

Capítulo 1

Medidor de Presión

Utilizando un sensor de presión *MDX2010DP* se diseñó e implementó en PCB un circuito un medidor de presión utilizando un amplificador de instrumentación que cumpla con las especificaciones de la Tabla 1.1, alimentado por una única fuente de tensión.

Característica	Símbolo	Min	Máx	Unidades
Tensión de salida mínima	V_{min}	0	0	V
Tensión de salida máxima	V_{max}	3.1	3.3	V
Tensión de alimentación	V_{DC}	10	15	V

Cuadro 1.1: Especificaciones para el diseño del Medidor de Presión

1.1. Diseño

1.1.1. Sensor de Presión

A partir de la hoja de datos del MPX2010DP, se tomó en cuenta la información en la Tabla 1.2 para el diseño del medidor de presión.

Característica	Símbolo	Min	Typ	Máx	Unidades
Rango de Presión	P_{OP}	0	-	10	V
Tensión de alimentación	V_{DC}	0	10	16	V
Tope de Escala	V_{FSS}	24	25	26	mV
Sensibilidad	$\Delta V/\Delta P$	-	2.5	-	mV/kPa

Cuadro 1.2: Especificaciones del Sensor de Presión

1.1.2. Amplificador de Instrumentación

Para el Amplificador de Instrumentación (A.I.) se utilizó el diseño de dos amplificadores operacionales ilustrado en la Figura 1.1. Es posible calcular la ganancia del circuito completo observando

que el primer bloque del A.I. se trata de un circuito amplificador no inversor, por lo que su ganancia estará dada por la expresión (1.1) donde a_1 es la ganancia a lazo abierto del amplificador operacional U1 y v'_o es su tensión de salida.

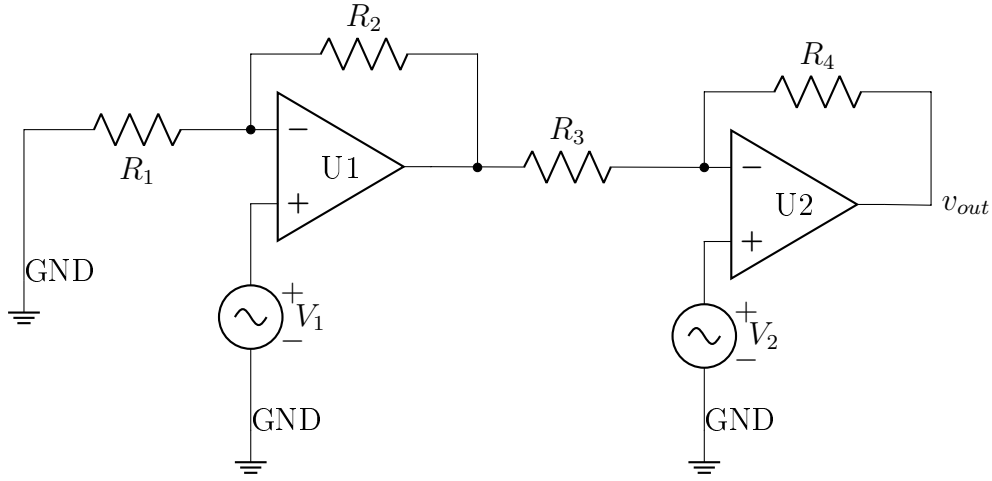


Figura 1.1: Amplificador de Instrumentación

$$A_1 = \frac{v'_o}{V_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1+R_2/R_1}{a_1}} \quad (1.1)$$

Por otro lado, en la segunda sección del A.I. la salida del amplificador operacional U2 puede calcularse aplicando el principio de superposición entre la tensión v'_o y V_2 :

$$v_{out} = V_2 \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1+R_4/R_3}{a_2}} + v'_o \cdot \left(-\frac{R_4}{R_3}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1+R_4/R_3}{a_2}} \quad (1.2)$$

Operando con las expresiones (1.1) y (1.2) se obtiene para la tensión de salida del A.I.

$$v_{out} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1+R_4/R_3}{a_2}} \cdot \left[V_2 - V_1 \cdot \frac{1 + R_2/R_1}{1 + R_3/R_4} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1+R_4/R_3}{a_1}} \right] \quad (1.3)$$

Finalmente, considerando que los amplificadores operacionales tienen una ganancia infinita ($a_1 \cap a_2 \rightarrow \infty$) se obtiene la expresión simplificada

$$v_{out} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot \left[V_2 - V_1 \cdot \frac{1 + R_2/R_1}{1 + R_3/R_4} \right] \quad (1.4)$$

A partir de la expresión (1.4) se observa que el A.I. se encuentra balanceado cuando se cumple la condición

$$1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4} \quad (1.5)$$

Tomando la expresión (1.4) se pueden calcular las ganancias a modo común (A_{CM}) y a modo diferencial (A_{DM})

$$A_{CM} = 1 - \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (1.6)$$

$$A_{DM} = \frac{R_4}{R_3} + \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (1.7)$$

Cuando se cumple la condición de balance descrita en (1.5) se obtiene que idealmente $A_{CM_B} = 0$ y $A_{DM_B} = 1 + R_4/R_3$.

$$CMRR = 10 \log \left(\frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right) \quad (1.8)$$

1.1.3. Selección de Componentes

Tomando en cuenta los datos de las Tablas 1.1 y 1.2, se busca que A_{DM_B} esté típicamente dada por la expresión (1.9). Además, se buscó que se cumpla la condición de balance del A.I. y por lo tanto se tomaron $R_1 = R_4$ y $R_3 = R_2$.

$$1 + \frac{R_4}{R_3} = \frac{3.2 \text{ V}}{25 \text{ mV}} = 128 \Rightarrow R_4 = 127 R_3 \quad (1.9)$$

Resistencia	Valor	Tolerancia
R_1	1,5M Ω + 22k Ω	5 %
R_2	12k Ω	5 %
R_3	12k Ω	1 %
R_4	1,5M Ω + 22k Ω	1 %

Cuadro 1.3: Valores de las resistencias

Las tolerancias fueron seleccionadas por motivos analizados más adelante.

