

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Eléctrica

IE0408 – Laboratorio Eléctrico II

I ciclo 2015

Anteproyecto

Estudio de las Principales características de los Amplificadores Operacionales

Abdenago Guzmán Ledezma, B13140

Marco Jara Jiménez, B23369

Grupo 01 Subgrupo 07

Profesor: Jaime Cascante Vindas

17 de Marzo de 2015

Índice

1. Objetivos	IV
2. Nota teórica	1
2.1. Voltaje Offset	2
2.2. Slew Rate y la Curva Ganancia-Ancho de Banda	3
2.3. Curva ganancia-ancho de banda	3
2.4. Identificación de los Parámetros Importantes	5
2.5. Valores Máximos	5
2.6. Ventajas del amplificador de instrumentación	5
3. Lista de equipos	6
4. Lista de componentes	7
5. Diseño	8
5.1. Calculo de la razón de rechazo de modo común CMRR	8
5.2. Relación de componentes que elimine A_{cm}	9
5.3. Ganancia diferencial cumpliendo que $A_{cm} = 0$	9
5.4. Amplificador diferencial con ganancia de 10	9
5.5. FTLA y FTLC para el circuito propuesto	9
5.6. Comprobación de intervalos en MATLAB	10
5.7. Comprobación de intervalos en TINA	12
5.8. Tabla comparativa	13
5.9. Experimentos	14
5.9.1. Experimento para el CMRR	14
5.9.2. Experimento para el ancho de banda	15
5.9.3. Experimento para la frecuencia de cruce	15
5.9.4. Experimento para el Slew Rate	15
5.10. Frecuencia de potencia plena	16
5.11. CMRR ajustable	16
5.12. CMRR de 100dB	16
6. Procedimiento	17
A. Anexos	20

Índice de figuras

1.	Diagrama de pines del LM741	2
2.	Circuito amortiguador de offset	3
3.	Curva de Ganancia-ancho de banda [2]	4
4.	Puntos importantes en la curva GB [3]	4
5.	Amplificador Operacional	8
6.	Amplificador Operacional Diferencial	10
7.	Ancho de Banda y Cruce por cero del LM741	11
8.	Ancho de Banda y Cruce por cero del LF353	11
9.	Ancho de Banda y Cruce por cero del LF353 con valor mínimo	12
10.	Ancho de Banda y Cruce por cero del LM741 con valor mínimo	12
11.	Bode del Op Amp LM741	13
12.	Bode del Op Amp LF353	13
13.	Circuito para encontrar offset	14
14.	Ondas para slew rate del LM741	15

Índice de tablas

1.	Parámetros de importancia	5
2.	Lista de equipos	6
3.	Lista de componentes	7
4.	Comparación entre las simulaciones de TINA y MATLAB	14

1. Objetivos

- Estudiar las principales características de los amplificadores
- Evaluar el desempeño de distintas configuraciones de amplificadores de instrumentación ante condiciones de operación reales
- Diseñar experimentos que permiten comparar el desempeño de las distintas configuraciones estudiadas

2. Nota teórica

Un amplificador operacional es un circuito muy elaborado con más de 20 transistores. Está constituido por cuatro bloques. El primero es un amplificador diferencial con entradas tipo Darlington o utilizando varios FET y una fuente de corriente constante. El segundo bloque es un amplificador lineal de alta ganancia, generalmente otro amplificador diferencial. Si las tensiones de entrada V_1 y V_2 son cero, existe una tensión DC en la salida; este será desplazado con ayuda de un circuito desplazador de nivel. La etapa final posee un amplificador, normalmente de simetría complementaria o configuración push-pull.

El amplificador diferencial proporciona una alta ganancia (ganancia de modo diferencial, A_d) a señales diferenciales ($v_2 - v_1$) y una baja ganancia (ganancia de modo común, A_{cm}) con señales de igual fase y amplitud ($v_2 + v_1$) aplicadas simultáneamente a ambas entradas.

