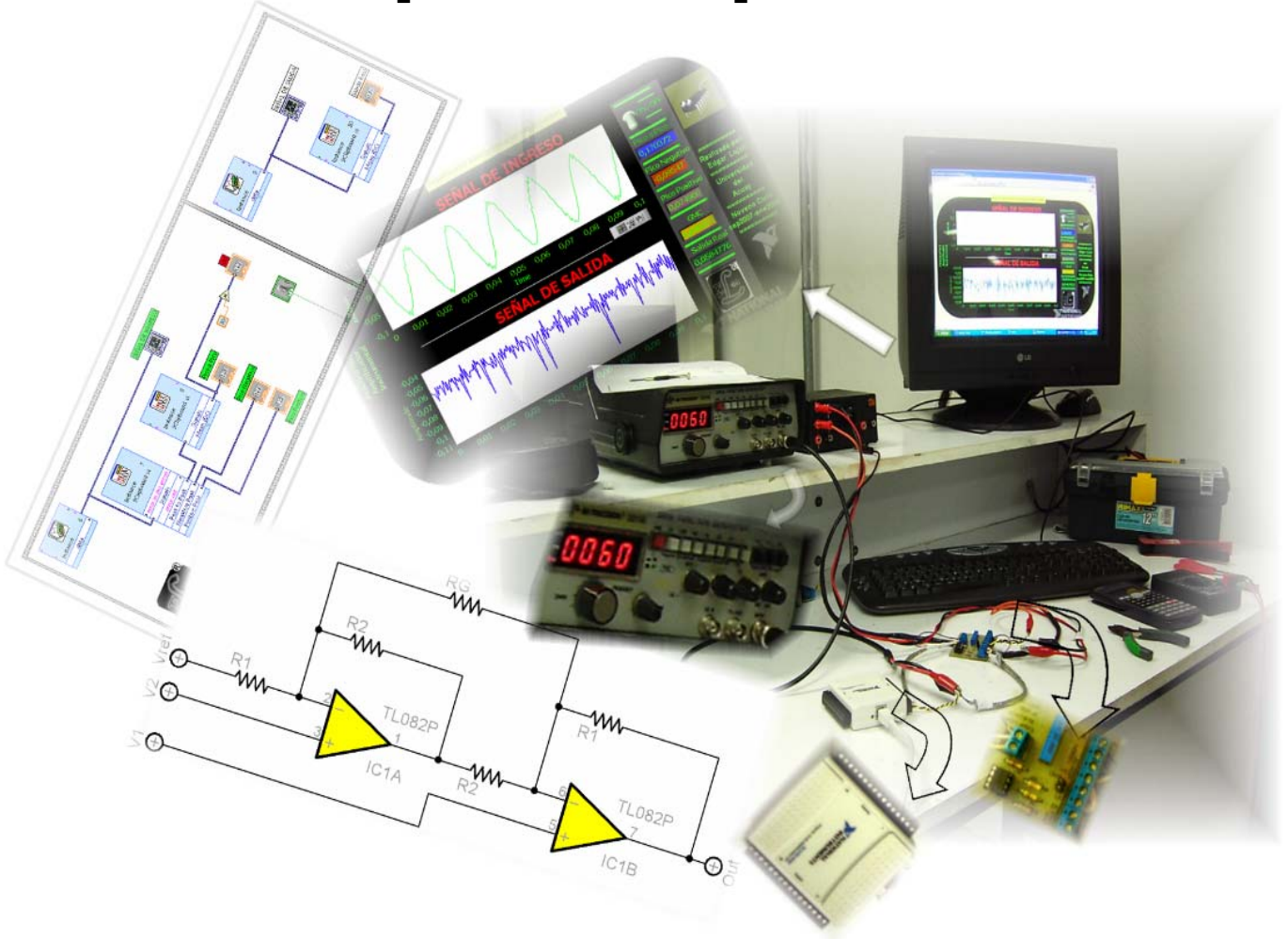
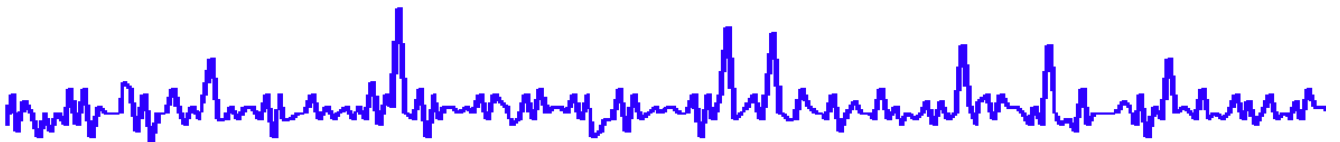


"Amplificadores Instrumentales"

Estudio de un Amplificador Instrumental
De 2 Amplificadores Operacionales.