Además, como amplificador operacional se utilizó el *LM833* dado que contiene dos amplificadores operacionales dentro del mismo circuito integrado. Esto permite asumir que ambos *opamps* tienen los mismos parámetros de operación: una impedancia de entrada extremadamente alta, ganancia de tensión iguales en ambos, etc.

1.2. Simulación

Con los componentes seleccionados en la Tabla 1.3 se construyó el circuito en *LTspice XVII* de modo que se puedan simular por separado las ganancias en modo común y en modo diferencial como se ilustra en las Figuras 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5.

Se observa en los resultados del análisis de Montecarlo en las Figuras 1.7 y 1.9 que la tensión de salida del Modo Común no excede en módulo los 30mV y la tensión de salida del Modo Diferencial se encuentra dentro del rango de tensiones de salida buscadas.

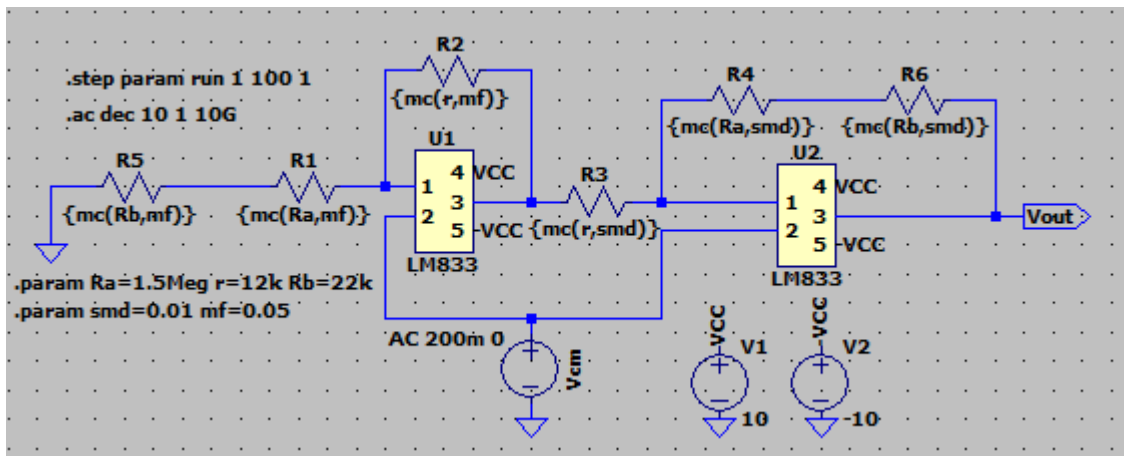


Figura 1.2: Esquemático de la simulación en Modo Común en CA

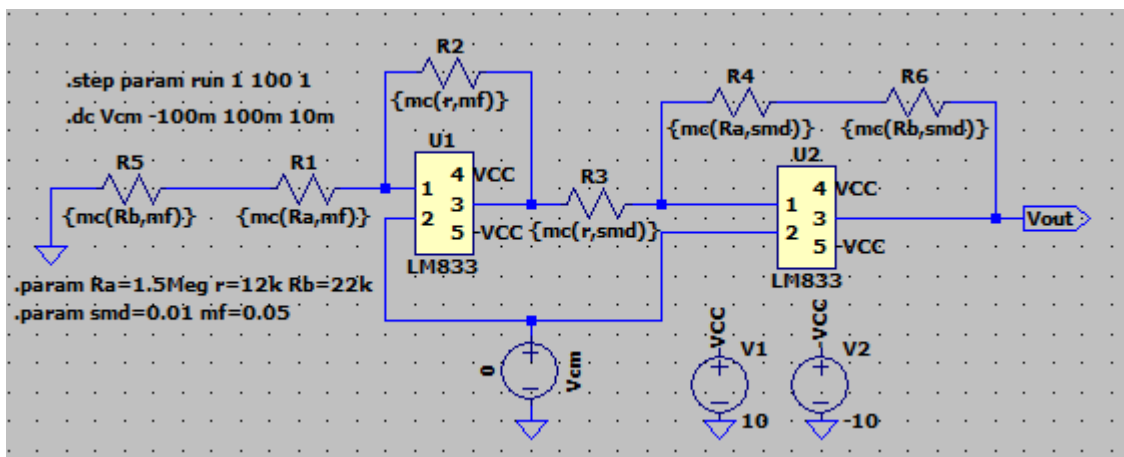


Figura 1.3: Esquemático de la simulación en Modo Común en CC