Los usos más típicos del amplificador operacional son proporcionar cambios de amplitud y polaridad de voltaje y operaciones (suma, resta, integración, diferenciación, etc.), así como osciladores, circuitos de filtro y muchos otros tipos de circuitos de instrumentación.

Entre las especificaciones eléctricas de mayor importancia se puede mencionar el voltaje de desvío u offset DC de salida, corrientes de polarización o BIAS de entrada, impedancias de entrada y salida, CMRR y disipación de potencia total.

La operación de los amplificadores tiende a ser inestable, por ello, para asegurar estabilidad, los amp op se construyen con circuitería de compensación interna. Esto causa, inevitablemente, que la alta ganancia de lazo abierto disminuya con el incremento de frecuencia. Las especificaciones de parámetros de frecuencia más importantes son la variación ganancia-ancho de banda, la rapidez de respuesta o slew rate, el tiempo de subida y la frecuencia máxima de operación.

$$V_0 = A_d(V_2 - V_1) + A_{cm}(V_2 + V_1)/2 \quad (1)$$

$$\text{Si } V_2 = V_1 \text{ entonces } A_{cm} = V_0/V \quad (2)$$

$$\text{Si } V_2 = -V_1 \text{ entonces } A_d = V_0/V \quad (3)$$

$$CMRR = A_d/A_{cm} \quad (4)$$

$$CMRR_{dB} = 20 \log(A_d/A_{cm}) \quad (5)$$

Cuestionario

Investigue: ¿qué provoca el voltaje offset de salida de un amplificador operacional y cómo se puede disminuir (utilizando un LM741 y un LF353). Incluya los diagramas de conexión.

2.1. Voltaje Offset

El voltaje de offset es un voltaje presente en la salida del amplificador aún cuando los voltajes de las dos entradas sean cero. Este efecto es causado por el ruido que el amplificador operacional amplifica y lo presenta a la salida del mismo.

Este voltaje lo especifica el fabricante y se puede determinar, ya que el producto de el voltaje de desvío con la ganancia establecida será mostrado en la salida, también lo puede generar aquellas variaciones de polarización del OP-AM.

El amplificador 741 posee dos pins disponibles para realizar esto. Estos pins (1 y 5) internamente están conectados a las entradas del amplificador diferencial. Debido a que los cambios de temperatura hacen cambiar el offset, se hace necesario estar calibrando este valor constantemente, lo cual es una desventaja, ya que es un proceso monótono y muy variable. [4]

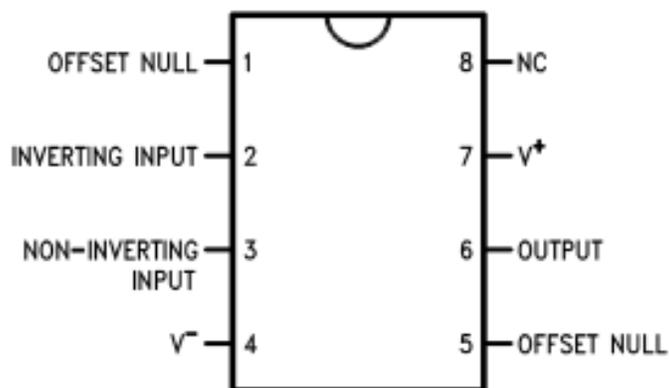


Figura 1: Diagrama de pines del LM741

Esta tensión es producida por la tensión offset de entrada que puede modelarse como una fuente de tensión DC en serie con la entrada al amplificador sin invertir y la ganancia del amplificador. [5]

Para eliminarlo se procede a conectar la entrada inversora y la no inversora a tierra y se mide la tensión de salida, esta resultará con un valor de milivolts; a continuación, instale el potenciómetro de 10 k Ω entre las patillas offset-null y ajuste el potenciómetro hasta anular el offset presente.

