

Laboratorio de Sensores y Acondicionamiento de Bioseñales

Hito 1 - Práctica 4. Diseño de un Electrocardiógrafo (ECG).

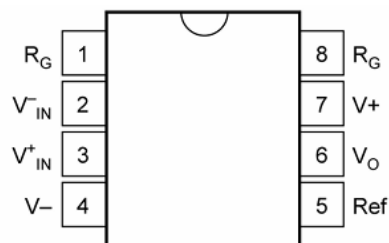
Pareja 1 – Felipe Ruiz Bernal y Laura Sánchez Garzón

Estudio teórico-práctico inicial. Cuestiones previas y diseño con LTspice.

1. Etapa de preamplificación.

1.1. Dibuje el esquema de las patillas del encapsulado DIP de 8 pines del INA114BP que es el amplificador de instrumentación utilizado en esta etapa y complete la tabla que se adjunta con algunas de sus características típicas más relevantes. Estos parámetros, así como cualquier otro que pudiera ser necesario debe ser capaz de encontrarlos en la hoja de datos (datasheet) facilitada para alguna de las tensiones recomendadas por el fabricante.

El esquema de patillas el encapsulado DIP de 8 pines del INA114BP es:



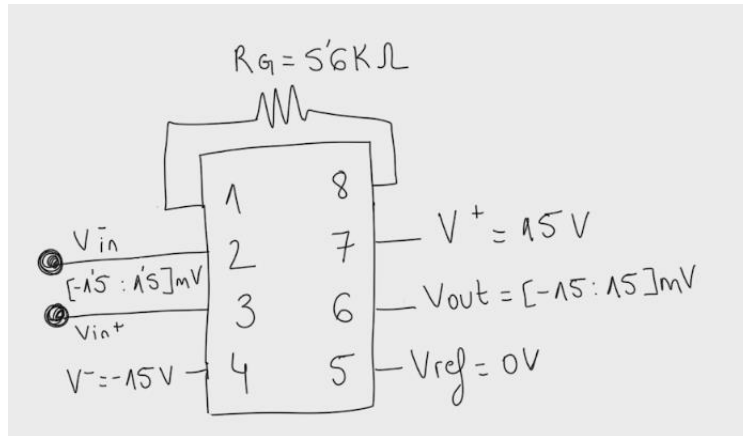
Referencia	TIPO	Alimentación	Entrada		CMR (dB)	Salida	R _{REF} (Ω)	Ganancia
			V _{CM} (V)	R _{IN} (Ω)		V _{OS}		
INA114BP	AI	Single supply: 4.5 a 36 V Dual supply: ±2.25 a ±18 V	±10V	100 GΩ	115 (G=10)	(V-) +1.5 a (V+) -1.5	<5 Ω	[1:10000]V/V

Nota: En todos los datasheets de los INA, la Rref no viene referenciada, sin embargo, todas afirman que las resistencias en serie con respecto a este pin tienen que ser lo más bajas posibles para mantener un buen CMR.

1.2. Diseñe una etapa de amplificación diferencial con G = 10, utilizando un amplificador de instrumentación modelo INA114BP. Señale la resistencia externa necesaria para alcanzar el valor de ganancia señalado.

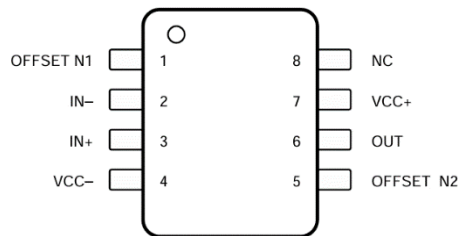
$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \rightarrow 10 = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \rightarrow R_G = \frac{50k\Omega}{10 - 1} \rightarrow 5.56k\Omega$$

Se utilizará, por tanto, la resistencia de 5.6kΩ de los componentes disponibles en el laboratorio.



2. Etapa de filtrado.

2.1. Dibuje el esquema de las patillas del encapsulado DIP de 8 pines del $\mu A741$ que será el amplificador de instrumentación utilizado en esta práctica y complete la tabla que se adjunta con algunas de sus características típicas más relevantes.



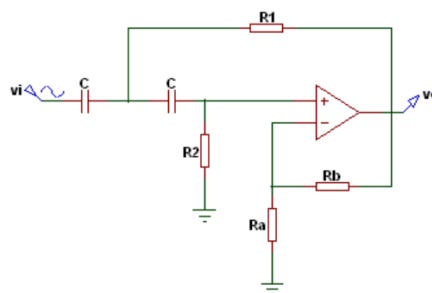
Valores típicos, una alimentación $V_{CC} = \pm 15V$ y a $25^\circ C$:

Referencia	TIPO	Alimentación	Entrada		Salida
			V_{CM} (V)	R_{IN} (Ω)	V_{OS}
$\mu A741$	AO	$V_{CC+} = [5:15] V$	$\pm 13V$	$2 M\Omega$	$(R_L = 10k\Omega) \pm 14V$
		$V_{CC-} = [-5:-15] V$			$(R_L = 2k\Omega) \pm 13V$

2.2. Etapa de filtrado.

- a) **Diseño de un filtro paso alta (FPA).** Diseñe un filtro activo paso alta de segundo orden, Sallen-Key o similar, con ganancia unidad y frecuencia de corte $f_{CL} = 0,5 Hz$.