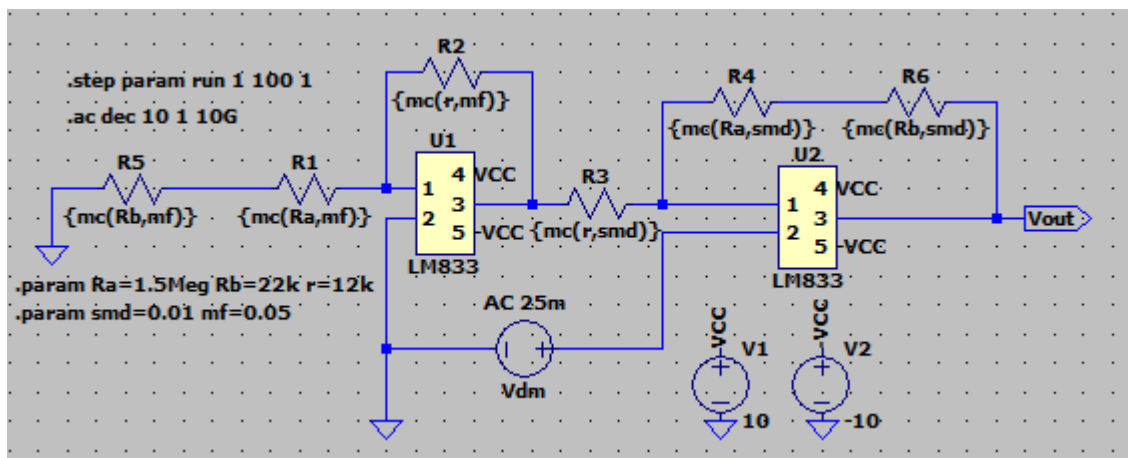


Figura 1.4: Esquemático de la simulación en Modo Diferencial en CA

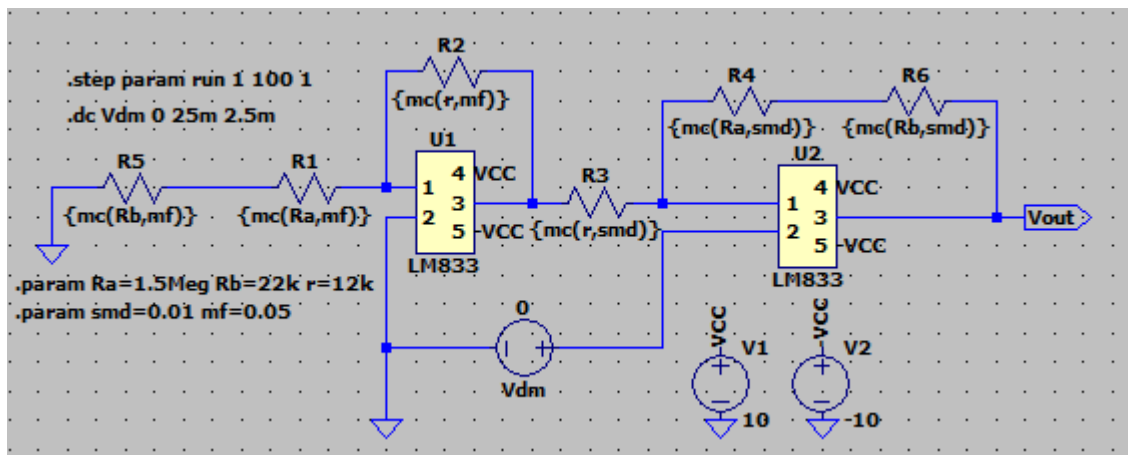


Figura 1.5: Esquemático de la simulación en Modo Diferencial en CC

1.3. Construcción del PCB

1.4. Mediciones

1.4.1. Método

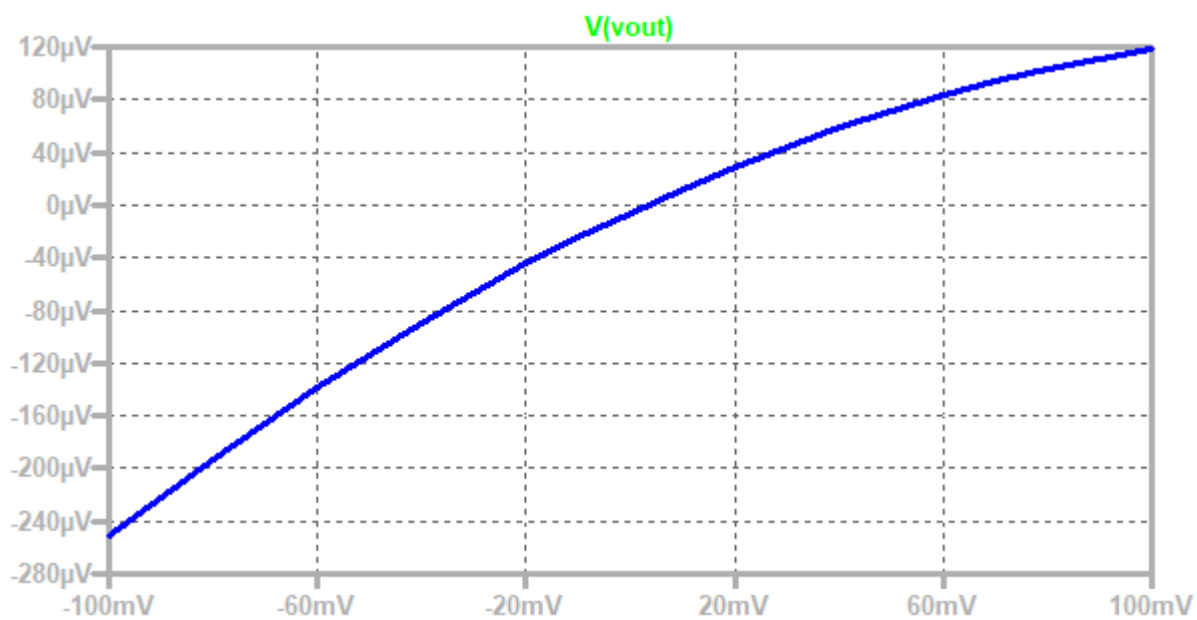