Para el LF353 no se cuentan con la terminales de offset null, así que se procede a realizar una compensación de tensión en la entrada no inversora como se puede ver en la Figura 2

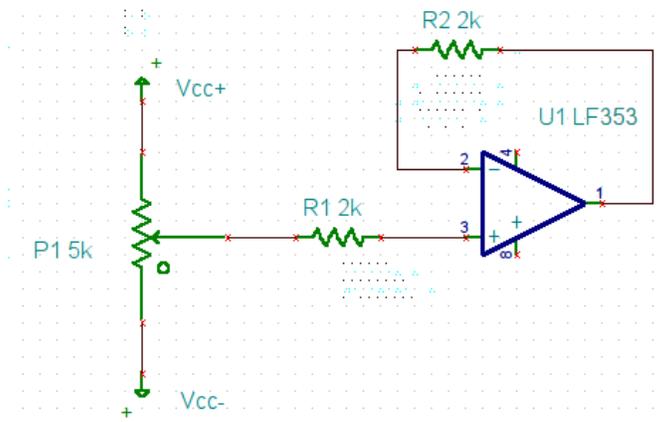


Figura 2: Circuito amortiguador de offset

Reseñe brevemente la teoría acerca del Slew Rate y la gráfica ganancia–ancho de banda y sus puntos de importancia, como frecuencia de corte y de ganancia unitaria o cruce por 0 dB, ganancia máxima y ancho de banda de ganancia unitaria, además de la frecuencia de potencia plena.

2.2. Slew Rate y la Curva Ganancia-Ancho de Banda

El slew rate está definido como el máximo rango de cambio de la salida de tensión por unidad de tiempo y es expresada como volt por segundo. Las limitaciones en la capacidad del slew rate pueden darse a efectos no lineales en los amplificadores. Para la onda sinusoidal no es sujeto de limitación por slew rate, la capacidad de slew rate (en volts por segundo) en todos los puntos en un amplificador debe satisfacer la siguiente condición:

$$SR \geq 2\pi f * V_{pk} \quad (6)$$

Donde f es la frecuencia de operación y V_{pk} es la amplitud pico de la onda.

$$SR = \frac{dV_{out}(t)}{dt} \quad (7)$$

2.3. Curva ganancia-ancho de banda

Como se ve en la Fig 3, el amplificador posee una ganancia máxima en una configuración específica y una ganancia más limitada al realimentarlo negativamente.

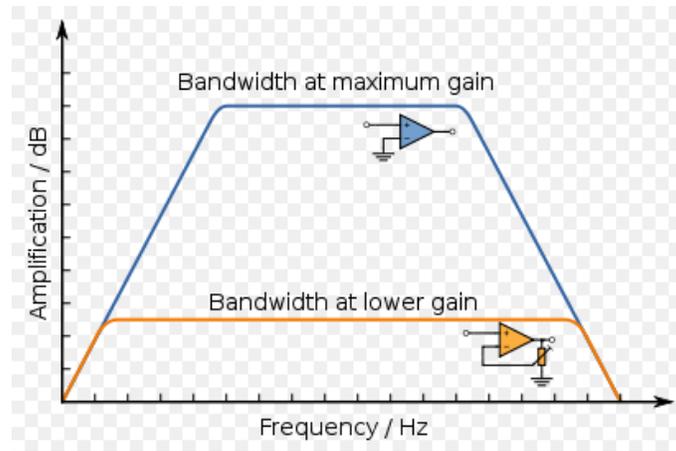


Figura 3: Curva de Ganancia-ancho de banda [2]

