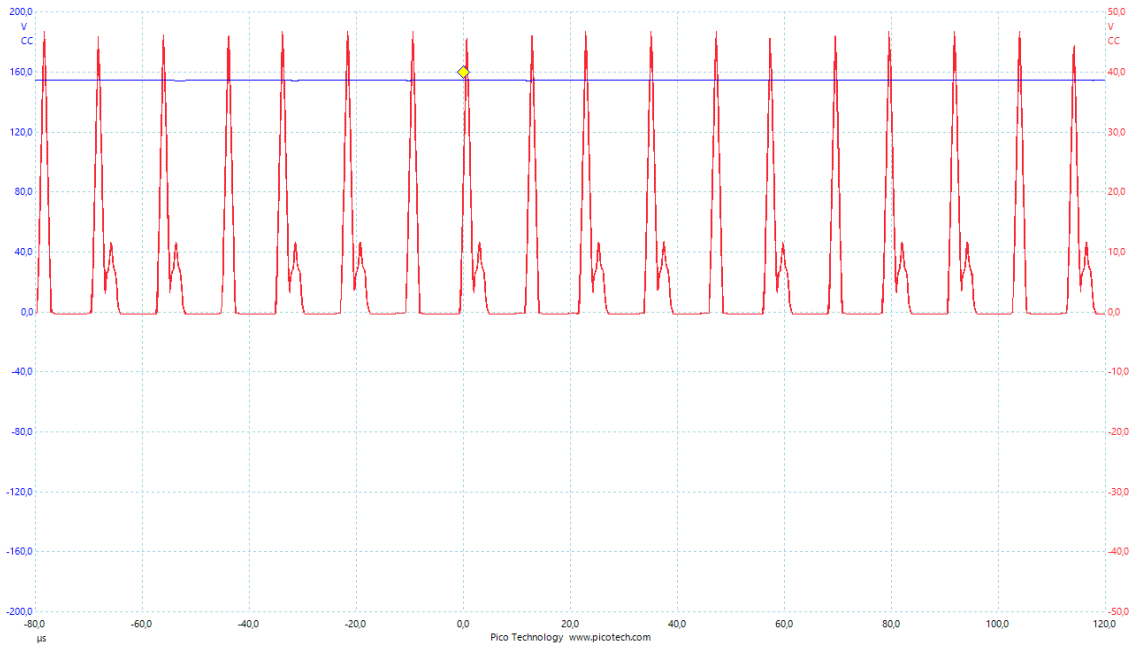


Figura 5 – Señales obtenidas en la salida positiva (azul) y pin "SW" del LT8570 (rojo).

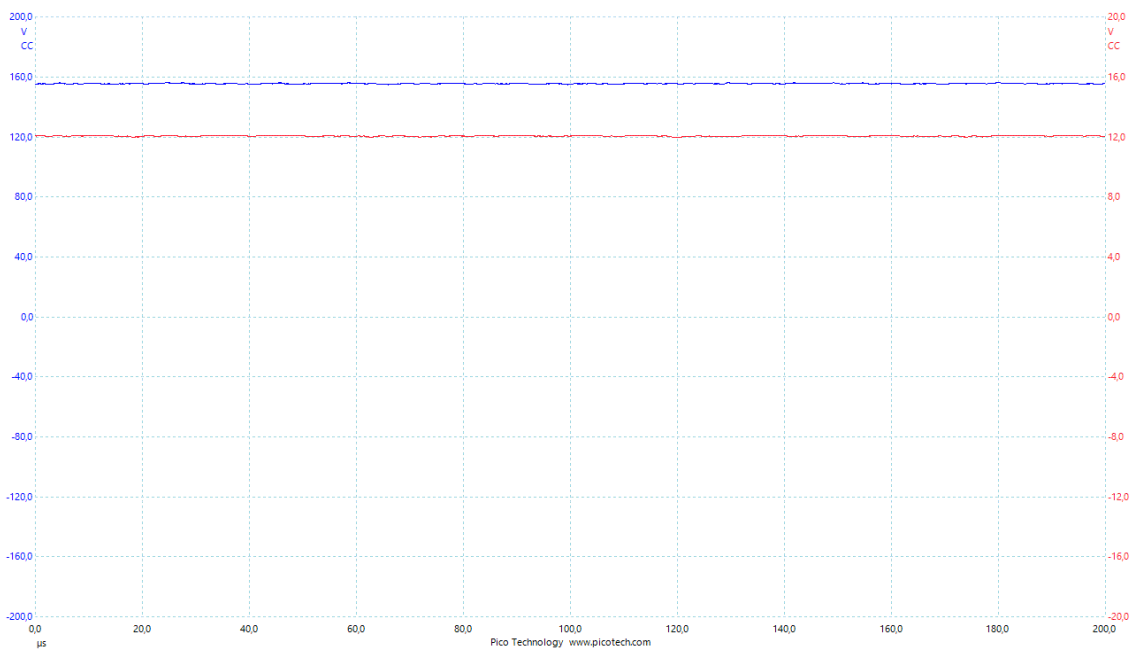


Figura 6 – Señales obtenidas en la salida positiva (azul) y Pulso rectangular con un voltaje de entrada (rojo).

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

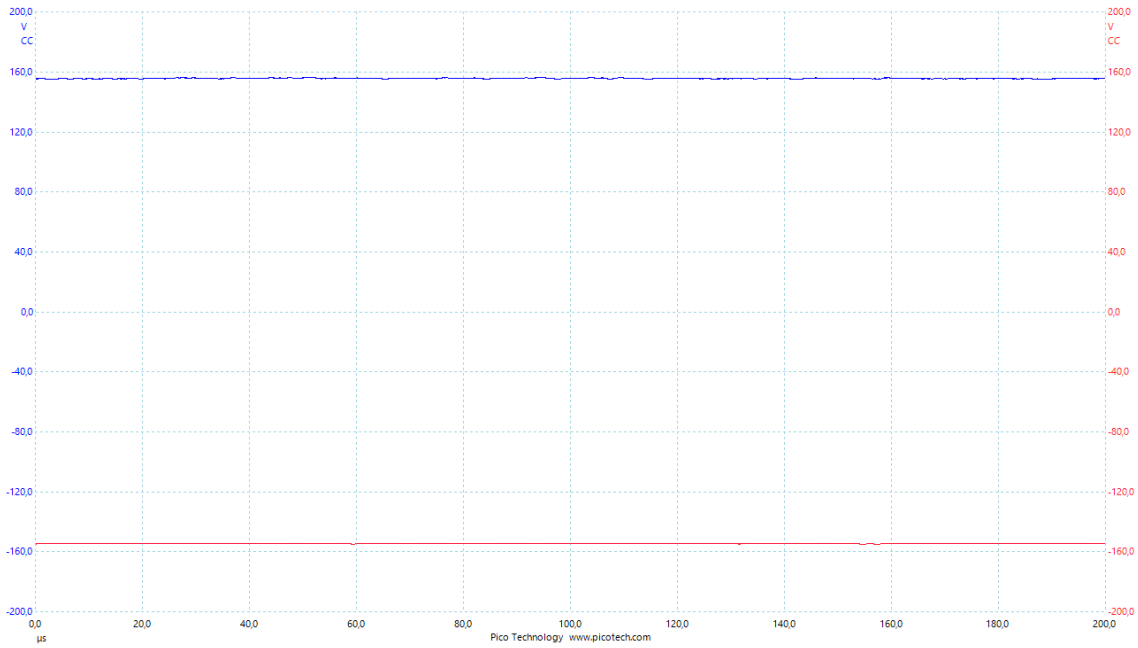


Figura 7 – Señales obtenidas en la salida positiva (azul) y salida negativa (rojo).