Por: Edgar Loján



Ésta página fu dejada en blanco a propósito.

“Amplificadores Instrumentales”

Estudio de un Amplificador Instrumental de 2 Amplificadores Operacionales

*Por:
Edgar Lojan*

Índice

Amplificadores Instrumentales.....	
Estudio de un Amplificador Instrumental de 2 opamps.....	
Abstract	1
Introducción	1
Sistemas Diferenciales ó Flotantes	1
Factor de rechazo de “Modo Común”	2
Modo Común.	2
Factor de rechazo al Modo Común.	2
Diseño del Amplificador Instrumental de Dos Opamps.	3
Simulación y Medición de parámetros:	3
Circuito esquemático para la simulación en	
Modo Diferencial	4
Circuito esquemático para la simulación en	
Modo Común	4
Ondas y valores obtenidos de la simulación en	
Modo Diferencial.	4
Ondas y valores obtenidos de la simulación en	
Modo Común.	5
Cálculos de la Ganancia Diferencial, ganancia de	
Modo Común y del CMRR con los valores	
obtenidos de la simulación.	5
Montaje y Medición Práctica	6
Cálculos de la Ganancia Diferencial,	
Ganancia de Modo Común y del CMRR	
con los valores obtenidos de la práctica.	6
Mediciones	7
Análisis de los resultados prácticos y simulados (Conclusiones).	8
Bibliografía	8

Ésta página fu dejada en blanco a propósito.

“AMPLIFICADORES INSTRUMENTALES”

Estudio de un Amplificador Instrumental de 2 opamps.

Abstract:

This article deals about the study of an Instrumentation Amplifier (in-amps) of two operational amplifiers.

This study include three steps, the first step is the calculation of the gain and the resistors values for its later design. The second step is the simulation that was developed in **PROTEL 99 SE**®, and the third step is the development of a virtual instrument (VI), using the graphical programming language **LabView 7.1 Student Version**™, for the measuring of the necessary parameters. With these steps a contrast of results will be made.

By: Edgar Lojan;
Mail: fernandy2k@hotmail.com

Introducción

En muchas ocasiones los circuitos analógicos se precisan para medir señales muy débiles y para resolver éste problema se utiliza el amplificador diferencial, el cual amplifica la diferencia de dos señales con una ganancia, relativamente, elevada y también tiene la propiedad de rechazar ó atenuar la señal que es común en ambas entradas.

En este presente artículo se va a realizar un estudio de un amplificador instrumental (in-amps) de dos amplificadores operacionales (opamps). Primero se tendrá que realizar un cálculo para obtener la ganancia que se desee, en este caso 30, y los valores de los resistores necesarios para obtener dicha ganancia. Se procederá a realizar la simulación y medidas usando PROTEL 99 SE®. Después de esto se medirá la señal real utilizando un **Instrumento Virtual**, desarrollado en **LabView 7.1 Student Version**™. Al final se realizará un contraste de los resultados obtenidos de la simulación y de las mediciones prácticas.

Sistemas Diferenciales ó Flotantes.

Un sistema diferencial amplifica la resta de dos señales, por ejemplo si se tiene la señal S1 y S2, como en el caso de la **figura 1**, se obtendrá el siguiente voltaje de salida:

$$V_{OUT} = G(S_1 - S_2)$$

Ec1.- Ecuación de salida para un sistema diferencial.

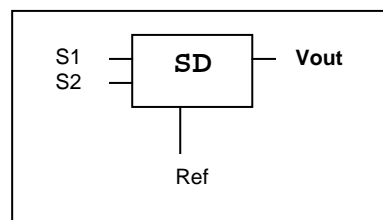


Figura 1.- Representación de un sistema diferencial.

Las **ventajas** que se obtiene al utilizar este tipo de sistema son:

- ☑ Rechazar al “ruido analógico” presente en las entradas del sistema, lo que quiere decir que si en las entradas de un sistema diferencial existe presencia de ruido, la salida neta ($V_{out_{RUIDO}}$) es idealmente cero.
- ☑ Interconexión directa de Fuentes Flotantes.

Factor de rechazo de “Modo Común”

Modo Común

Se dice que un sistema diferencial se conecta en modo común cuando sus entradas (S1 y S2) están al mismo potencial, ó en presencia de ruido analógico (ver **figura 3**).

Factor de rechazo al Modo Común.