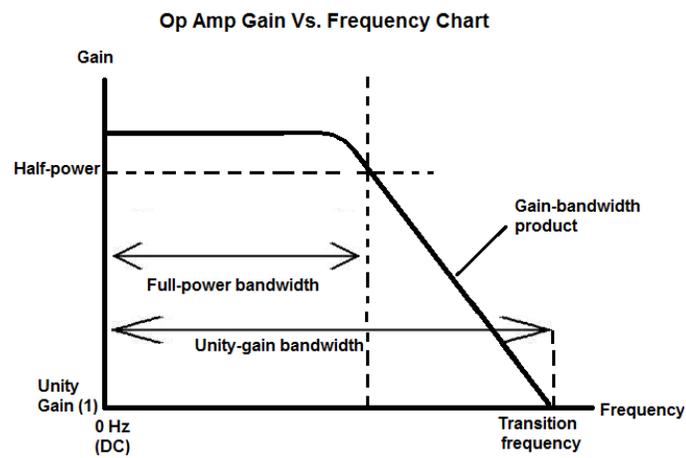


Figura 4: Puntos importantes en la curva GB [3]

En la Fig4 se aprecian los puntos importantes como lo son la ganancia unitaria, la frecuencia de potencia plena, el ancho de banda en ganancia unitaria.

Utilizando como guía los puntos mencionados en el punto 2, ubique o calcule (con ayuda de las hojas del fabricante) y agrupe en una tabla los valores típicos, mínimos y máximos (si es posible) de los amplificadores que se utilizarán en este experimento.

2.4. Identificación de los Parámetros Importantes

Tabla 1: Parámetros de importancia

Parámetro	LM741			LF353		
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
Slew Rate [$V/\mu s$]	0.5			8	13	
Producto Ganancia Ancho de Banda [MHz]	0.437	1.5		2.7	4	
Ganancia Unitaria [MHz]					4	
Ganancia de Lazo Abierto (A_{vol}) [V/mV]	50	200		25	100	
Frecuencia de corte [Hz]				500		
Ganancia Máxima [dB]						110
Supply Voltage [V]		± 22			± 18	

El fabricante normalmente no da en sus hojas de datos valores máximos, ¿por qué?. Explique sus respuesta.

2.5. Valores Máximos

No los muestran ya que los valores Máximos son normalmente interpretados mal. No solo significan el punto de operación al que el componente se dañará, sino que también supone que no debe aplicarse este rango (entre el Typ y Max) en forma continua.[6] Además Ti y otras empresas muchas veces solo presentan el valor típico, ya que los componentes se pusieron a prueba en ciertas condiciones y el valor típico y mínimo son los valores promedio en las experimentaciones. Tal como lo dice la empresa Microchip, los valores mostrados son solo una guía de diseño no son para testear el componente. [7]

Investigue ¿qué ventajas ofrece utilizar un amplificador de instrumentación?

2.6. Ventajas del amplificador de instrumentación

Un amplificador de instrumentación se caracteriza por tener:

Alta impedancia de entrada.

Alto rechazo de señales en modo común CMRR, superior a 100 dB.

Ganancia estable y que pueda ser variable con una única resistencia y sin que se contrapongan directamente ganancia y ancho de banda.

Tensión y corriente de desequilibrio (offset) bajas y con pocas derivas.

Impedancia de salida baja.

Existen convencionalmente dos tipos de amplificadores de instrumentación.

Amplificador de instrumentación basado en dos amplificadores y

Amplificador basado en tres amplificadores.[8]

3. Lista de equipos

La lista de equipos utilizados en el experimento se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Lista de equipos

Equipo	Sesión 1			Sesión 2		
	Marca	Modelo	Placa	Marca	Modelo	Placa
Osciloscopio digital						
Generador de señales						
Medidor Multifunción						
Fuente DC						

4. Lista de componentes

La lista de componentes utilizados en el experimento se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Lista de componentes

Componente	Sigla	Valor nominal	Valor medido	Tolerancia	Potencia
Resistor	R1	$2\text{ k}\Omega$			0,25 W
Resistor	R2	$2\text{ k}\Omega$			0,25 W
Resistor	R3	$20\text{ k}\Omega$			0,25 W
Resistor	R4	$20\text{ k}\Omega$			0,25 W
Potenciómetro	R5	$10\text{ k}\Omega$			
Amplificador	LM741	-	-	-	-
Amplificador	LF353	-	-	-	-