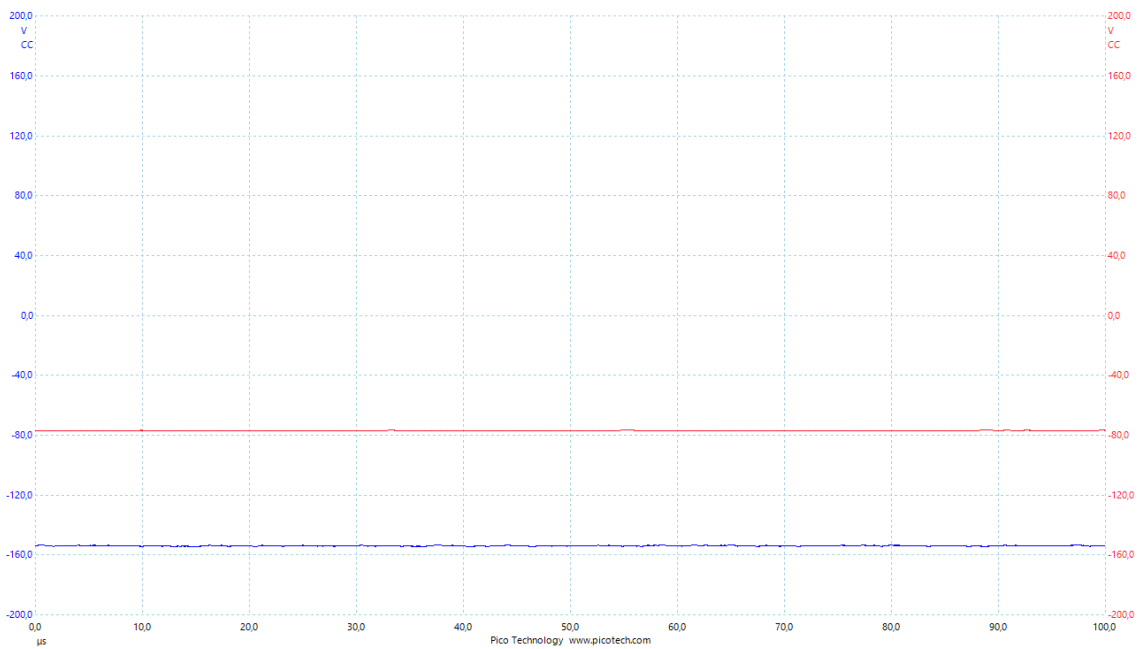


Figura 8 – Señales obtenidas en la salida negativa (azul) y primera etapa (rojo) del doblador de tensión negativo.

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

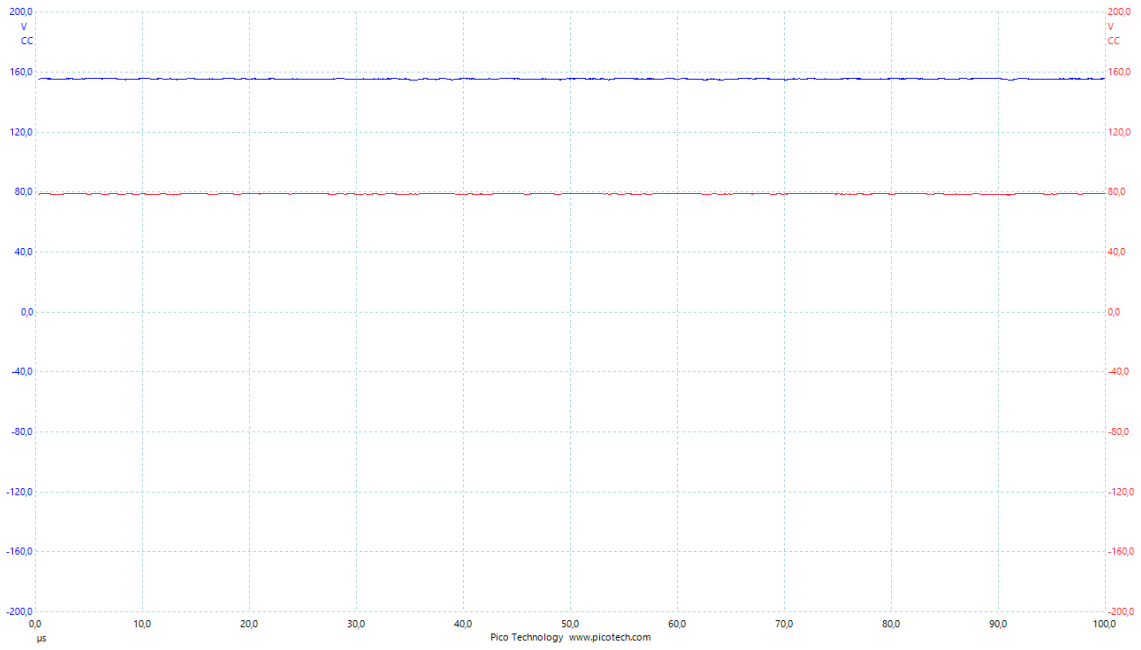


Figura 9 – Señales obtenidas en la salida positiva (azul) y primera etapa (rojo) del doblador de tensión positivo.

Capturas de la fuente de corriente tipo “Howland”

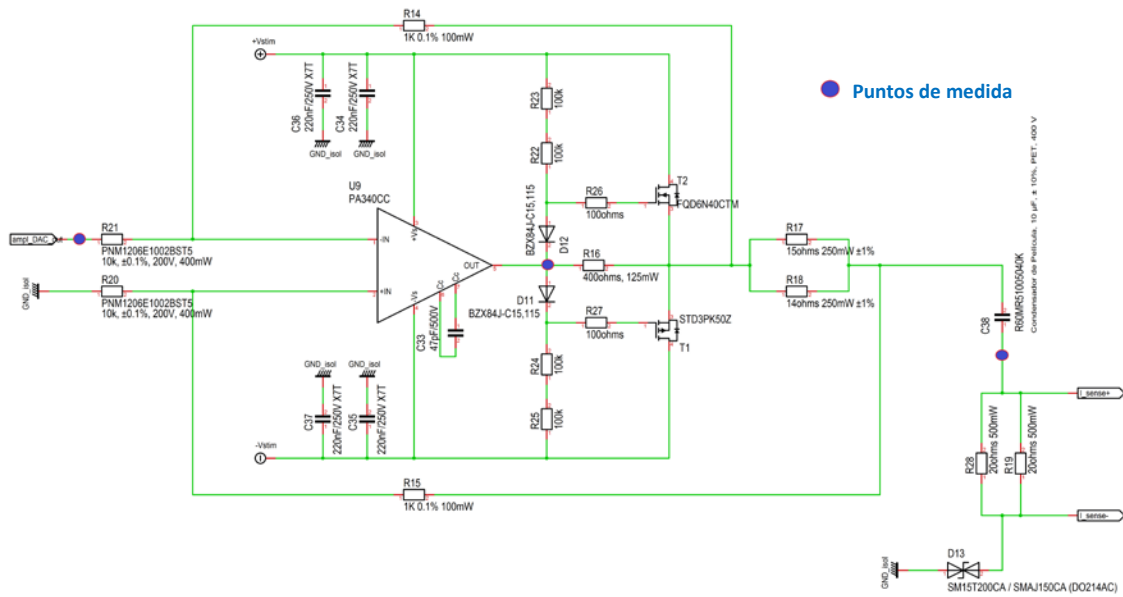


Figura 10 – Esquemático y puntos de medida de la fuente de corriente.

Los puntos elegidos son:

- Entrada a la fuente de corriente (entrada de la pre-amplificación de la señal proveniente del DAC).
- Salida del amplificador.
- Salida de la etapa / resistencia de carga.