Se ha decidido realizar un filtro de paso alto de segundo orden, con estructura Sallen-Key, cuya estructura debe verse de esta manera:



Para facilitar los cálculos de los componentes utilizados para realizar el filtro, se utiliza una web que realiza los cálculos automáticamente. Eligiéndose los parámetros de frecuencia de corte de 0.5 Hz, un condensador (con valores del laboratorio) de 22 μF , y una ganancia de 1, se obtienen los siguientes valores para el resto de componentes:

Calculadora Filtro Pasa altos Activo de 2do Orden Sallen Key

Aproximación:

Factor Q: Factor k:

Frecuencia de corte fc: Hz

Valor condensador C: μF

Valor Ganancia A:

Factor m:

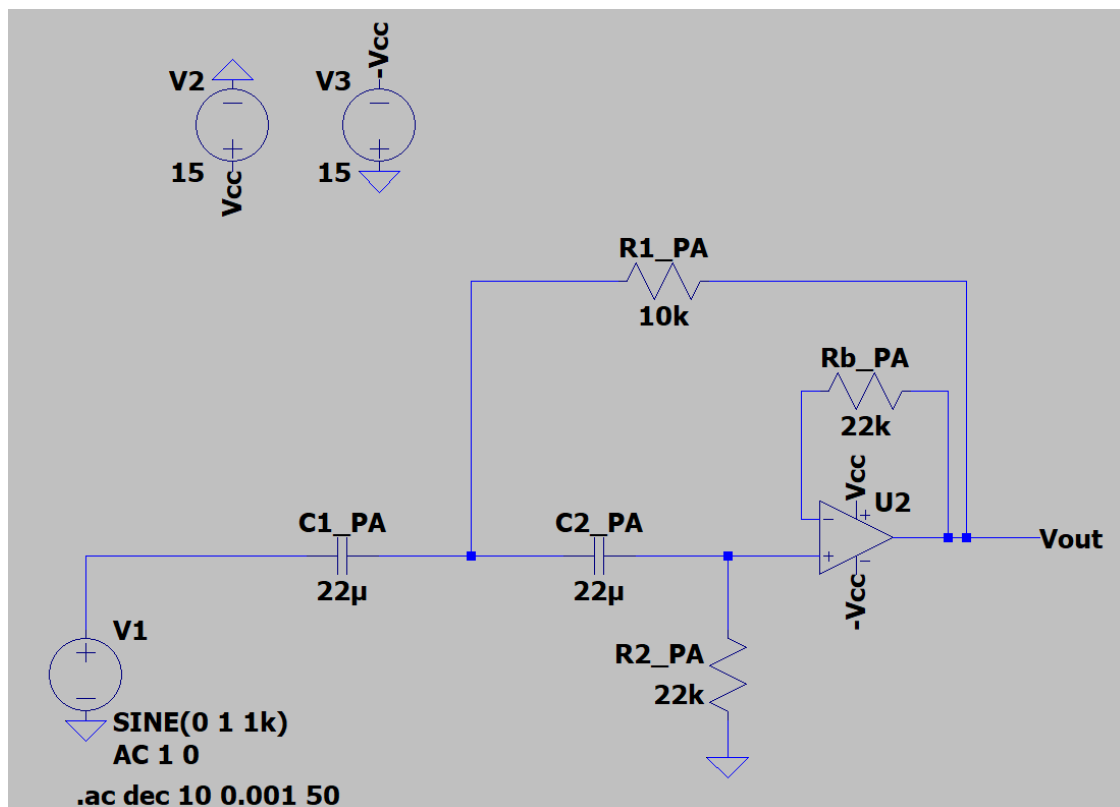
Valor resistencia R1: k Ω

Valor resistencia R2: k Ω

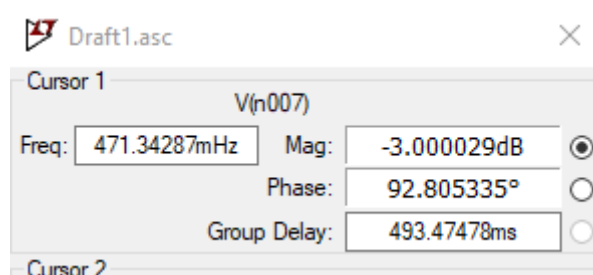
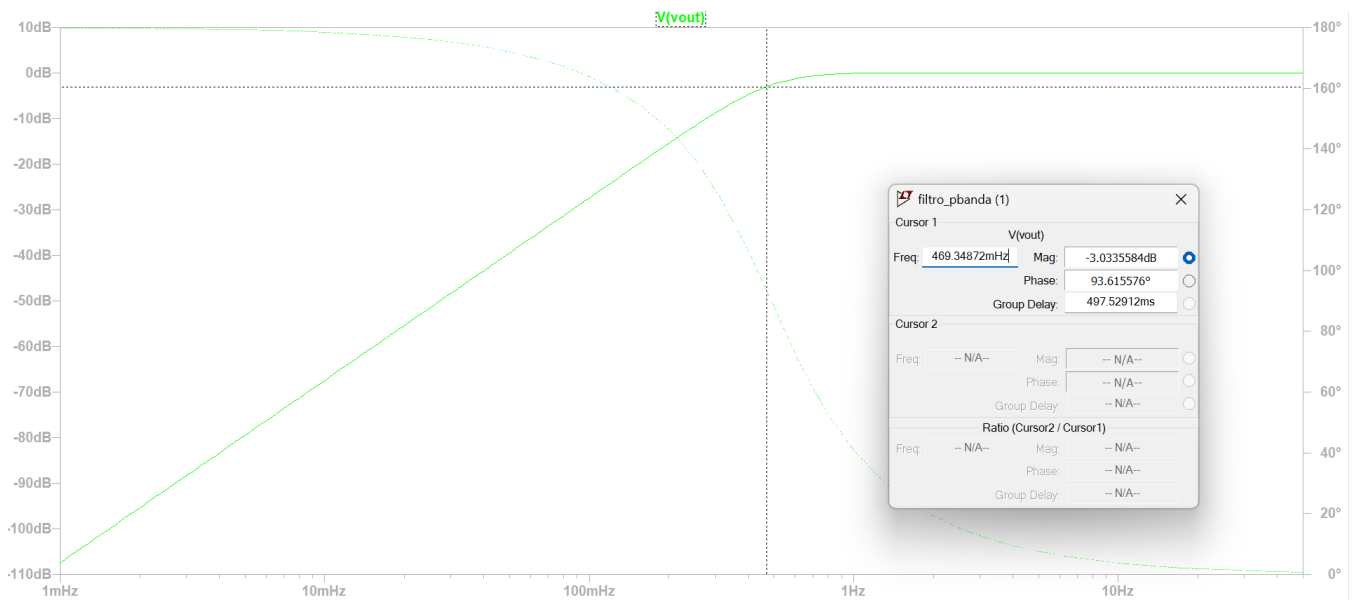
Valor resistencia Ra: k Ω

Valor resistencia Rb: k Ω

Ver que, como la resistencia Ra da infinito, no la incluimos en el esquema. El resultado en LTSpice es el siguiente.

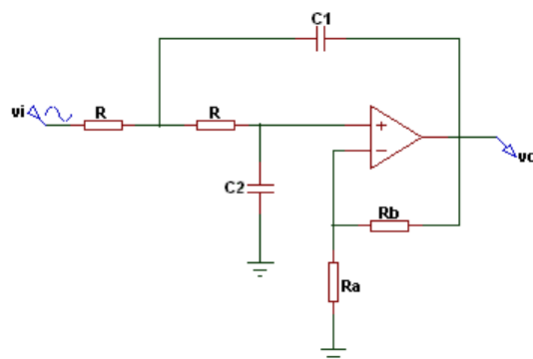


Y la gráfica simulada obtenida:



b) Diseño de un filtro paso baja (FPB). Diseñe un filtro activo paso baja de segundo orden, Sallen-Key o similar, con ganancia unidad y frecuencia de corte $f_{CH} = 35$ Hz.

En este caso, el circuito y valores calculados son los siguientes:



Calculadora Filtro Pasa bajos Activo de 2do Orden Sallen Key

Aproximación :

Factor Q: Factor k:

Frecuencia de corte fc: Hz

Valor Ganancia A :

Valor condensador C1 : nF

- -

Factor m :