Más conocido como CMRR “Common Mode Rejection Ratio”, mide la tendencia de rechazo de la señal común a las entradas de S1 y S2. Idealmente la salida del amplificador diferencial sería 0 ($V_{out}=0$), pero en la práctica la salida del amplificador diferencial es casi cero, $V_{out}\approx 0$.

Las causas para que se produzca ésta diferencia, es la **asimetría** del sistema diferencial. Como se ilustra en la **figura 2**, modelando el sistema diferencial se tiene que las resistencias ZMC del pin (+), es diferente de la resistencia ZMC del pin (-), lo que produce que haya diferentes caídas de tensión provocando que la salida sea diferente de cero.

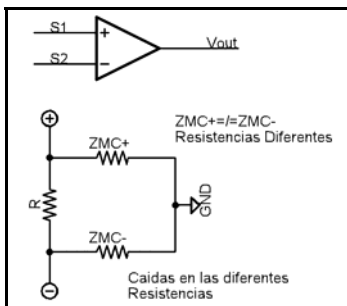


Figura 2.- Modelado del sistema diferencial.

El CMRR se define matemáticamente como:

$$CMRR = Gd \left(\frac{V_{MC}}{V_{out}} \right)$$

Ec2.- Definición matemática del CMRR.

Donde:

Gd → Ganancia Diferencial: es el factor de amplificación del sistema diferencial cuando $S1 \neq S2$.

$$Gd = \frac{V_{out}}{S_1 - S_2}$$

Ec3.- Ganancia diferencial.

Normalmente éste valor es un número grande, porque S1 y S2 son pequeños.

V_{MC} es el voltaje en modo común presente en las entradas del amplificador.

V_{out} es el voltaje de salida presente a la salida del amplificador cuando la señal de entrada esta en modo común.

El término CMRR es una expresión logarítmica de rechazo al modo común que se expresa matemáticamente como:

$$CMRR_{dB} = 20 \cdot \log \left[\frac{\text{Ganancia Diferencial}}{\text{Ganancia de Modo Común}} \right]$$

Ec4.- Ecuación para hallar el CMRR.

Donde la:

Ganancia de Modo Común: es el factor de amplificación cuando el Sistema Diferencial está en modo Común (Ruido Común en las entradas). Véase **figura 3**. La definición matemática es la ecuación 5.

$$G_{MC} = \frac{\text{Ruido}_{OUT}}{\text{Ruido}_{IN} / 2}$$

Ec5.- Ganancia de Modo Común.

El valor de la GMC debe ser un número pequeño, ya que en este caso $S1 \approx S2$.

Normalmente este número oscila entre los 10^{-6} a los 10^{-12} .

Se puede decir entonces que la GD es mucho mayor que la GMC ($GD \gg \gg \gg GMC$). Debido a esto el CMRR va a ser un número grande, por lo que se expresa el CMRR en dB.

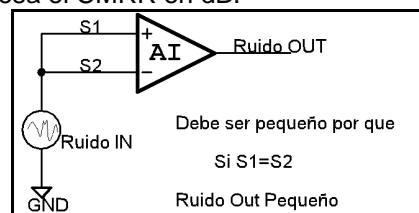


Figura 3.- GMC (ruido común en las entradas).

Para que un amplificador instrumental sea efectivo es necesario que sea capaz de amplificar una señal en niveles de micro-voltios mientras rechaza las señales del voltaje de modo común presente en sus entradas.

Diseño del Amplificador Instrumental de Dos Opamps.

La figura 4, muestra el circuito esquemático de un amplificador instrumental de 2 Opamps. La topología no simétrica de los dos Opamps en un circuito de un amplificador instrumental puede provocar varias desventajas, provocando la limitación del uso de este circuito.

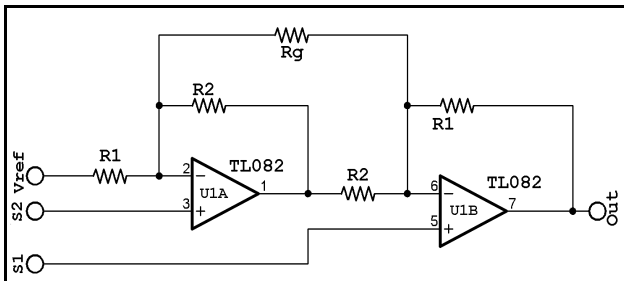


Figura 4.- Amplificador Instrumental de 2 Opamps.

Despejando V_{out} se tiene:

$$V_{OUT} = (S_1 - S_2) \left(2 \frac{R1}{Rg} + 1 + \frac{R1}{R2} \right) + V_{ref}$$

Ec6.- Ecuación de salida para el In-Amp de dos opamps.