La siguiente tabla muestra los valores medios de entrada a la etapa pre-amplificadora, entrada de la fuente de corriente y de salida. Con estos valores se comprueba que la relación matemática entre la entrada a la fuente de corriente y la corriente de salida se cumple.

Voltaje de salida AWG “Picoscope” (V)	Voltaje de salida G = -4 (V)	Corriente de salida Howland I(mA)	Voltaje de salida en 1kΩ (V)
0,020	-0,080	1,00	1,00
0,043	-0,172	2,15	2,15
0,115	-0,460	5,75	5,75
0,475	-1,900	23,75	23,75
1,190	-4,760	59,50	59,50
-0,021	0,084	-1,05	-1,05
-0,045	0,180	-2,25	-2,25
-0,116	0,464	-5,80	-5,80
-0,467	1,868	-23,35	-23,35
-1,174	4,696	-58,70	-58,70

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

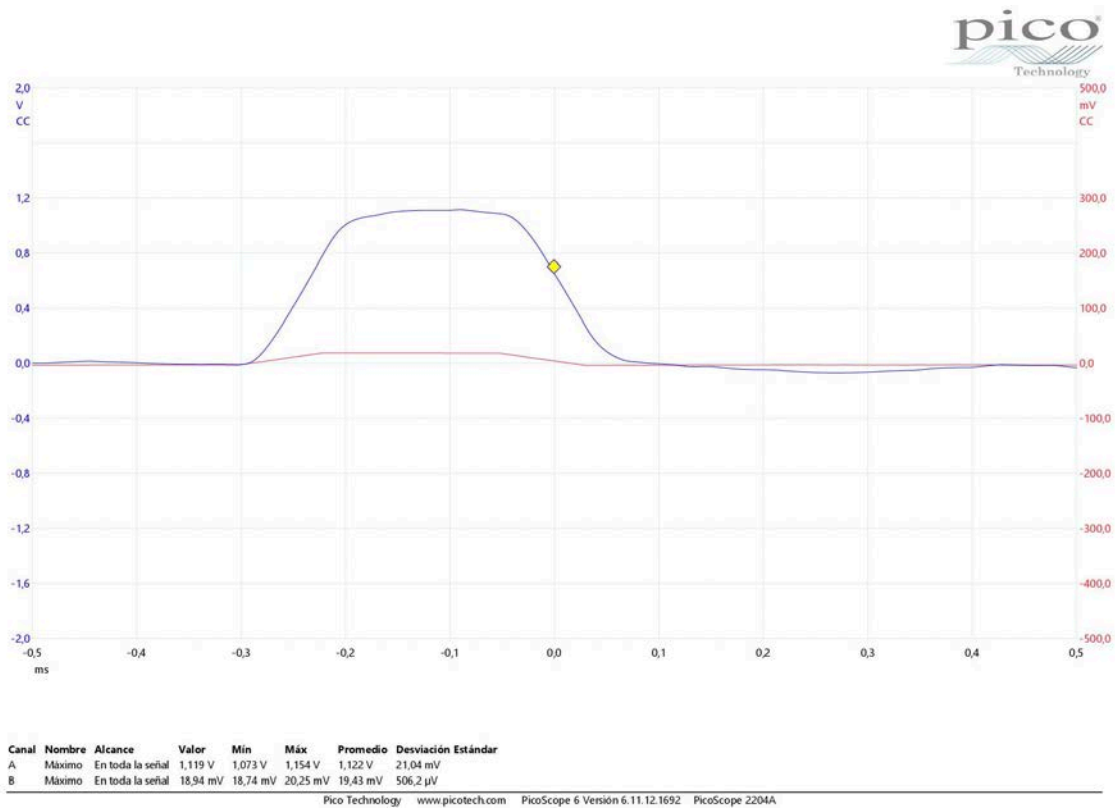


Figura 11 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada 20mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1kΩ (azul).

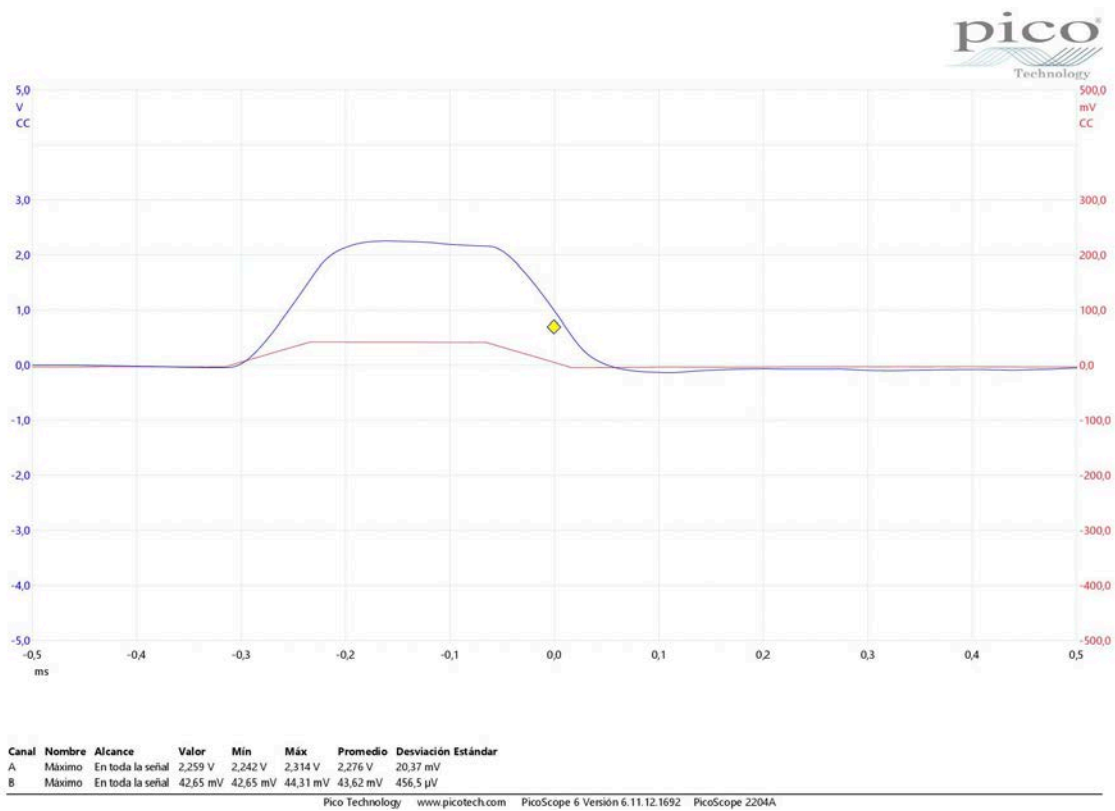


Figura 12 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada 43mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1kΩ (azul).