Figura 1.6: Resultado de la simulación en Modo Común en CC

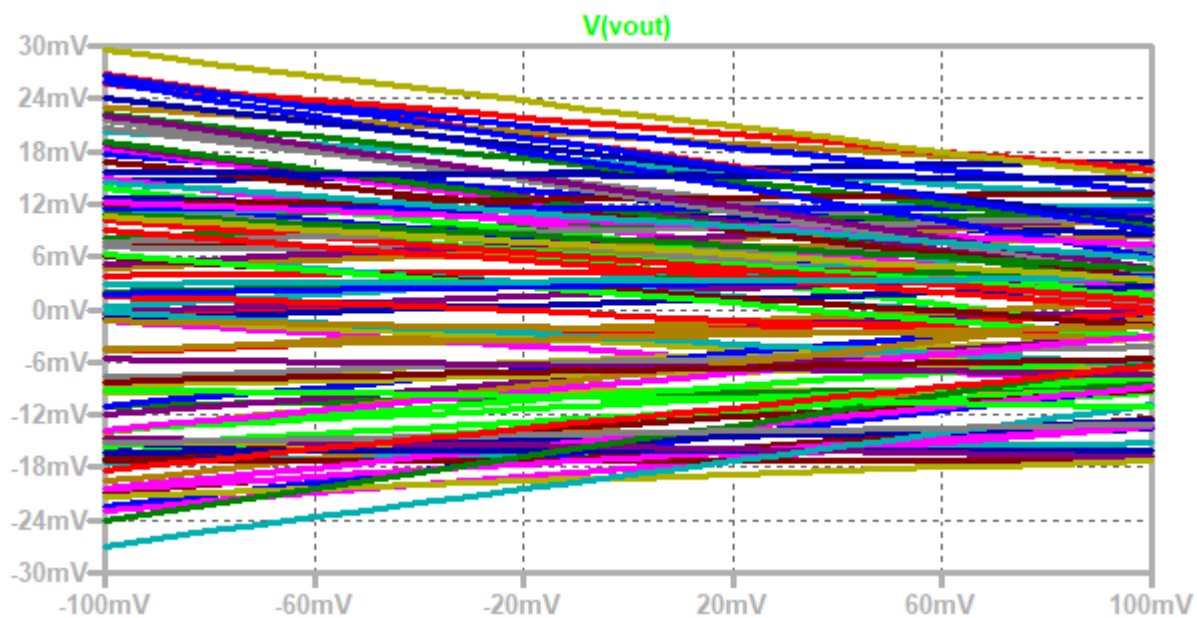


Figura 1.7: Resultado del Análisis de Montecarlo en Modo Común en CC

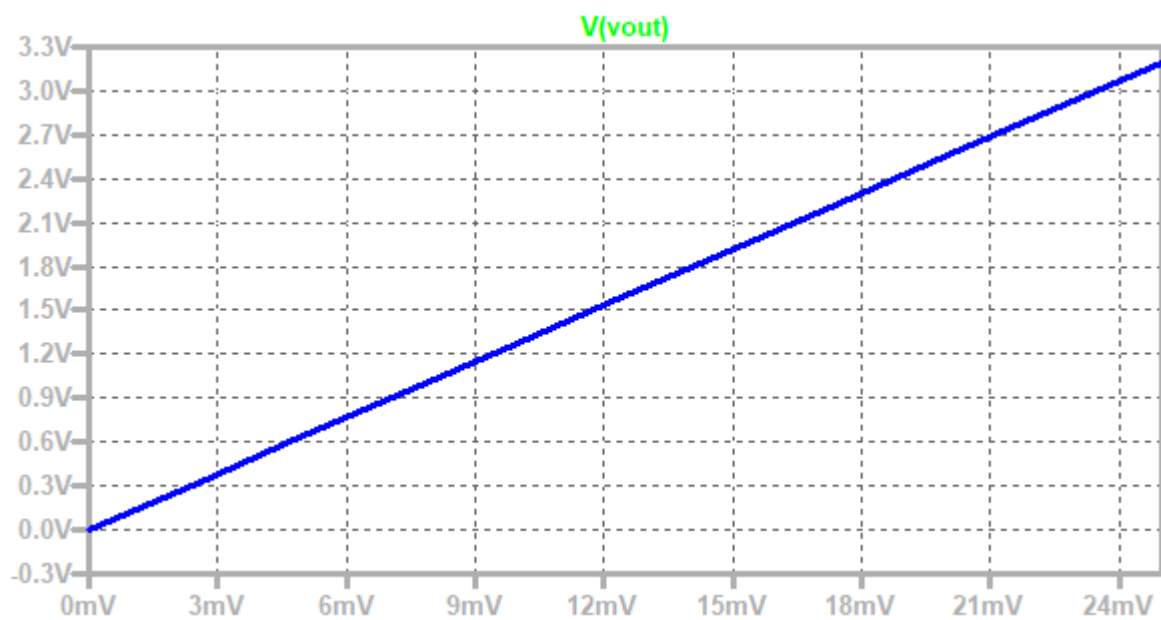


Figura 1.8: Resultado de la simulación en Modo Diferencial en CC

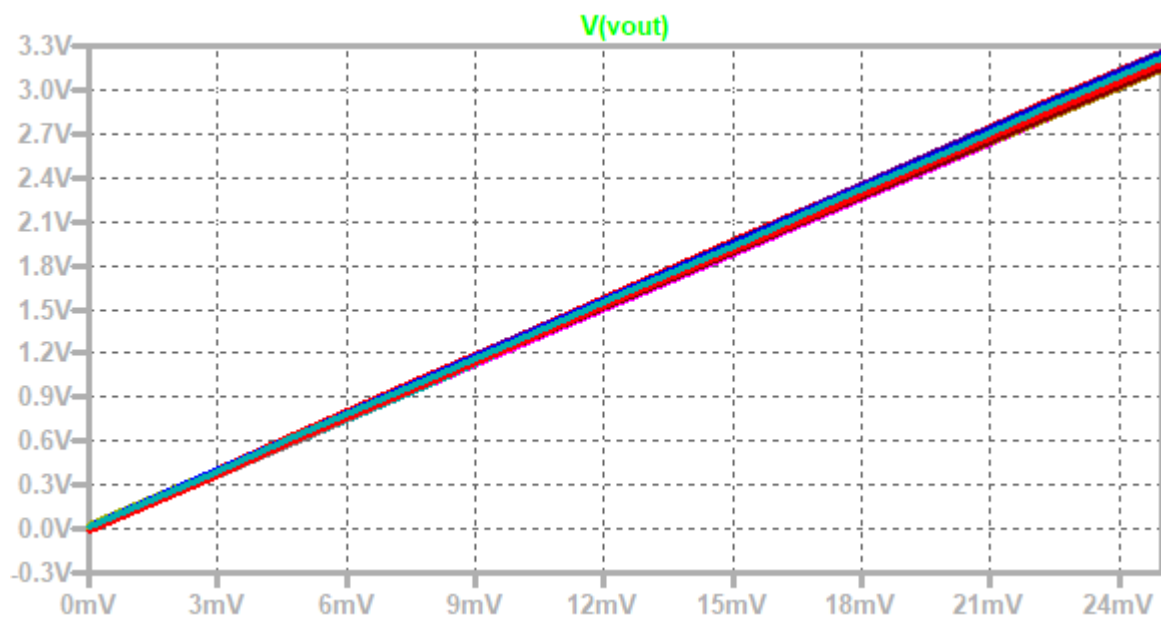