Para obtener la ganancia de éste amplificador Instrumental:

De acuerdo a **Ec1**, se puede decir que:

$$Gain = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$$

Por lo tanto:

$$G = \frac{V_{OUT}}{S_1 - S_2} = 2 \frac{R1}{Rg} + \frac{R1}{R2} + 1$$

Ec7.- Ganancia para el In-Amp de dos Opamps.

Ahora, se quiere obtener, para éste caso, una ganancia de 30, para eso, utilizando **Ec7** tenemos:

$$30 = 2 \frac{R1}{Rg} + \frac{R1}{R2} + 1$$

Rg se va a utilizar como un potenciómetro de precisión, para calibrar al valor calculado, los valores de $R1$ y $R2$, se plantea con los valores comunes que se pueda encontrar en el mercado, para éste caso se ha utilizado valores para $R1=20K\Omega$ y $R2=10K\Omega$, con estos valores se puede calcular el valor que debería tomar Rg . Pero antes una aclaración, se sabe que el valor de los resistores varía ya que poseen una tolerancia, para eso se tiene que buscar entre un grupo de varias resistencias las más parecidas, para garantizar la simetría de los resistores del amplificador instrumental, para este caso se han encontrado que para $R1$ el valor del resistor es de $R1=19.9K\Omega$ y para $R2=9.89K\Omega$, es importante trabajar con valores reales para no tener mayores diferencias en las medidas que se tomen, tanto de la simulación como de la práctica. Entonces, a partir de la **Ec7**, despejamos Rg :

$$\frac{R1}{Rg} = \left(30 - 1 - \frac{R1}{R2} \right) \frac{1}{2} \Rightarrow Rg = \frac{R1 \times 2}{\left(30 - 1 - \frac{R1}{R2} \right)}$$

$$Rg = 1.474K\Omega$$

Con esto se tiene los tres valores de los resistores que se necesita para simular y construir el amplificador instrumental.

$$R1 = 19.9K\Omega; R2 = 9.89K\Omega \text{ y } Rg = 1.47K\Omega$$

Simulación y Medición de parámetros:

Para la simulación se ha utilizado PROTEL 99 SE © se ha montado el circuito esquemático para simular en modo diferencial y en modo común, las cuales se puede observar en la **figura 5a** y **5b** respectivamente, se ha utilizado la fuente V_{pwl} "Piece Wise Linear simulation sources", tanto para simular en modo diferencial, como en modo común. Ésta fuente es simulable, la cual se usa para crear formas de ondas arbitrarias como un conjunto de voltajes o corrientes con varios puntos a la vez. Se ha usado la fuente V_{pwl} porque, mediante LabVieW™, se ha adquirido la señal con la que se va a trabajar en la práctica y se ha transformado dicha señal en formato pwl , para que pueda ser "leída" por dicha fuente arbitraria.

Circuito esquemático para la simulación en Modo Diferencial:

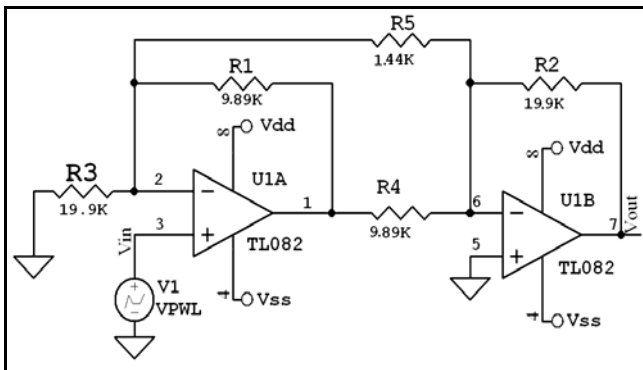


Figura 5a.- Conexión en Modo Diferencial.

En la **figura 5**, V_{in} va a mostrar la señal de entrada, que se verá en la **figura 6a**, V_{out} mostrará la señal de salida, **figura 6b**.

El valor de V_{in} oscila por los 164.7mVp-p.
El valor de V_{out} oscila por los 5.05V (véase **figura 6c**).