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

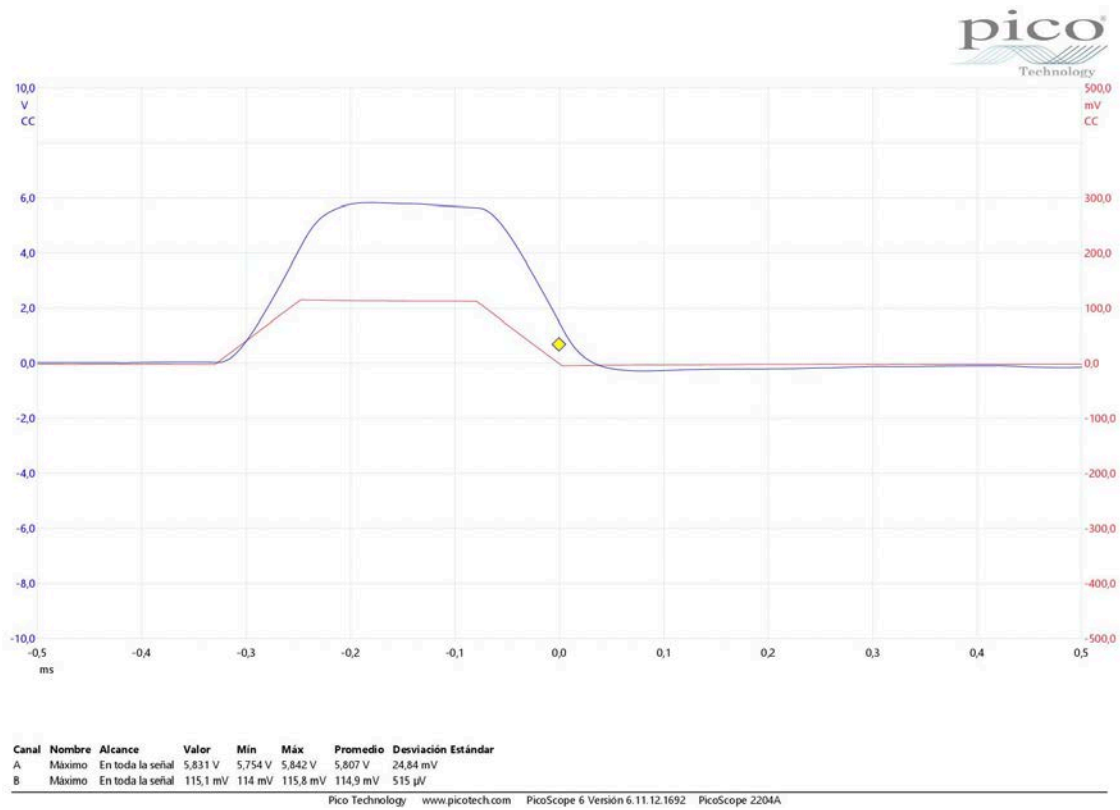


Figura 13 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada 115mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1k Ω (azul).

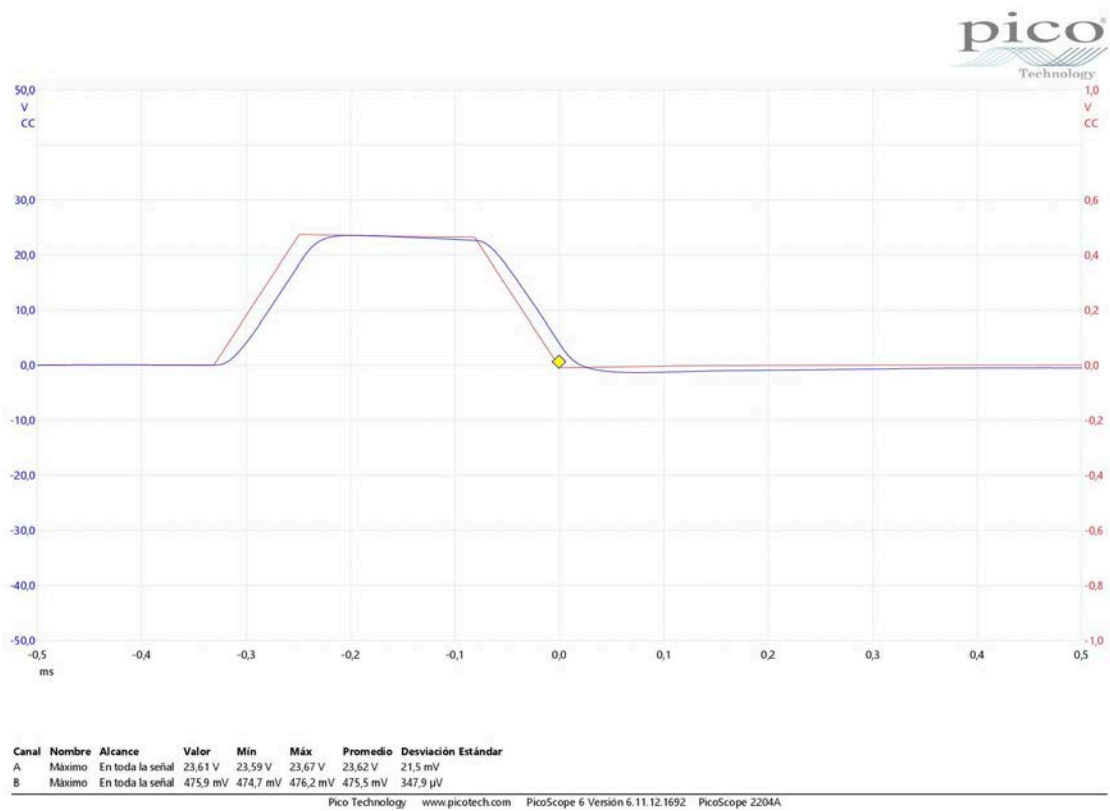


Figura 14 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada 475mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1k Ω (azul).

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.



Figura 15 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada 1191mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1k Ω (azul).

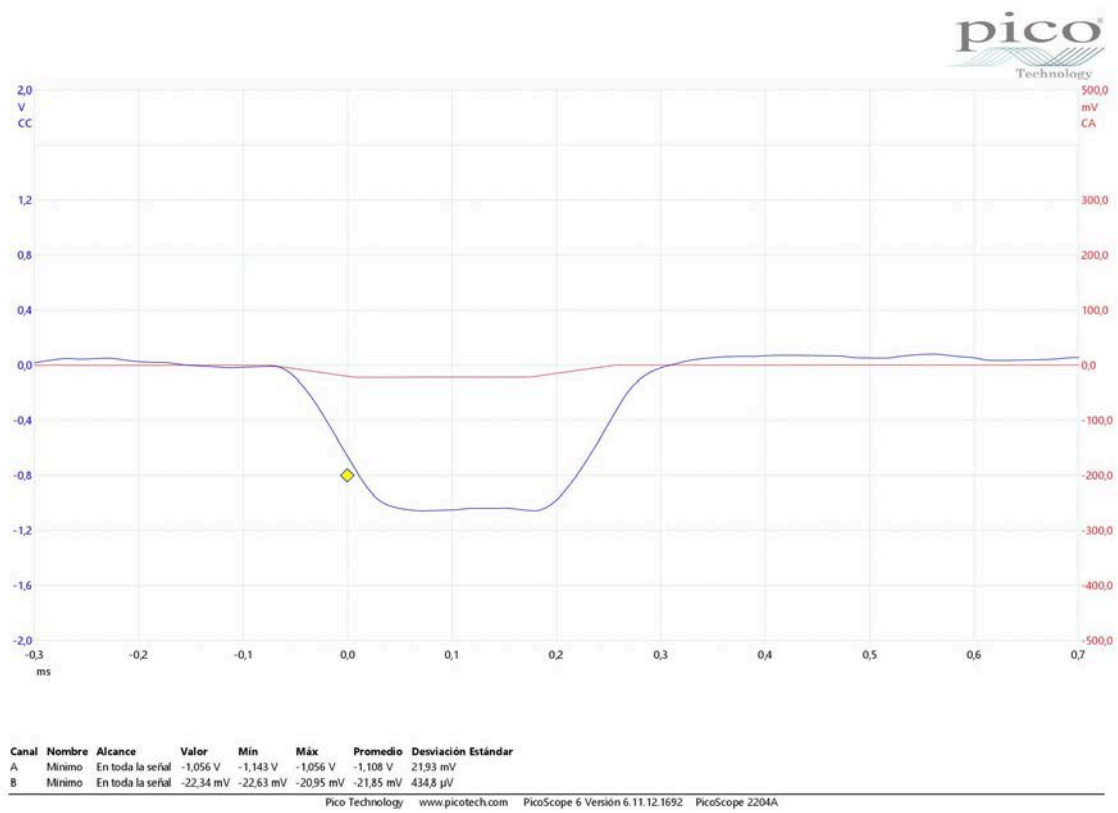


Figura 16 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada -22mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1k Ω (azul).