Figura 1.9: Resultado del Análisis de Montecarlo en Modo Diferencial en CC

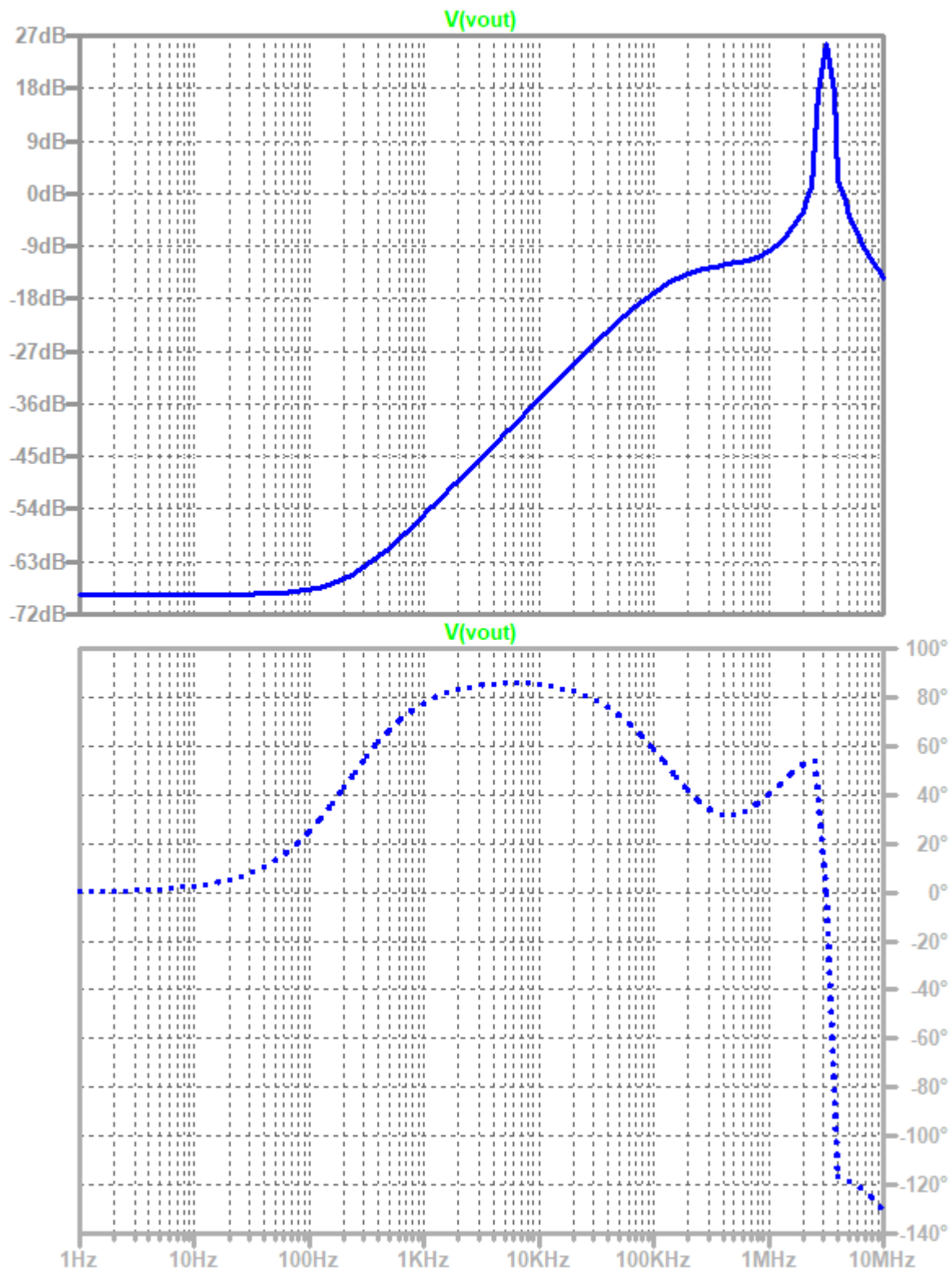


Figura 1.10: Resultado de la simulación en Modo Común en AC

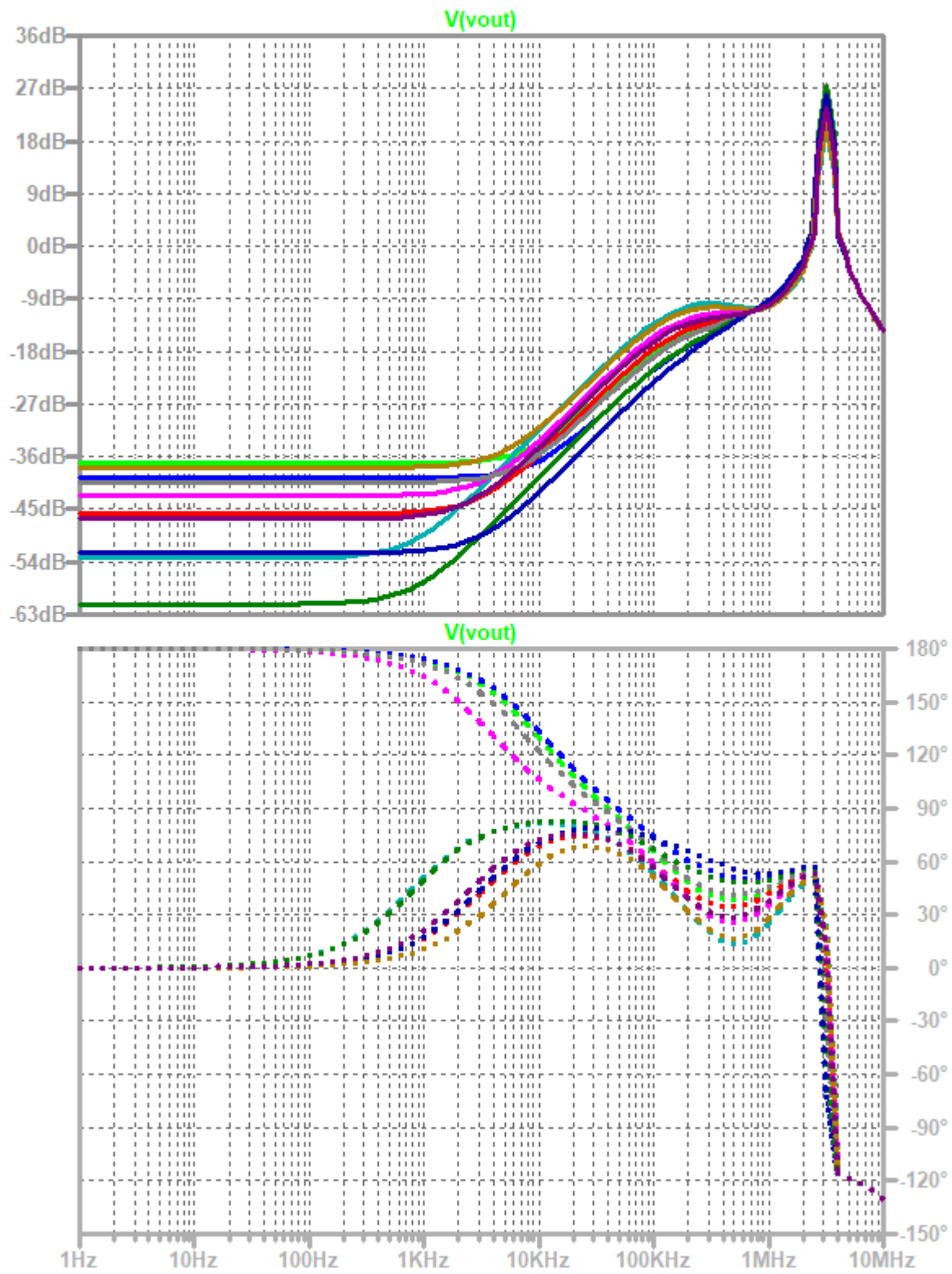


Figura 1.11: Resultado del Análisis de Montecarlo en Modo Común en AC

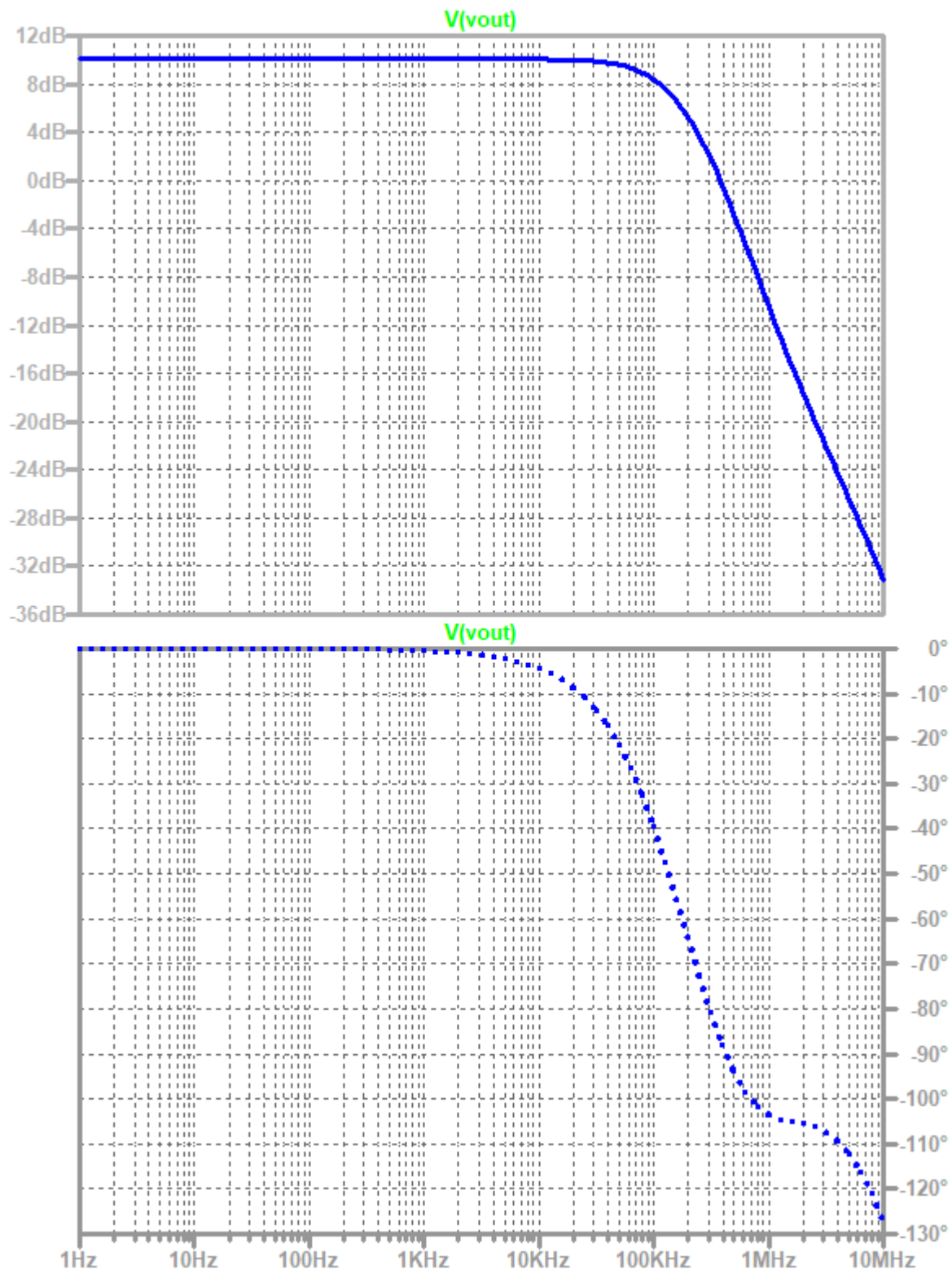


Figura 1.12: Resultado de la simulación en Modo Diferencial en AC