Circuito esquemático para la simulación en Modo Común:

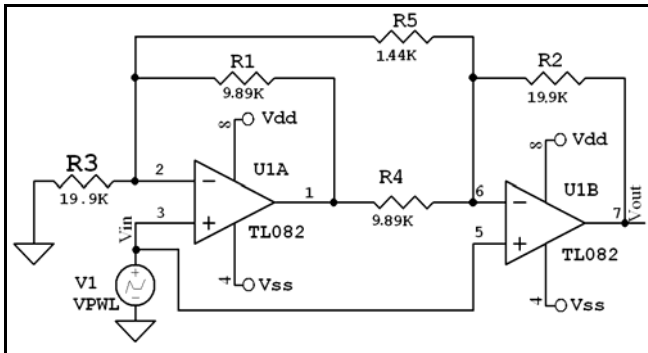


Figura 5b.- Conexión en Modo Común.

De la misma manera que en el circuito anterior, V_{in} es el voltaje de entrada, que en este caso debe ser de una amplitud mayor, para simular al ruido cuando éste sea grande, y pueda hacer mucho daño. Se ingresó una señal de $V_{inMC}=1.96Vp-p$. La señal de salida que me da protel es de: $V_{outMC}=414.56\mu Vp-p$.

Ondas y valores obtenidos de la simulación en Modo Diferencial:

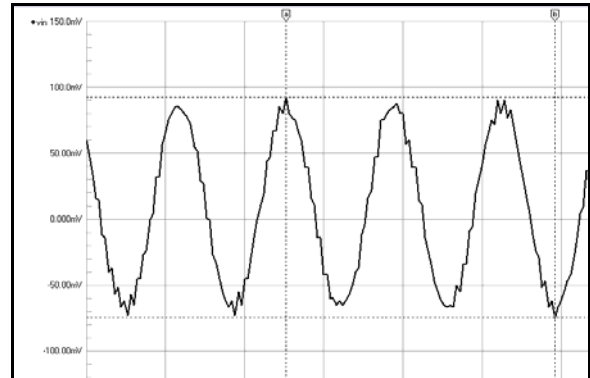


Figura 6a.- V_{in} para Modo Diferencial.

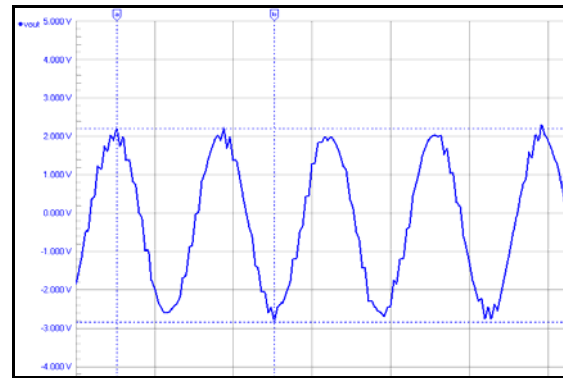


Figura 6b.- V_{out} para Modo Diferencial.

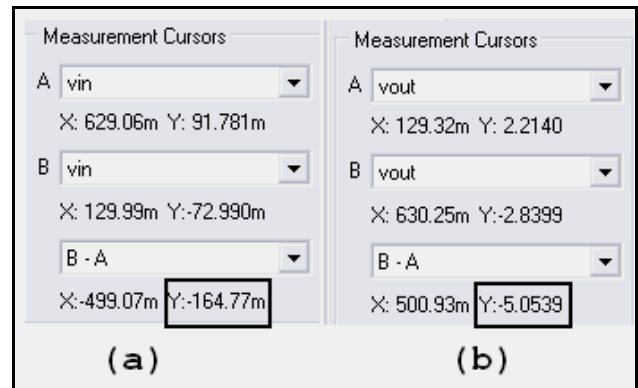


Figura 6c.- (a) Valor de V_{in} , (b) Valor de V_{out} .

Ondas y valores obtenidos de la simulación en Modo Común:

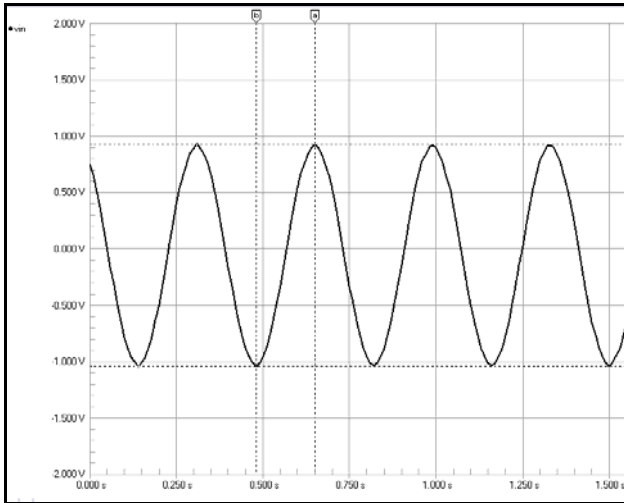


Figura 7a.- Voltaje de entrada para Modo Común.