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

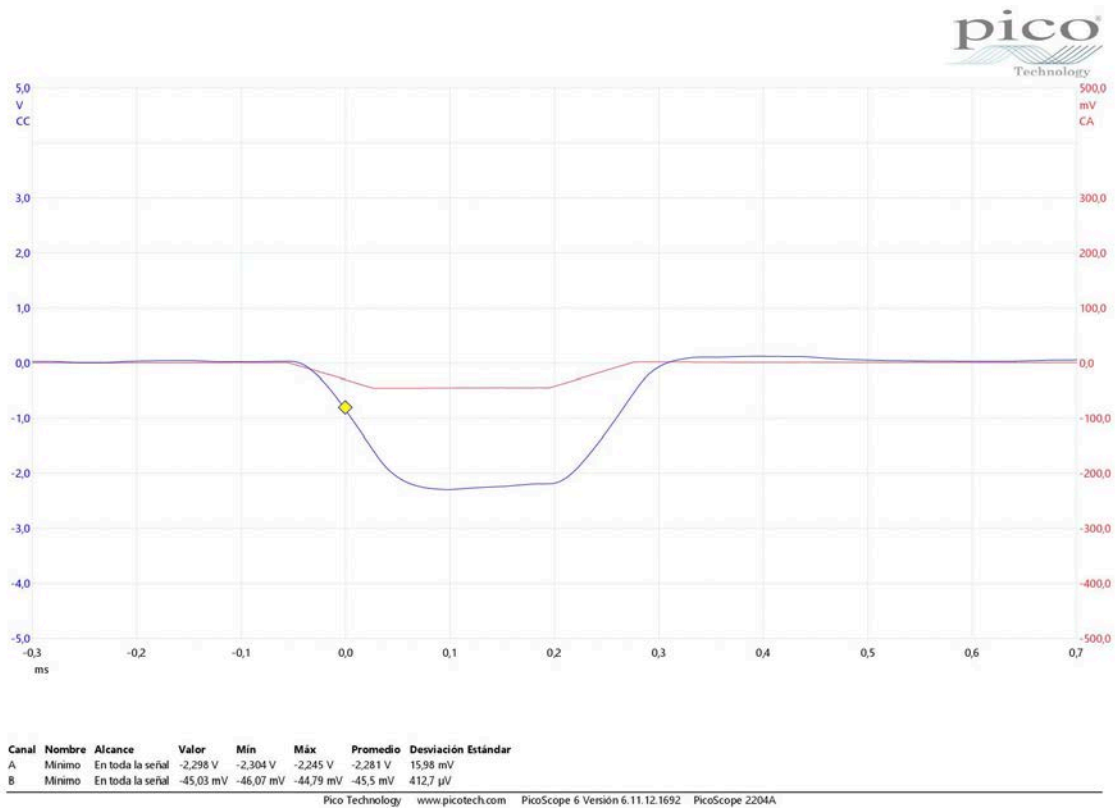


Figura 17 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada -45mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1k Ω (azul).

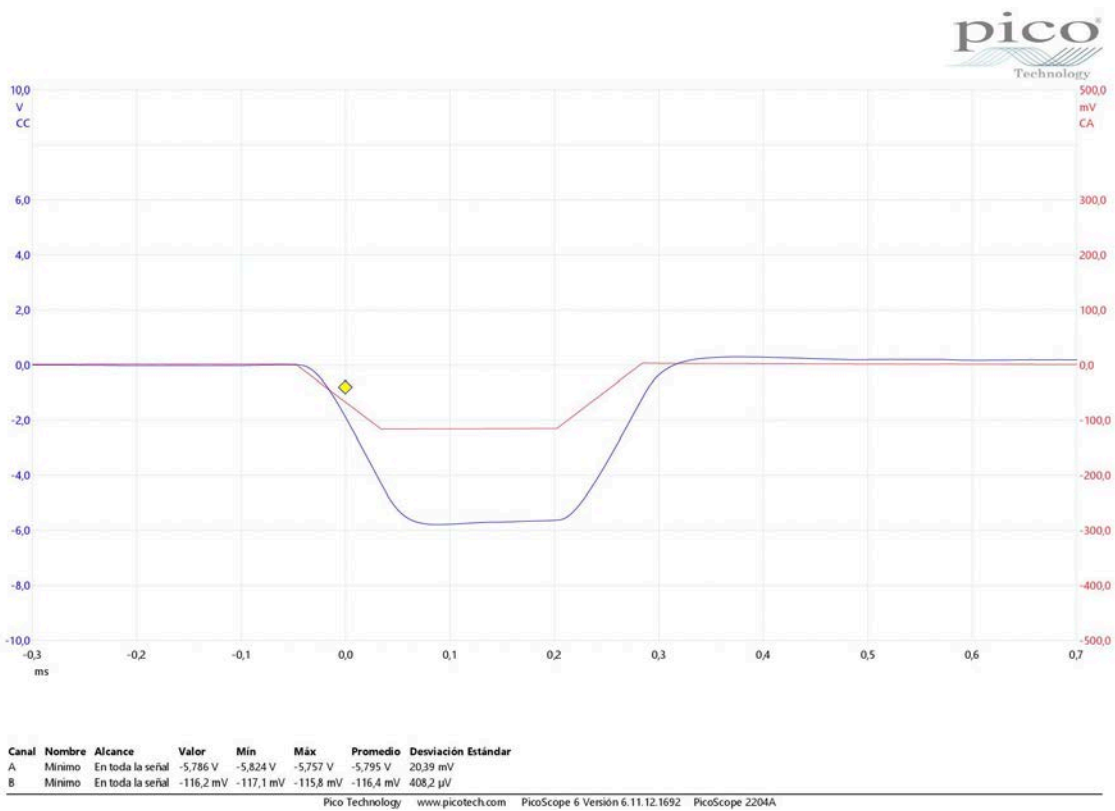


Figura 18 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada -116mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1k Ω (azul).