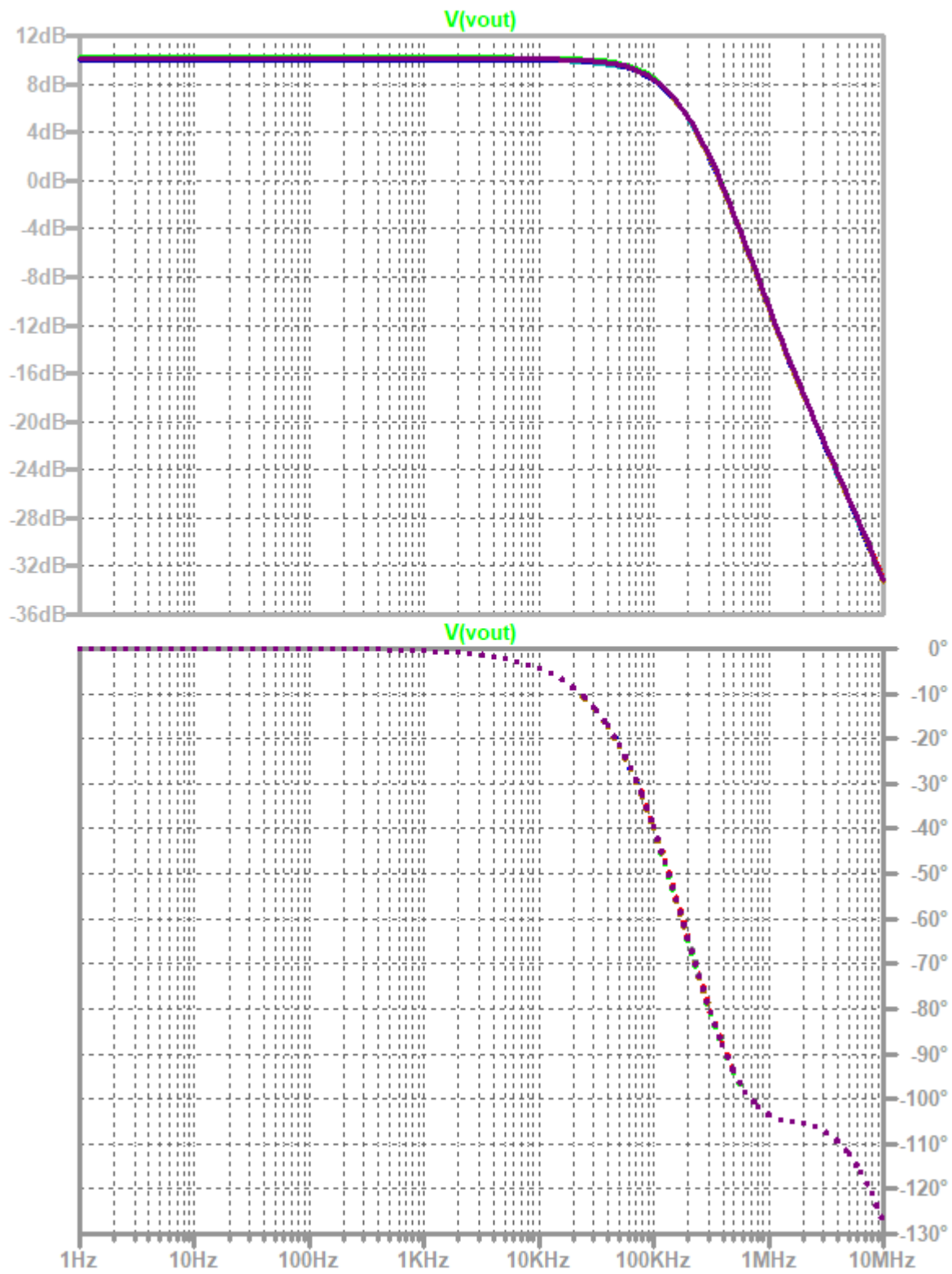


Figura 1.13: Resultado del Análisis de Montecarlo en Modo Diferencial en AC

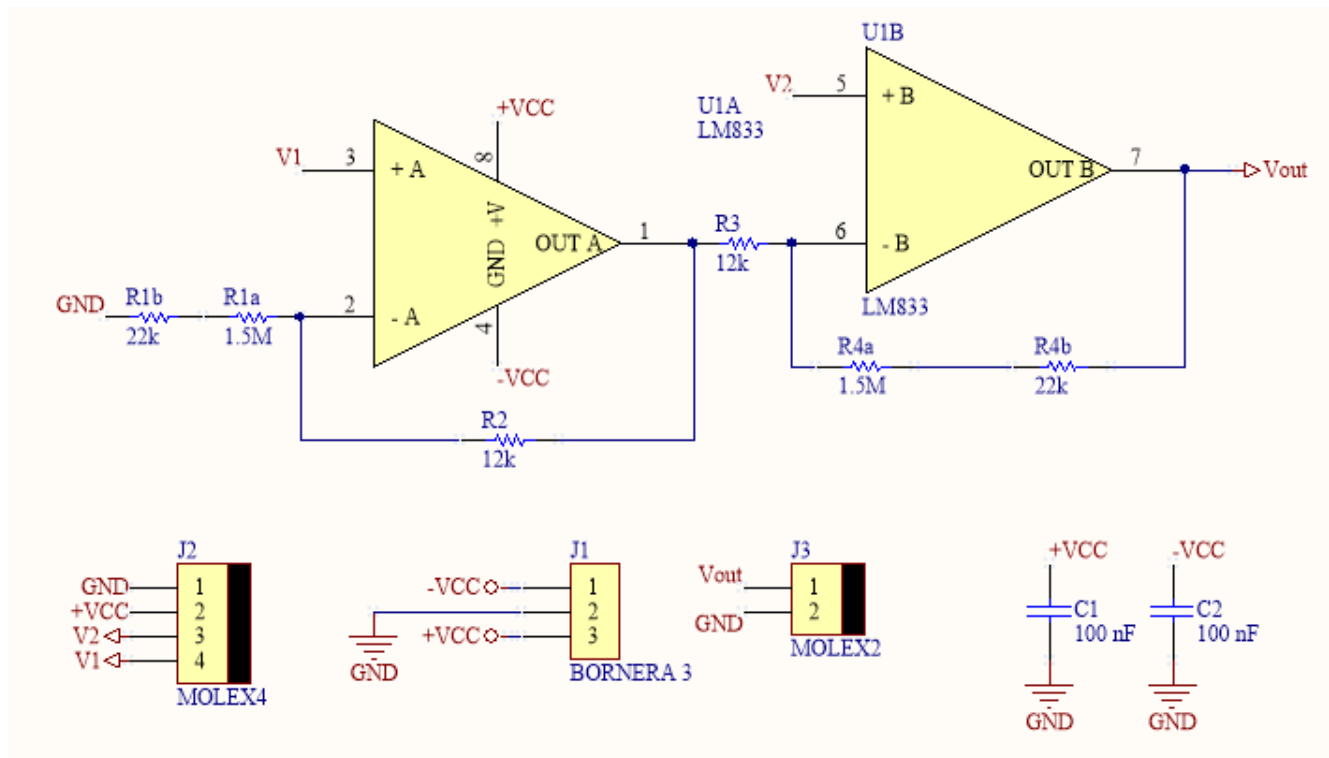


Figura 1.14: Esquemático del Amplificador de Instrumentación

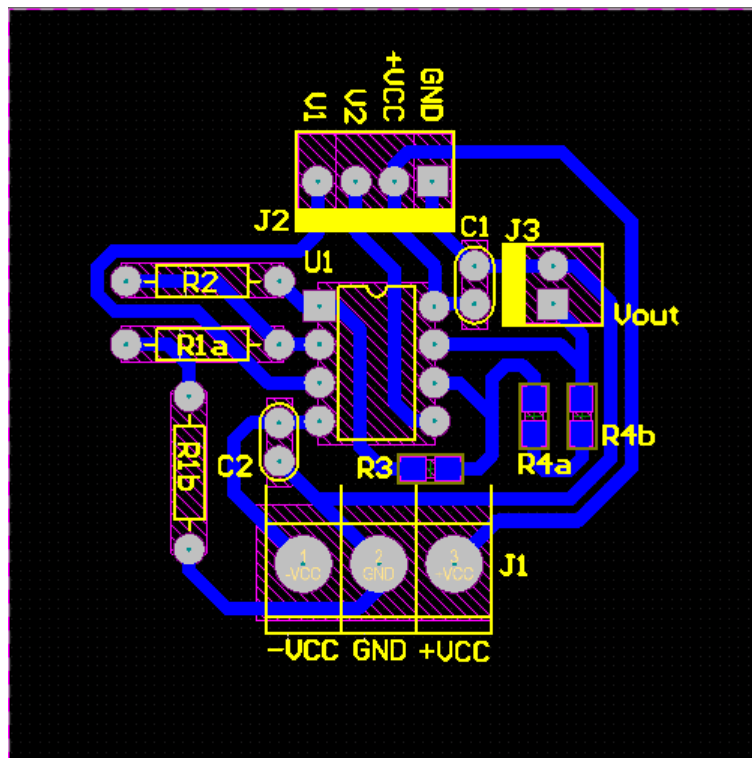


Figura 1.15: Routeado del PCB del Amplificador de Instrumentación