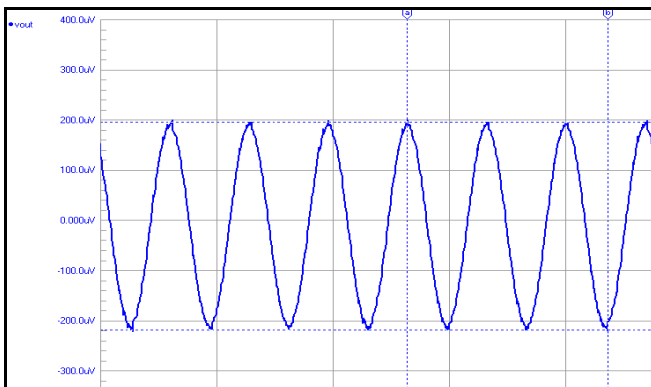


Figura 7b.- Voltaje de salida para Modo Común.

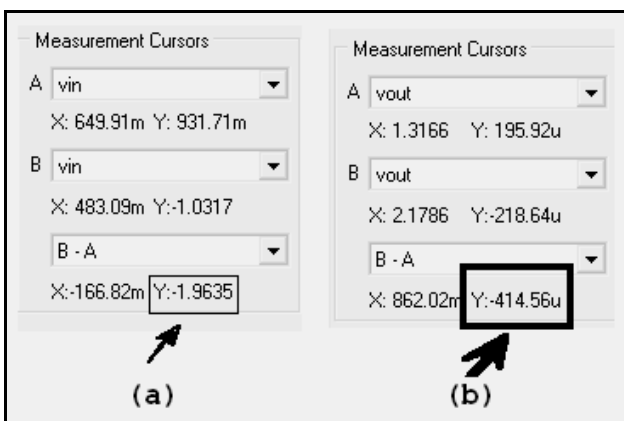


Figura 7c.- (a) Muestra el valor de la señal de entrada y (b) muestra el valor de la señal de salida para Modo Común.

Cálculos de la Ganancia Diferencial, ganancia de Modo Común y del CMRR con los valores obtenidos de la simulación.

Ganancia diferencial:

$$Gd_{SIM} = \frac{Vout}{S1 - S2}$$

$$Gd_{SIM} = \frac{5.05}{0.16477}$$

$$Gd_{SIM} = 30.64$$

Ganancia de Modo común:

$$G_{MC_{SIM}} = \frac{Vout_{Ruido}}{Vin/2}$$

$$G_{MC_{SIM}} = \frac{414.56 \times 10^{-6}}{1.96/2}$$

$$G_{MC_{SIM}} = 4.23 \times 10^{-4}$$

CMRR:

$$CMRR_{dB(SIM)} = 20 \log \left[\frac{Gd_{SIM}}{G_{MC_{SIM}}} \right]$$

$$CMRR_{dB(SIM)} = 20 \log \left[\frac{30.64}{4.23 \times 10^{-4}} \right]$$

$$CMRR_{dB(SIM)} = 97.198 \text{ dB}$$

Montaje y Medición Práctica

Prototipo y Mediciones.

En la **figura 8** se muestra la tarjeta final que contiene el diseño propuesto.

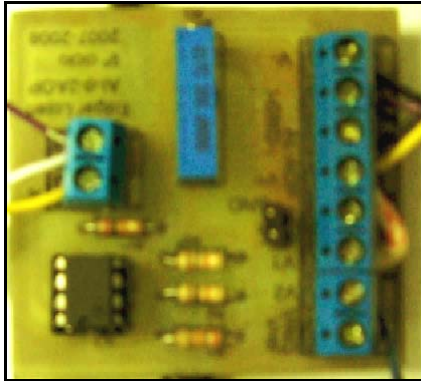


Figura 8.- Tarjeta Prototipo.

Para trabajar con las señales reales, se ha utilizado un **instrumento virtual (VI)**, desarrollado en **LabView 7.1 Student Version™**, diseñado para este caso.

En las **figuras 9a y 9b** se muestran los “Front Panel” para la medición de las señales de entrada y la señal de salida tanto para el Modo Diferencial como para el Modo Común del Amplificador Instrumental.

Cálculos de la Ganancia Diferencial, ganancia de Modo Común y del CMRR con los valores obtenidos de la práctica.