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

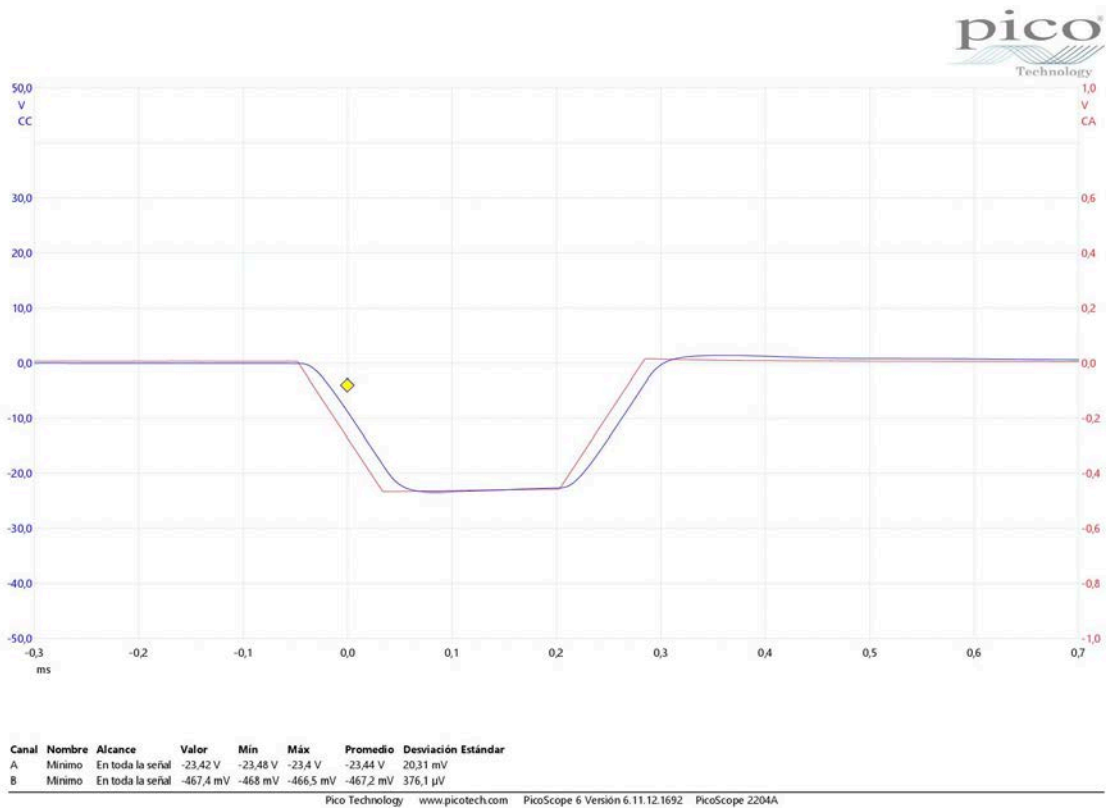


Figura 19 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada -467mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1kΩ (azul).

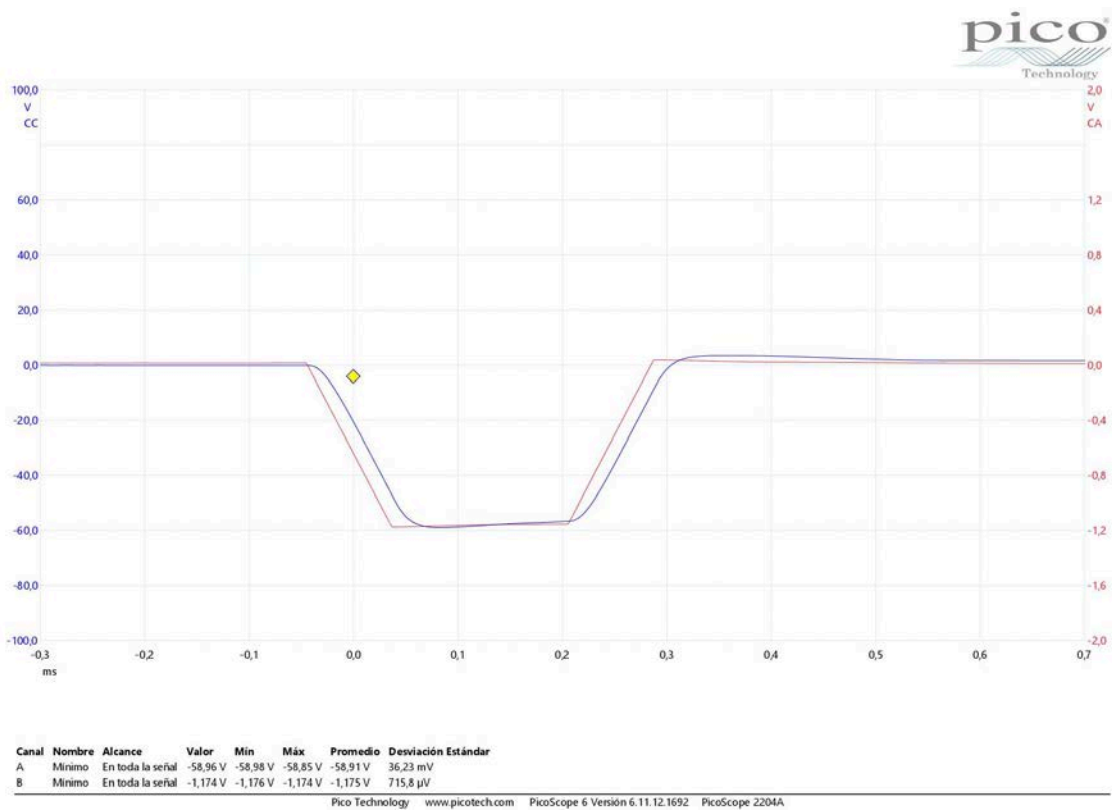


Figura 20 – Pulso rectangular con un voltaje de entrada -1174mV (en rojo) y voltaje en la carga de 1kΩ (azul).

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

La siguiente captura muestra las ondas de entrada y salida con una configuración de la onda de salida del generador de ondas del "Picoscope" para obtener una onda bipolar (introducida a través de un archivo de formato csv.)

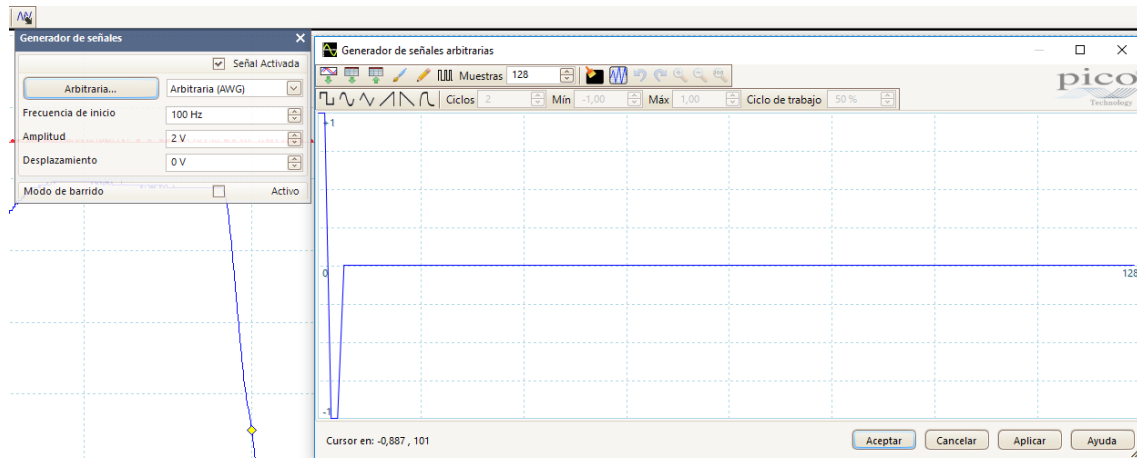


Figura 21 – Configuración para crear una onda bipolar con el generador de señales.