5. Diseño

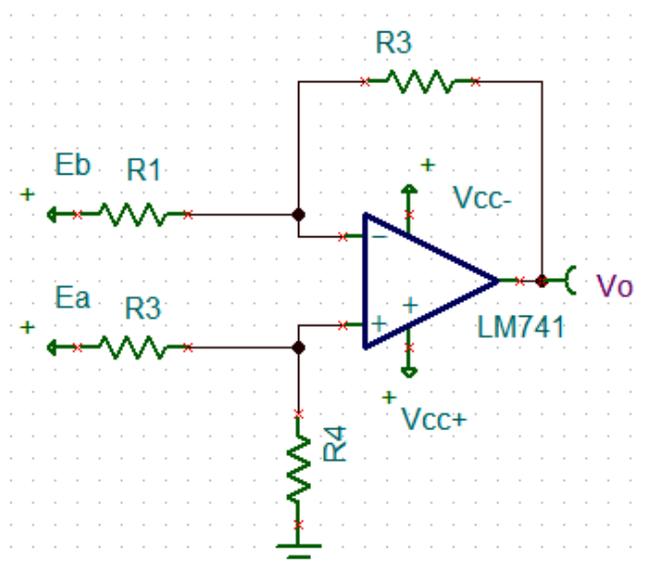


Figura 5: Amplificador Operacional

5.1. Cálculo de la razón de rechazo de modo común CMRR

Realizando el análisis de corto circuito virtual al circuito presente en la Fig5 se consigue el valor de CMRR (se sustituye $V_1 = E_a$, $V_2 = E_b$)

$$V^+ = \frac{V_1 R_4}{R_2 + R_4} \quad (8)$$

$$V^- = \frac{V_o R_1}{R_1 + R_3} + \frac{V_2 R_3}{R_1 + R_3} \quad (9)$$

Por CCV:

$$V_o = \frac{V_1 R_4 (R_1 + R_3)}{(R_2 + R_4) R_1} - \frac{V_2 R_3}{R_1} \quad (10)$$

Para conseguir el A_{cm} se dice que $V_1 = V_2 = V_T$

$$\frac{V_o}{V_T} = \frac{R_4 (R_1 + R_3)}{(R_2 + R_4) R_1} - \frac{R_3}{R_1} \quad (11)$$

Para conseguir el A_d se dice que $V_1 = -V_2 = V_T$

$$\frac{V_o}{2V_T} = \frac{R_4 (R_1 + R_3)}{(R_2 + R_4) R_1} + \frac{R_3}{R_1} \quad (12)$$

Por lo tanto:

$$CMRR = \frac{1/2\left(\frac{R_4(R_1 + R_3)}{(R_2 + R_4)R_1} + \frac{R_3}{R_1}\right)}{\frac{R_4(R_1 + R_3)}{(R_2 + R_4)R_1} - \frac{R_3}{R_1}} \quad (13)$$

5.2. Relación de componentes que elimine A_{cm}

Para obtener la relación entre componentes que elimine completamente la componente de modo común se iguala a cero la ecuación (11), teniendo como resultado:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1 + R_3}{R_2 + R_4} \quad (14)$$

5.3. Ganancia diferencial cumpliendo que $A_{cm} = 0$

Luego se calcula la ganancia diferencial con la condición que $A_{cm} = 0$, por lo que se sustituye la ecuación (14) en la ecuación (12)

$$\frac{V_o}{2V_T} = \frac{R_4 R_3}{R_1 R_4} + \frac{R_3}{R_1} \quad (15)$$

Obteniendo así que

$$A_d = \frac{R_3}{R_1} \quad (16)$$

5.4. Amplificador diferencial con ganancia de 10

Con base a las relaciones anteriores se diseña el circuito de la figura 6

5.5. FTLA y FTLC para el circuito propuesto

Para la FTLA y la FTLC es necesario apagar una de las entradas debido a que solo se puede analizar con una a la vez y además se utiliza el modelo de primer orden simplificado de un amplificador operacional el cual es el siguiente

$$A(s) = \frac{GB}{s} \quad (17)$$

En donde:

- **GB** es producto ganancia ancho de banda
- **s** es el operador es el operador laplaciano para la frecuencia compleja

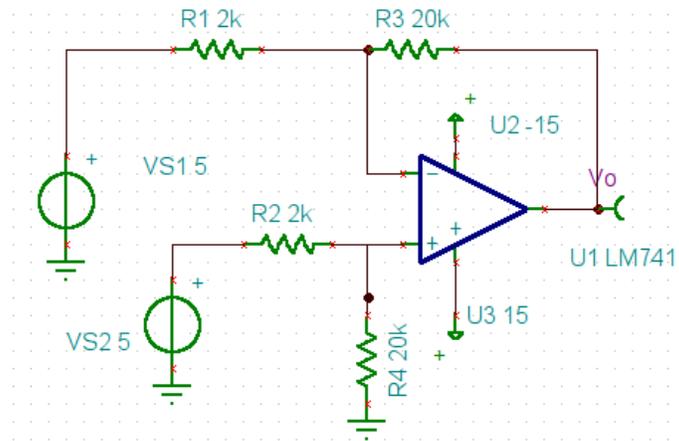


Figura 6: Amplificador Operacional Diferencial

Para la FTLA de circuito propuesto mostrado anteriormente en la figura 6, se parte de la siguiente ecuación

$$FTLA = A(s)B \quad (18)$$

Para circuito propuesto se tiene que

$$B = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \quad (19)$$

Entonces se tiene que de la ecuación 18 y sustituyendo la siguiente expresión para la FTLA

$$FTLA = \frac{GB}{s} \frac{R_1}{R_1 + R_3} \quad (20)$$

Siguiendo el mismo principio nada mas que ahora para la FTLC se tiene que

$$FTLC = \frac{A}{1 + AB} \quad (21)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior se tiene que

$$FTLC = \frac{GBR_4(R_1 + R_3)}{(R_2 + R_4)(s(R_1 + R_3) + GBR_1)} \quad (22)$$

5.6. Comprobación de intervalos en MATLAB

Se simula en MATLAB para poder encontrar el ancho de banda y la frecuencia de cruce, esto para el LM741 y para el LF353.

En la figura 7 se puede observar la frecuencia de cruce y el ancho de banda respectivamente, utilizando el LM741.

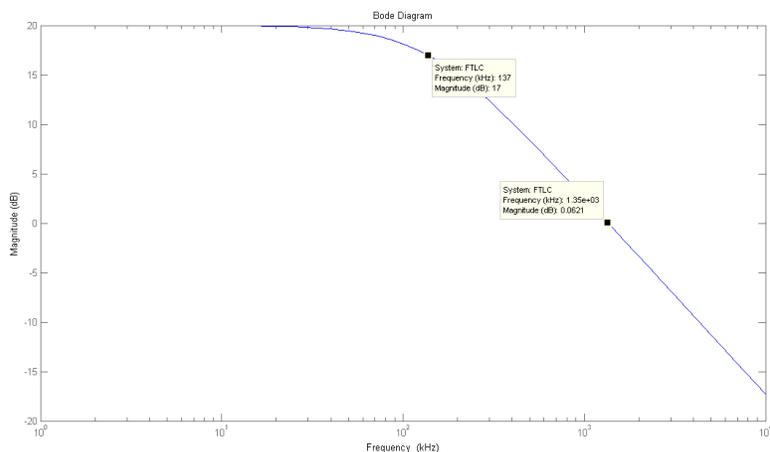


Figura 7: Ancho de Banda y Cruce por cero del LM741

Se puede observar que para el LM741 se tiene una frecuencia de cruce por los 0 dB en 1,35 MHz y además de un ancho de banda de 137 KHz.