Ganancia Diferencial:

$$Gd_{MED} = \frac{Vout}{S1 - S2}$$

$$Gd_{MED} = \frac{5.26425}{0.176}$$

$$Gd_{MED} = 30$$

Ganancia de Modo Común:

$$G_{MC_{MED}} = \frac{Vout_{ruido}}{Vin/2}$$

$$G_{MC_{MED}} = \frac{0.045}{1.96/2}$$

$$G_{MC_{MED}} = 0.045$$

CMRR:

$$CMRR_{dB(MED)} = 20 \log \left(\frac{Gd_{MED}}{G_{MC_{MED}}} \right) \Rightarrow CMRR_{dB(MED)} = 20 \log \left(\frac{30}{0.045} \right)$$

$$CMRR_{dB(MED)} = 56.48dB$$

Mediciones Prácticas:

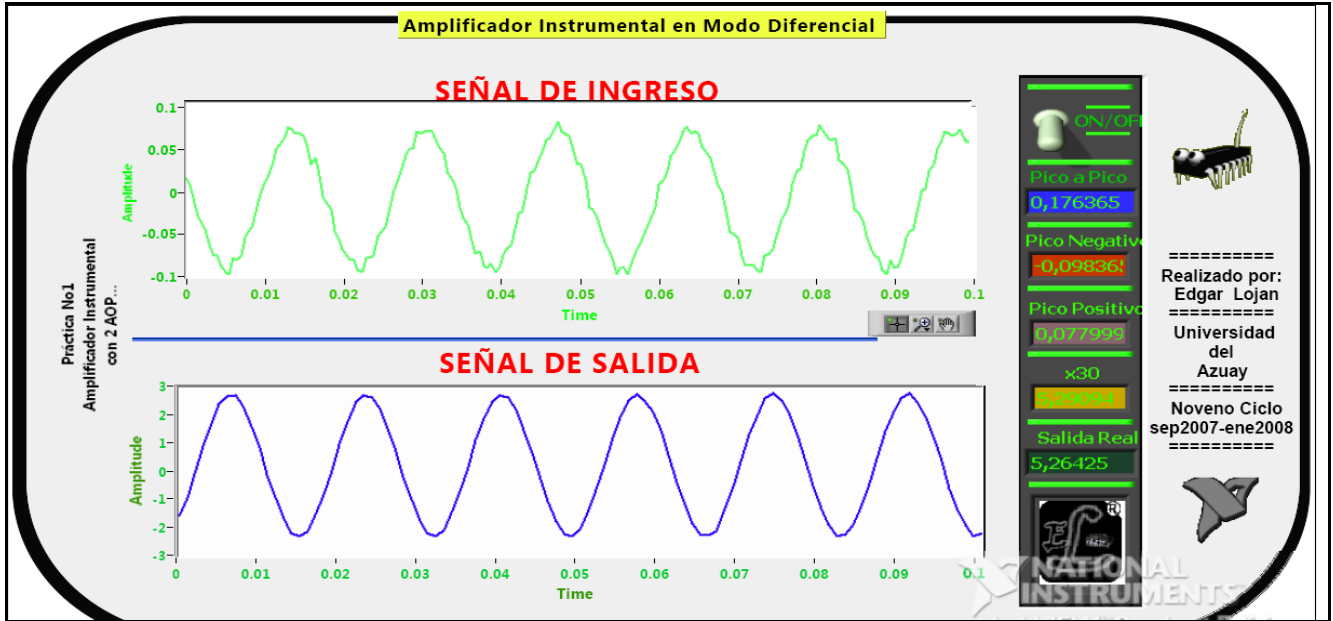


Figura 9a.- Front Panel para la medición del Amplificador Instrumental en Modo Diferencial.