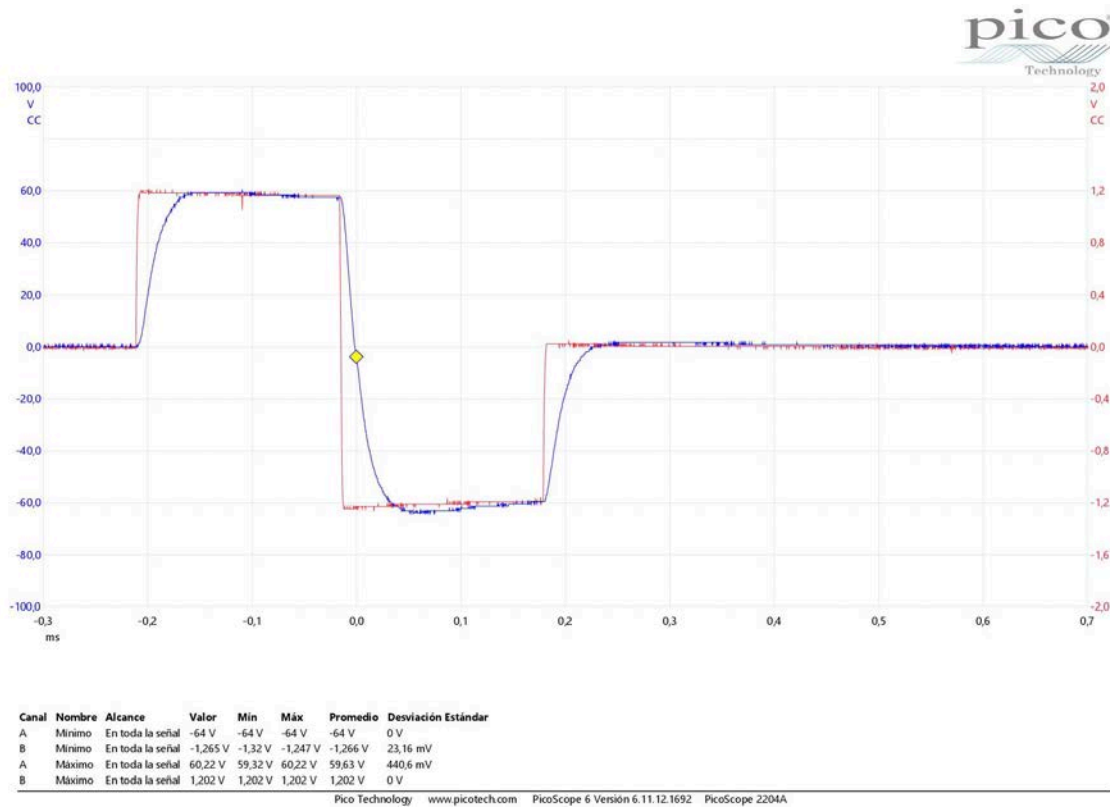


Figura 22 – Pulso rectangular bipolar con un voltaje de entrada $\pm 1200\text{mV}$ (en rojo) y voltaje en la carga de $1\text{k}\Omega$ (azul).

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

La siguiente captura es para comprobar la frecuencia de salida junto con la tensión de voltaje positiva del convertidor "boost". Así, se puede observar que hay una pequeña caída de tensión debido al aumento de la demanda de corriente por parte de la fuente de corriente (aumenta el valor de corriente eficaz o de corriente media consumida debido al aumento de la frecuencia de los pulsos).

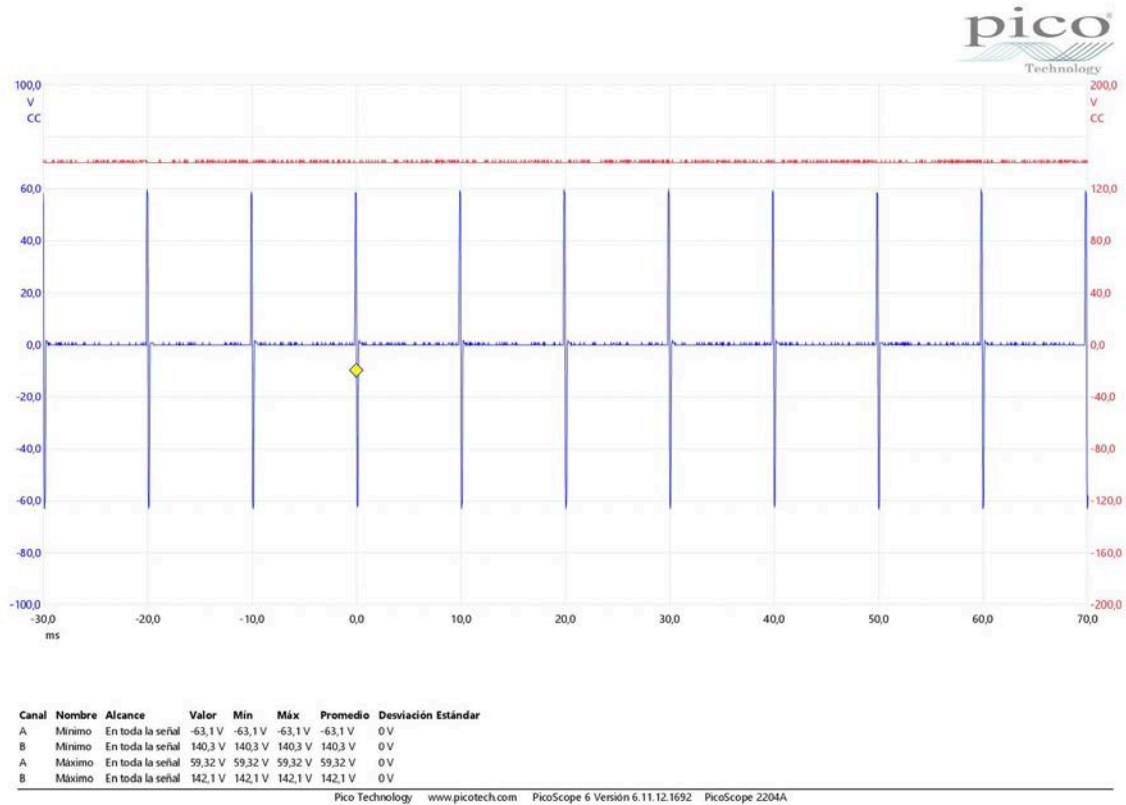


Figura 23 – Salida de pulsos rectangulares 100Hz (en azul) y voltaje de salida positivo del convertidor "Boost" (en rojo).

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

Lo mismo ocurre cuando la onda de entrada es una onda sinusoidal de 100Hz de frecuencia.

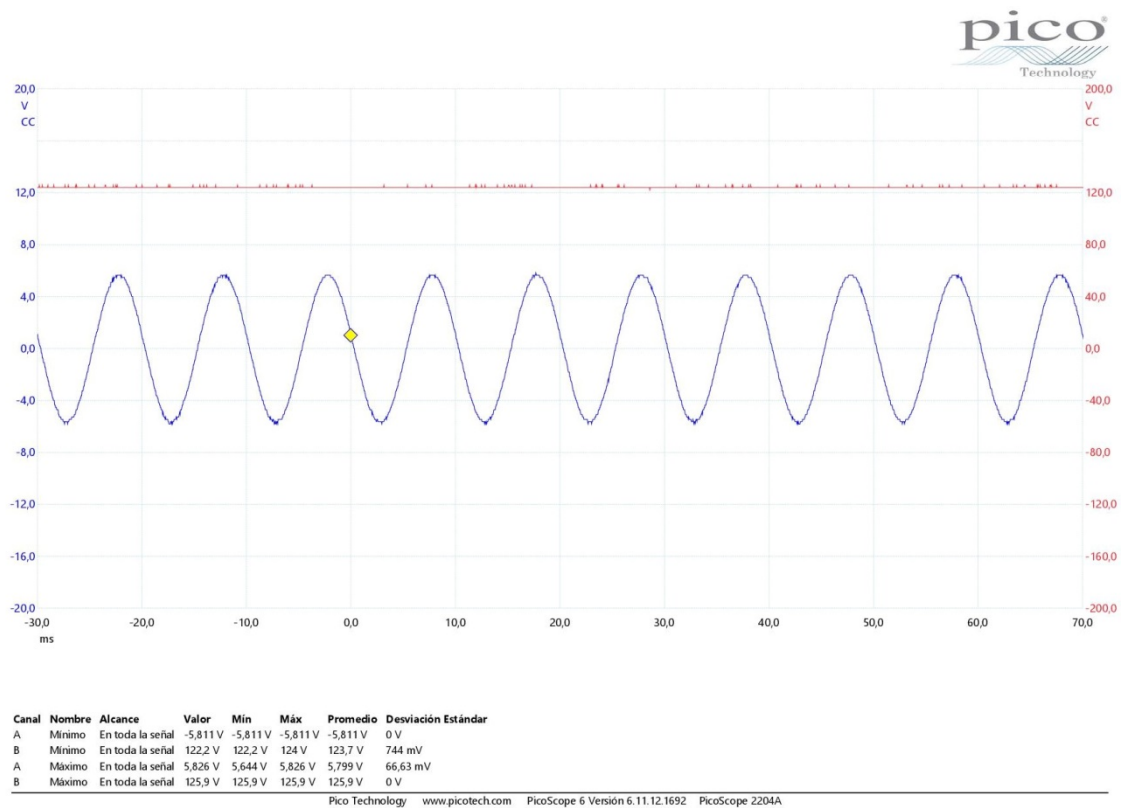


Figura 24 – Salida de una onda sinusoidal de 100Hz (en azul) y voltaje de salida positivo del convertidor "Boost" (en rojo).