Se realiza lo mismo pero ahora para el LF353; la figura 8 corresponde a la frecuencia de cruce por los 0 dB y el ancho de banda.

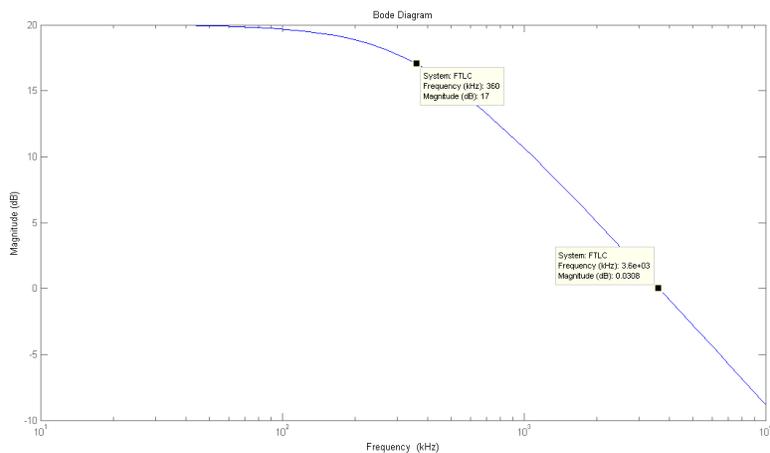


Figura 8: Ancho de Banda y Cruce por cero del LF353

Para cuando se utiliza el LF353 se tiene una frecuencia de cruce de 360 KHz y un ancho de banda de 3,6 MHz.

También se obtienen los intervalos con los valores mínimos de Ganancia.

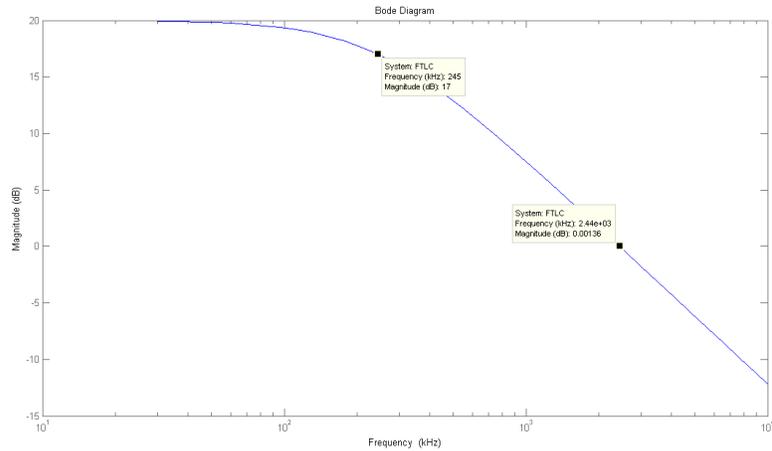


Figura 9: Ancho de Banda y Cruce por cero del LF353 con valor mínimo

Se puede apreciar en la 9 que el cruce por cero es 2.44 MHz y el ancho de banda 245 KHz,

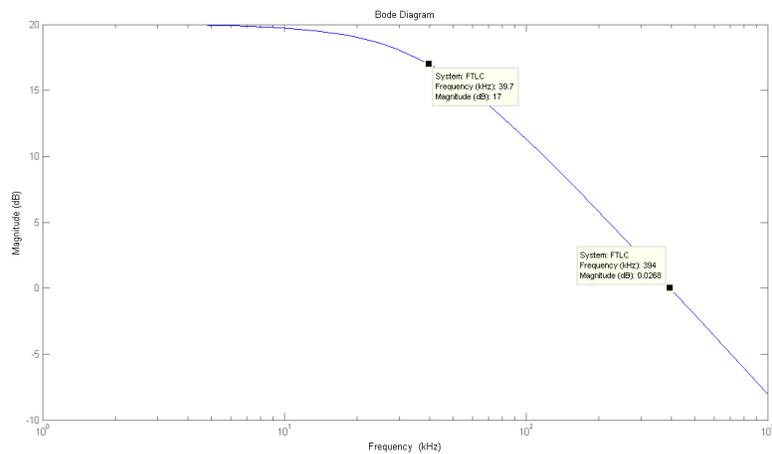


Figura 10: Ancho de Banda y Cruce por cero del LM741 con valor mínimo

Se puede apreciar en la 9 que el cruce por cero es 394 KHz y el ancho de banda 39,7 Hz,