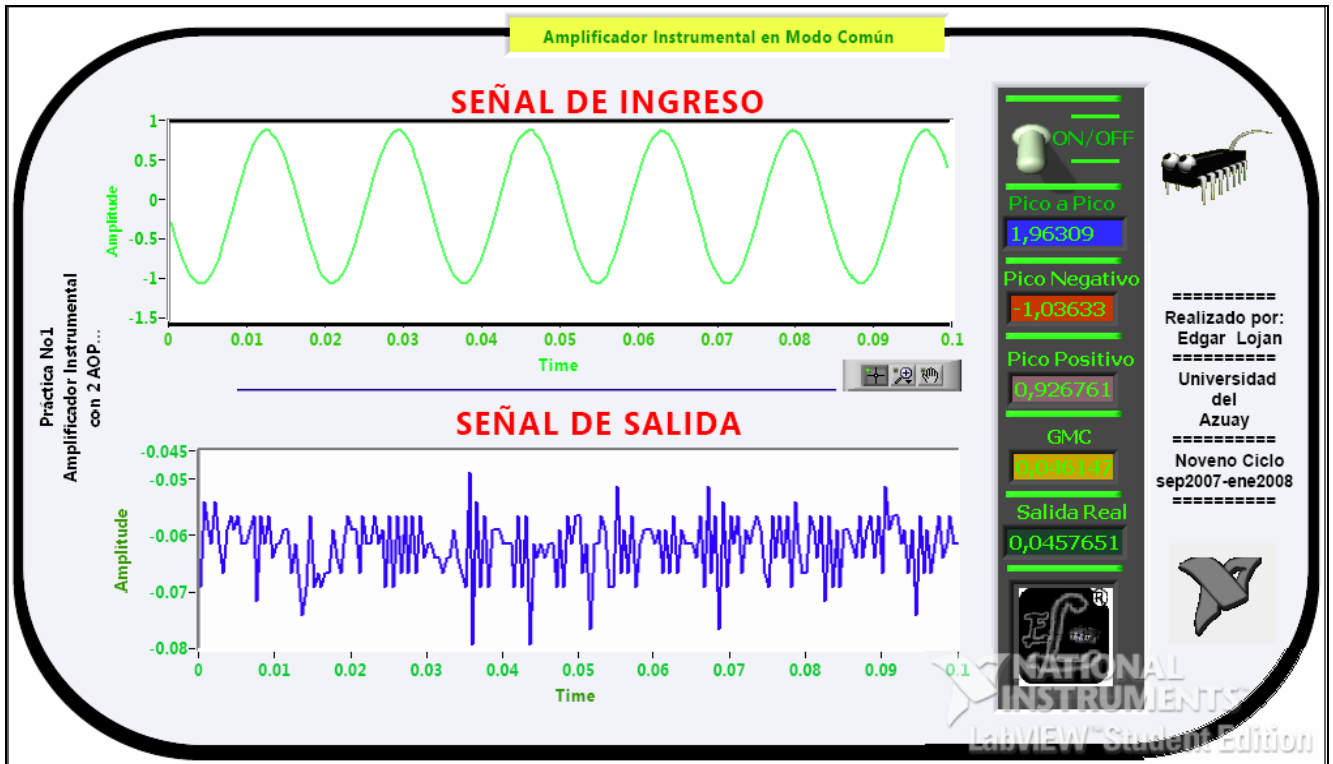


Figura 9b.- Front Panel para la medición del amplificador Instrumental en Modo Común.

Análisis de los resultados prácticos y simulados (Conclusiones).

Como se ha podido observar, se ha realizado una simulación y también se ha trabajado en la práctica con señales reales, de las cuales, con los resultados obtenidos se pueden inferir las siguientes ideas:

- En la simulación del amplificador instrumental en modo diferencial se obtuvo una ganancia diferencial similar a la obtenida en la práctica, pero, como se podrá observar en la **figura 6b**, que es la señal de salida simulada, con respecto a la obtenida en la **figura 9a** (Señal de salida), señal obtenida en la práctica, ésta última señal está más pura, refiriéndose a que contiene menos ruido, esto se debe a que en la práctica se trabajó con cables trenzados y apantallados. Los cuales disminuyen la posibilidad de que se introduzca ruido inductivo (con los cables trenzados) y ruido capacitivo (con el cable apantallado).

- Con respecto a la ganancia de Modo Común, en la simulación se obtuvo una ganancia considerablemente buena, que fue de 4.23×10^{-4} , pero en la práctica se obtuvo una ganancia menor, 4.5×10^{-2} , debido a que los Opamps no son simétricos, además de otros factores que hacen que se produzcan ciertos cambios como por ejemplo el clima, ó también la falta de simetría en las fuentes de alimentación para el operacional, etc.

- Con la ganancia de Modo Diferencial y la de Modo Común, se calculó el $CMRR_{SIM}$ y el $CMRR_{MED}$, de los cuales obviamente con los resultados que se mencionaron en los puntos anteriores, el $CMRR_{SIM}$ estuvo en un buen rango, ya que tuvo un valor de 97.19dB, contrario al $CMRR_{MED}$ que tuvo un valor de 56.48dB, que también es un valor aceptable y típico en éstas clases de Amplificadores Instrumentales diseñados con 2 Opamps.

Bibliografía:

"[A designer's Guide to Instrumentation Amplifiers](#) 3RD Edition" por Charles Kitchin and Lew Counts de [Analog Devices](#).

PROTEL-help → Piece Wise Linear simulation sources.

Nota de aplicación AN682 de MICROCHIP.