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

Se puede observar en la siguiente captura, la relación entre el voltaje de la señal de entrada a la fuente de corriente y su salida (invertida respecto a la entrada) también en forma de voltaje.

$$I_{\text{estimulación}} = \frac{(V_+ - V_-)}{R_{13(\text{Howland})}} \times \frac{R_{14}}{R_{15}} = \frac{(0 - V_-)}{8\Omega} \times \frac{1k\Omega}{10k\Omega} = 60\text{mA}; V_- = 8\Omega \times 10 \times 60\text{mA} = -4,8\text{V}$$

La tensión en la carga es directamente proporcional a la corriente de salida de la etapa por $1k\Omega$.

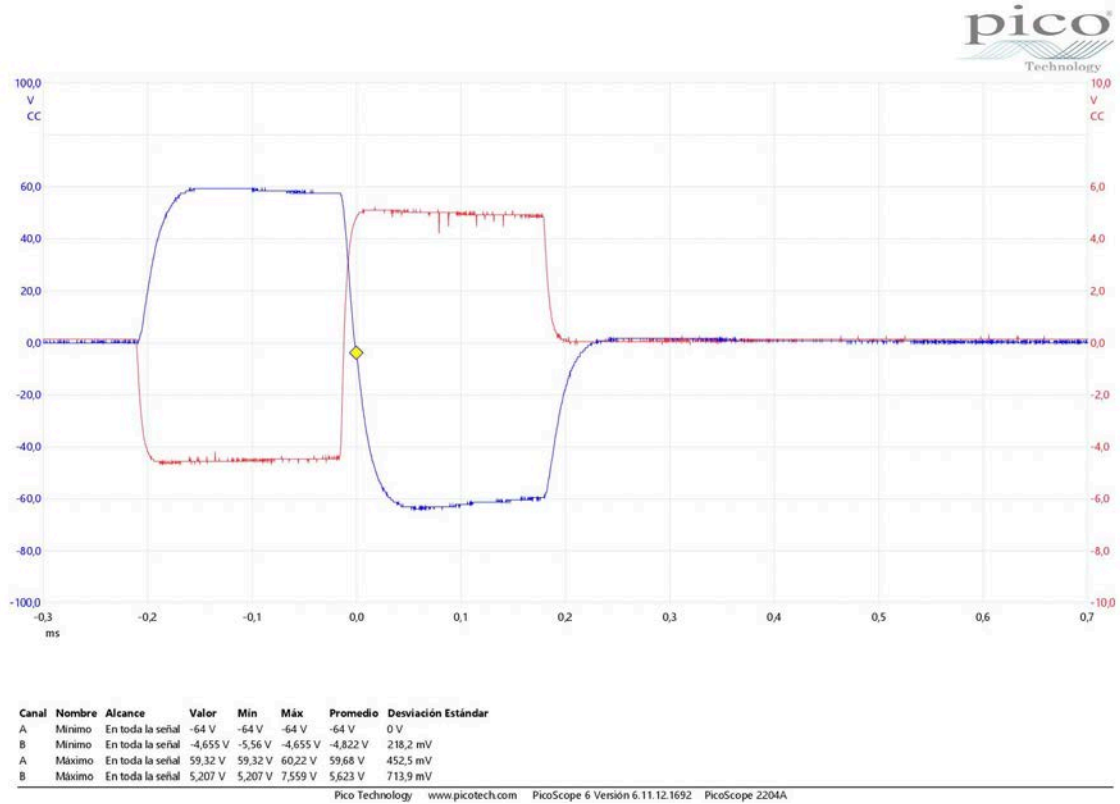


Figura 24 – Relación entre el voltaje de entrada (rojo) y la corriente de salida en una carga de $1k\Omega$ (azul) de la fuente de tensión.

Anexo E - Prototipo y medidas del convertidor tipo "Boost" y de la fuente de corriente.

Las tensiones entre la resistencia situada a la salida del amplificador operacional que convierte la tensión en corriente son:

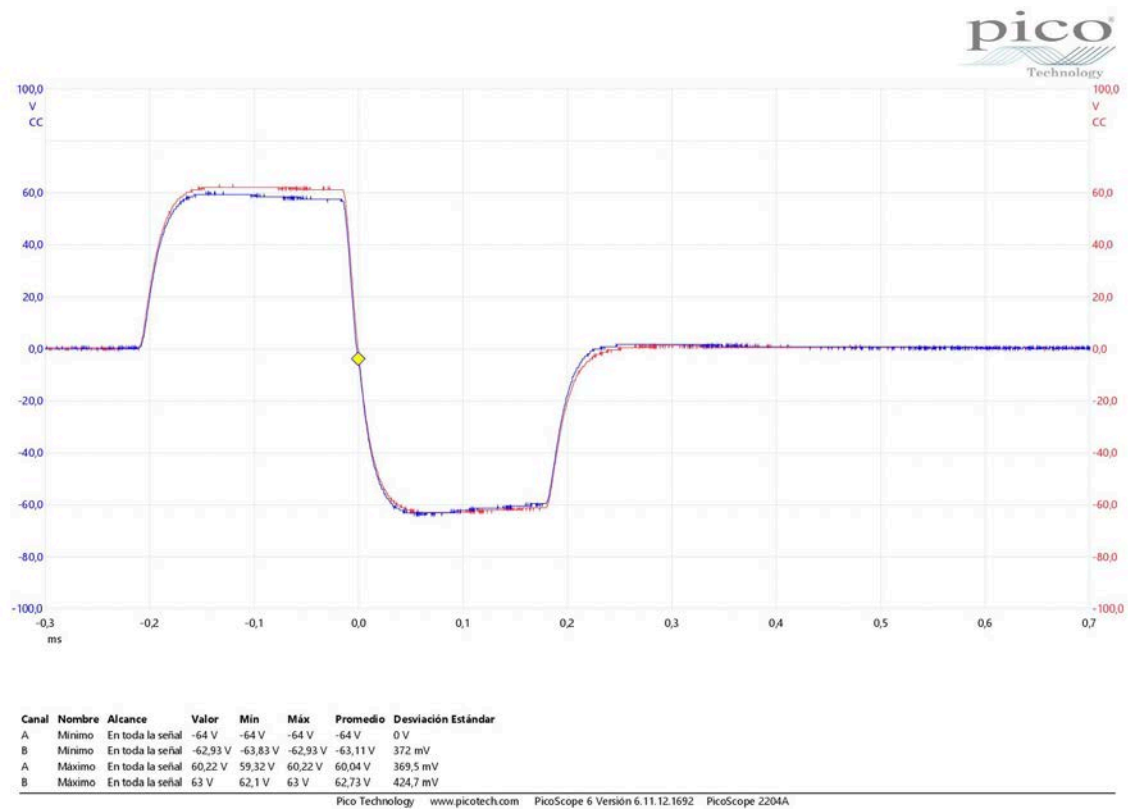


Figura 25 – Voltaje de salida del amplificador de la etapa de corriente (rojo) y la tensión generada en la carga de salida de 1kΩ.