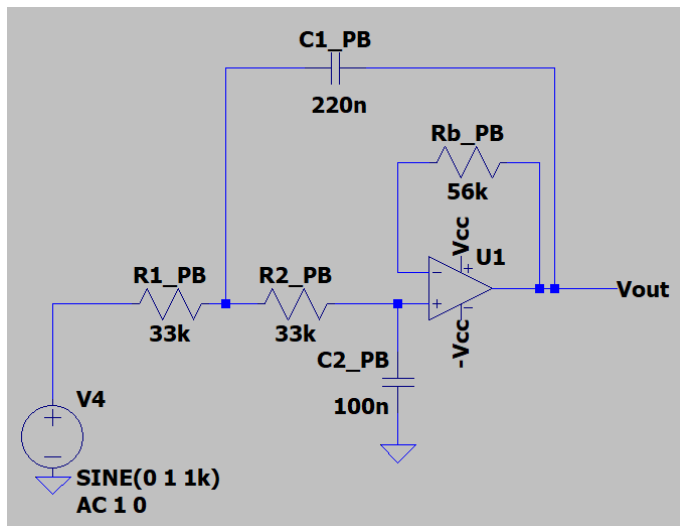
Valor resistencia R : k Ω

Valor resistencia Ra: k Ω

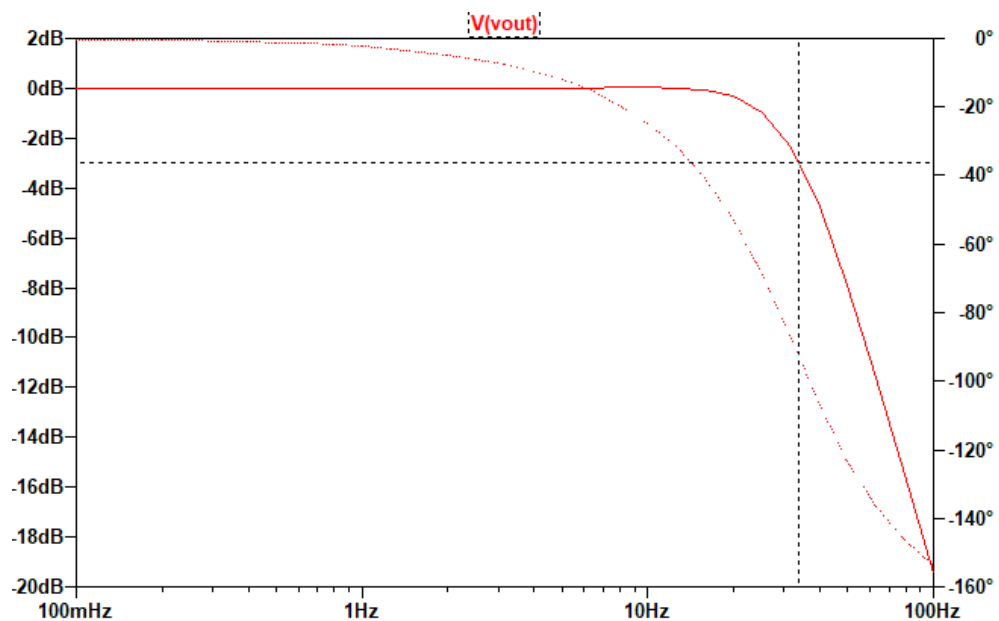
Valor resistencia Rb: k Ω

Valor condensador C2: nF

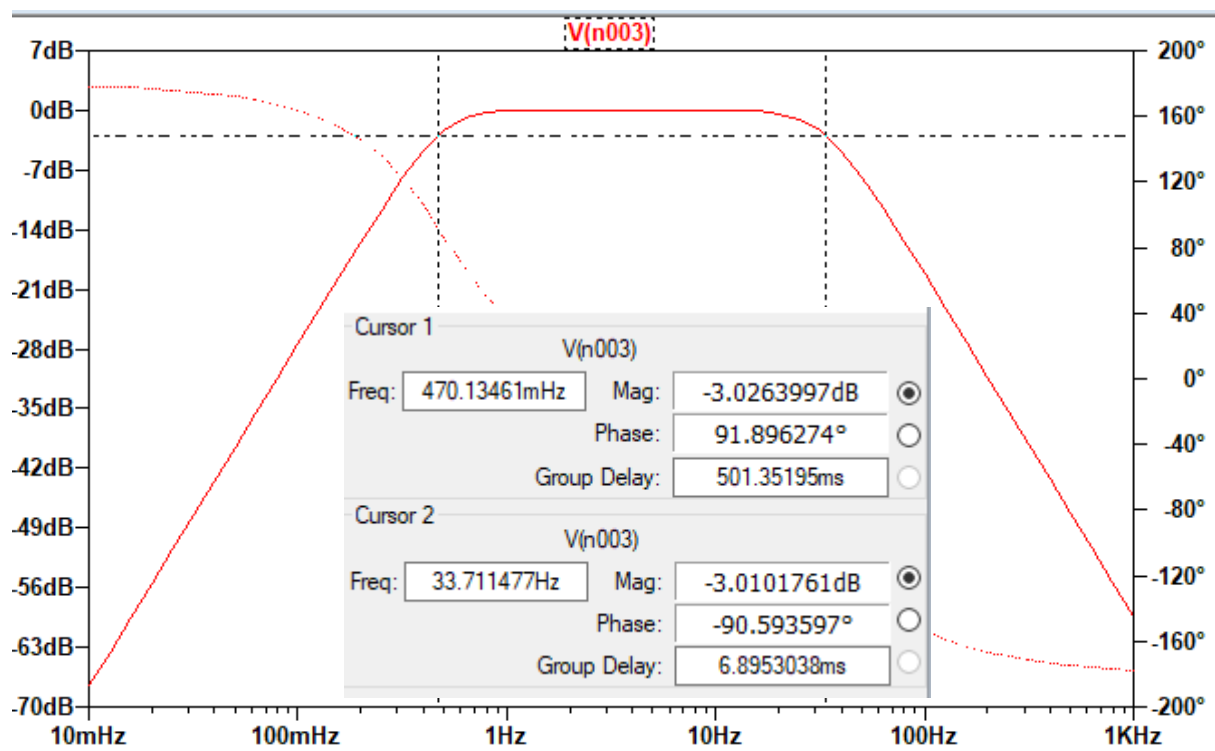
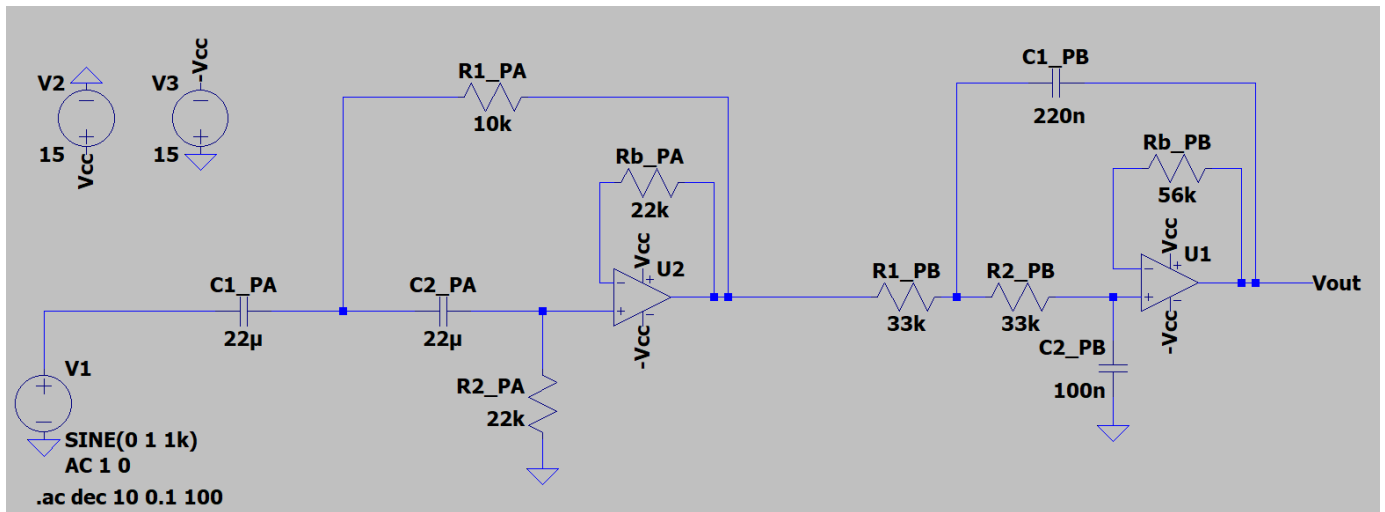
Y el circuito y simulación en LTSpice se ven como:



Cursor 1		V(vout)	
Freq:	<input type="text" value="33.648447Hz"/>	Mag:	<input type="text" value="-3.0001701dB"/>
		Phase:	<input type="text" value="-92.802589°"/>
		Group Delay:	<input type="text" value="6.9027499ms"/>



- c) Utilizando los dos diseños anteriores, diseñe un filtro paso banda (FPA+FPB) y haga la simulación correspondiente con LTSPICE. Dibuje el diagrama de Bode del filtro FPBanda e indique expresamente los valores obtenidos en la simulación para la frecuencia de corte alta y baja.



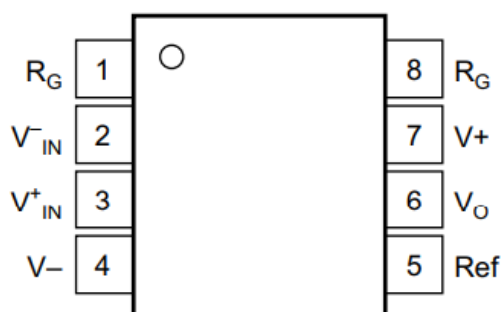
Las frecuencias de corte son 0.47Hz (-3.03dB) y 33.71Hz (-3.01dB).

3. Etapa de amplificación.

3.1. Dibuje el esquema de las patillas del encapsulado DIP de 8 pines del INA126P/INA122P que son los amplificadores de instrumentación utilizados en esta etapa y complete la tabla que se adjunta con algunas de sus características típicas más relevantes.

Referencia	TIPO	Alimentación	Entrada		CMR (dB)	Salida	$R_{REF} (\Omega)$	Ganancia
			$V_{CM} (V)$	$R_{IN} (\Omega)$		V_{OS}		
INA126P	AI	Single supply: 2.7 a 36 V	$\pm 11.5V$	$1G\Omega$	94	$[(V-)+0.8 : (V+)-0.75] V$	$<8 \Omega$	$[5:10000] V/V$
		Dual Supply: ± 1.35 a $\pm 18 V$						
INA122P	AI	Single supply: 2.2 a 36 V	$[0:3.4] V$	$10G\Omega$	96	$[(V-)+0.1 : (V+)-0.05] V$	$<10 \Omega$	$[5:10000] V/V$
		Dual Supply: $-0.9/+1.3V$ a $\pm 18V$						

El encapsulado DIP y los pines para los INA122P/126P son idénticos:



3.2. Observe que el encapsulado (pinout) de ambos AI es el mismo y a su vez también coincide con el encapsulado del INA114 visto en el epígrafe 1.1. A la vista de las tablas solicitadas en los epígrafes 1.1 y 3.1, señale las principales características que diferencian al INA 114 de los dos últimos con respecto al diseño de la práctica para usarlo como el AI para la etapa de preamplificación.

Referencia	TIPO	Alimentación	Entrada		CMR (dB)	Salida	$R_{REF} (\Omega)$	Ganancia
			$V_{CM} (V)$	$R_{IN} (\Omega)$		V_{OS}		
INA126P	AI	Single supply: 2.7 a 36 V	$\pm 11.5V$	$1G\Omega$	94	$[(V-)+0.8 : (V+)-0.75] V$	Baja	$[5:10000] V/V$
		Dual Supply: ± 1.35 a $\pm 18 V$						
INA122P	AI	Single supply: 2.2 a 36 V	$[0:3.4] V$	$10G\Omega$	96	$[(V-)+0.1 : (V+)-0.05] V$	Baja	$[5:10000] V/V$
		Dual Supply: $-0.9/+1.3V$ a $\pm 18V$						
INA114BP	AI	Single supply: 4.5 a 36 V	$\pm 10V$	$100 G\Omega$	115 (G=10)	$(V-) +1.5$ a $(V+)-1.5$	Baja	$[1:10000]V/V$
		Dual supply: ± 2.25 a $\pm 18 V$						

La principal característica del INA114BP con respecto a los otros dos amplificadores de instrumentación es que este tiene un mayor CMR, a su vez, aunque no lo presente en la tabla, es el que menor RTI presenta de entre los 3 ($114BP=10+20/G(10)=12\mu V$, $122P=100\mu V$ y $126P=100\mu V$), lo que implica que no aumentaría el error tanto como si pusiéramos el 122 y después el 114:

Amplificador 1	Entrada (RTI AI)	Etapas 1: G=10	Salida (RTO)	Amplificador 2	Entrada (RTO anterior + RTI AI)	Etapas 2: G=50	Salida final de offset
INA114	10 + 20/G μ V	x10	120 μ V	INA122/126	120 μ V + 100 μ V	x100	22mV ✓
INA122/126	100 μ V	x10	1000 μ V	INA114	1000 μ V + 10 + 20/G μ V	x100	101.02mV ✗

3.3. Diseñe una etapa de amplificación diferencial con la ganancia que considere adecuada, utilizando un amplificador de instrumentación modelo INA126/INA122.

3.4. Para calcular y definir la ganancia de esta etapa, considere que la señal diferencial recogida por los electrodos previa a la etapa de preamplificación puede estar en el rango de ±2mV y la señal a la entrada del ADC no debería alcanzar como máximo el valor de +4 V.

3.5. Tenga previsto en el diseño de esta etapa la necesidad de elevar la señal de salida un valor cercano a +2V para eliminar, de cara a su digitalización, cualquier componente negativo de la señal ECG a la salida del sistema.

Asumiendo que la entrada a la etapa de preamplificación es ±2mV y que esta etapa tiene G=10, a la salida del filtro y a la entrada de la etapa de amplificación tendríamos ±20mV, si luego queremos que luego vaya de [0:4] V hay que amplificar de ±20mV a ±2V y luego añadir un offset de 2 V.

$$G = \frac{2}{0.02} = 100$$

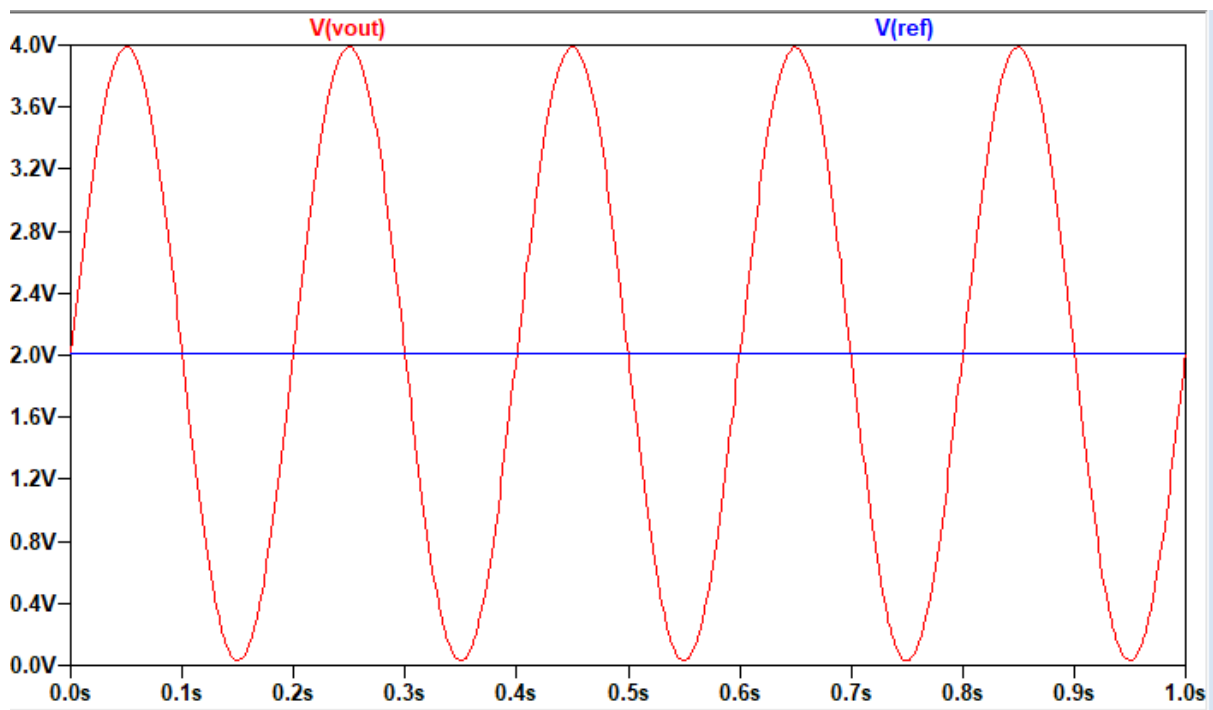
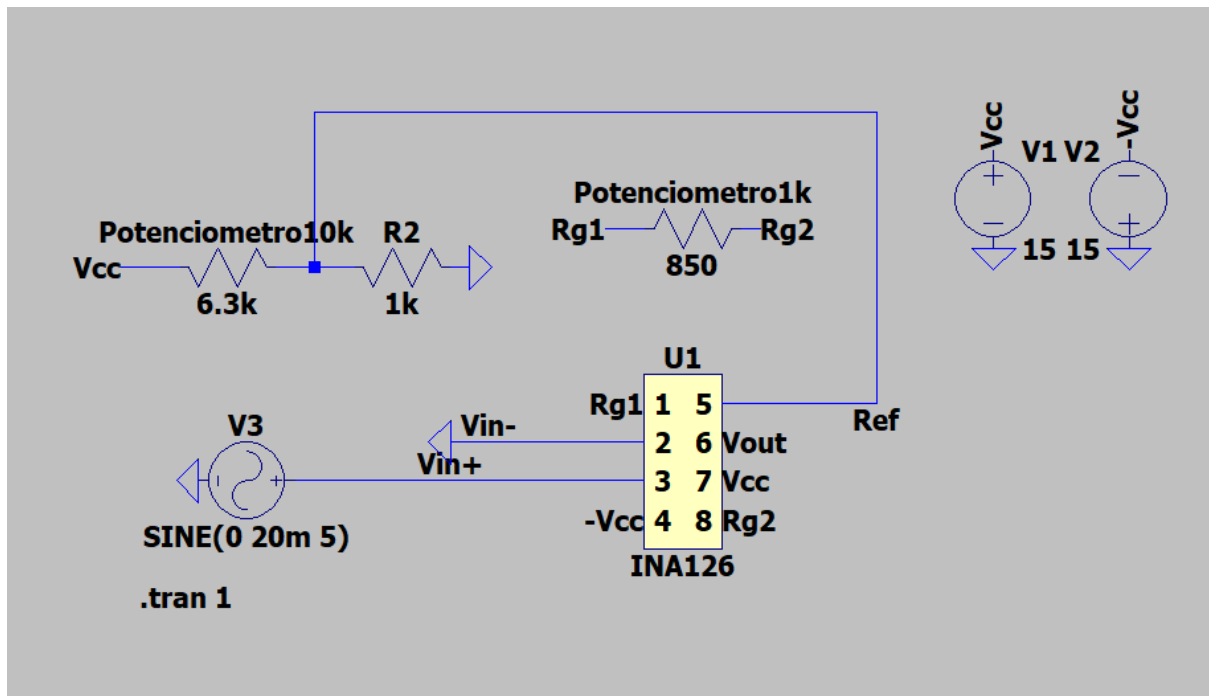
En función del INA, su Rg será diferente:

INA122P: $100 = 5 + \frac{200k}{Rg} \rightarrow Rg = 2.1k\Omega$ Aproximando a valores del laboratorio: Rg= 2.2k Ω

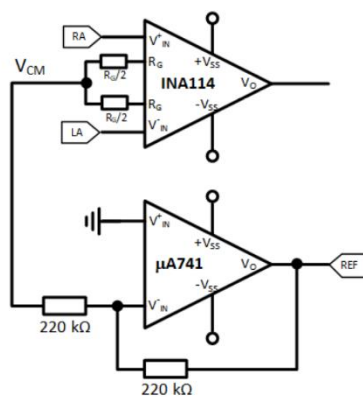
INA126P: $100 = 5 + \frac{80k}{Rg} \rightarrow Rg = 0.84k\Omega \rightarrow Rg=820\Omega$ (Sería una G>100, cuidado al implementarlo por si supera el umbral de 4V o se queda por debajo de 0V → Solución: usar un **potenciómetro de 1k Ω** y aumentar ligeramente el valor de 820 Ω . Si ponemos directamente una resistencia de 1k pasaríamos a tener G=85, demasiada pérdida).

A su vez, para el Voltaje de offset, podríamos usar tanto el pin Vin- como el de Ref. En Vin- necesitaríamos aplicar un voltaje de -20mV. Considerando que tenemos una pila de -15V ese divisor de tensión necesitaría usar resistencias de ordenes de magnitud cercanas a cientos de k Ω .

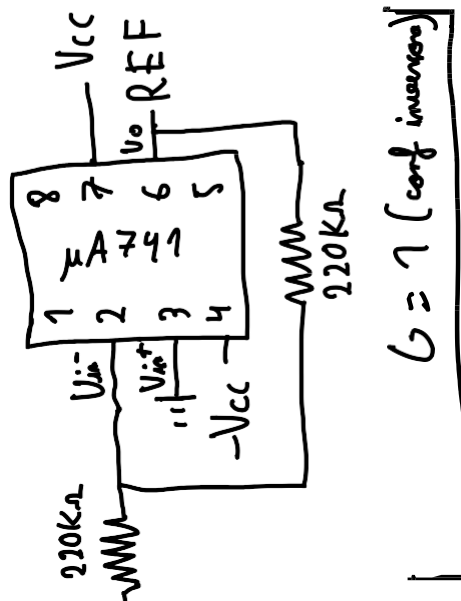
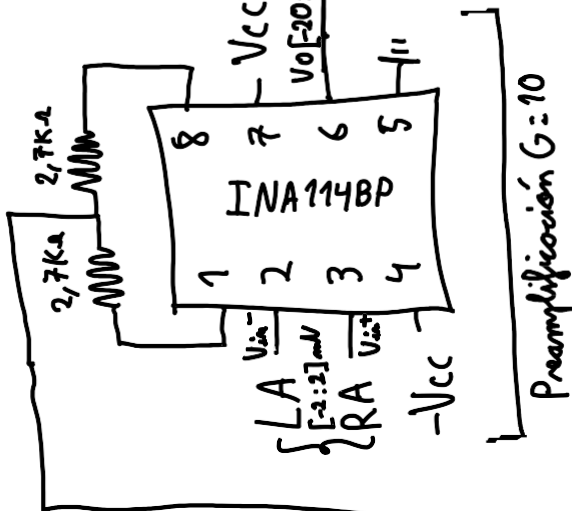
A pesar de que en el pin de Ref, según los datasheets debe tener una impedancia de entrada pequeña (a partir de 8 Ω el CMR disminuye a 80dB en el caso del INA126P), vamos a usar este pin junto con un **potenciómetro de 10k Ω** para meter un voltaje cercano a 2V y así poder subir la tensión a la salida del amplificador.



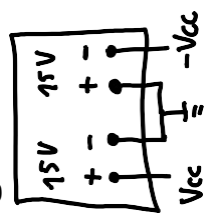
4. Circuito de referencia.



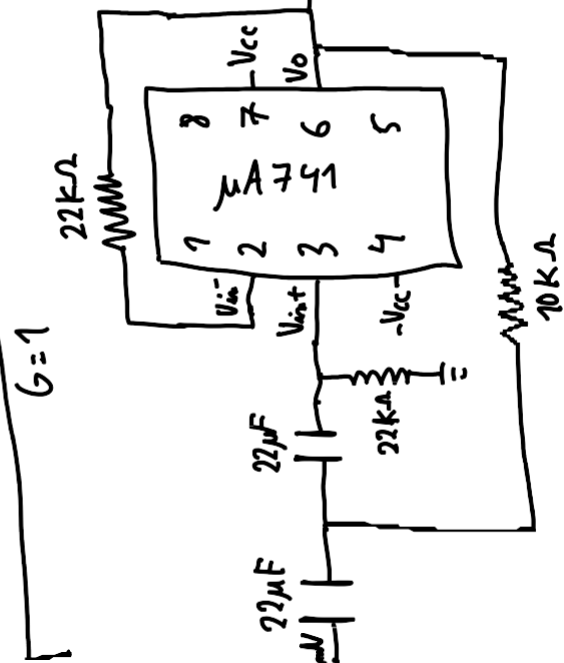
$R_g = 5,6 \text{ k}\Omega \rightarrow G = 10$



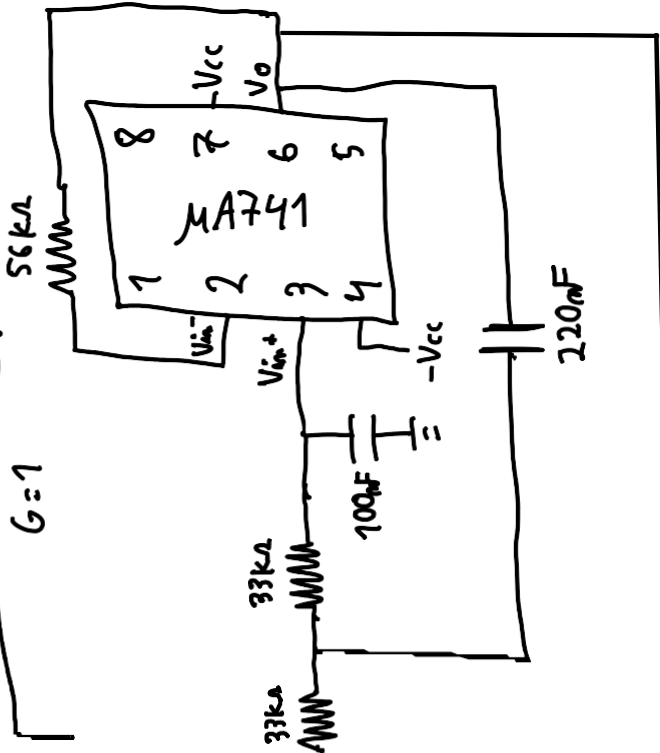
Circuito de Referencia



Filtro Paso Alto $f_c = 471 \text{ mHz}$



Filtro Paso Bajas $f_c = 33,7 \text{ Hz}$



$R_g = 250 \Omega \rightarrow G = 99$ (con INA122P)
 $R_g = 2,2 \text{ k}\Omega$
 $G = 95,9$