5.7. Comprobación de intervalos en TINA

Simulación de el circuito con el LM741.

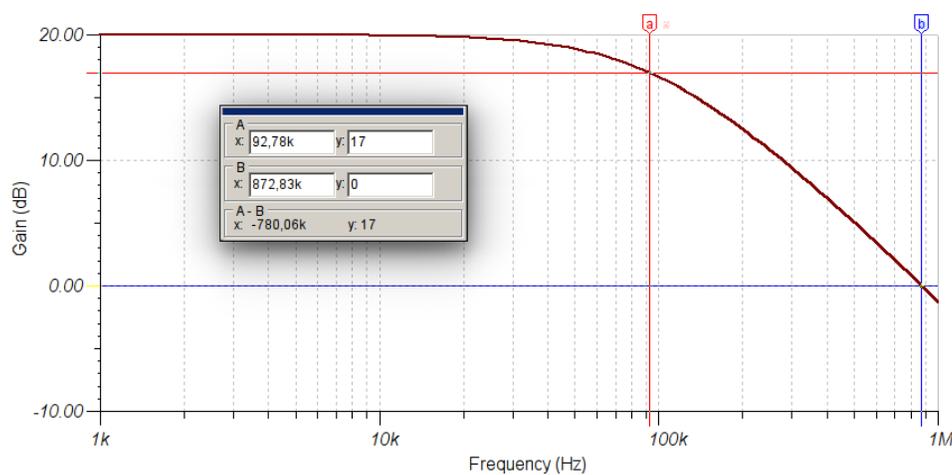


Figura 11: Bode del Op Amp LM741

Nota en la figura 11 que la frecuencia de cruce es de 872.83 KHz y el ancho de banda es a 92.78 KHz.

Simulación de el circuito con el LF353.

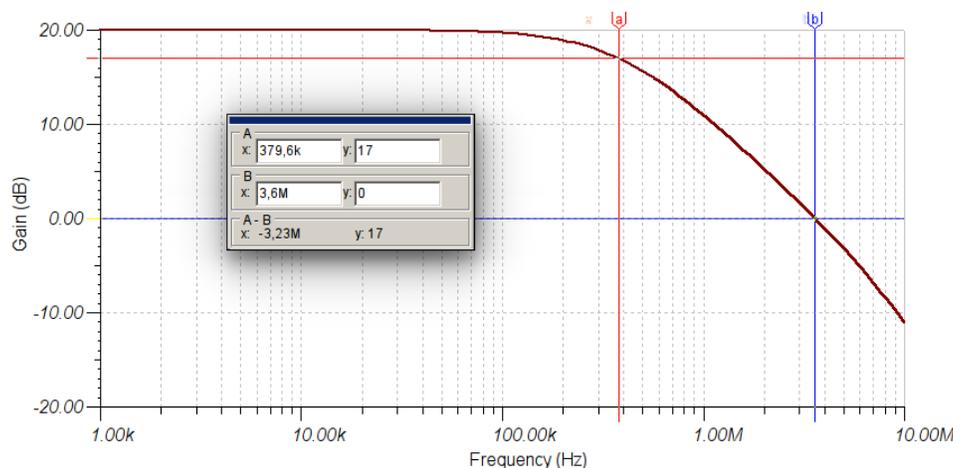


Figura 12: Bode del Op Amp LF353

En la Fig12 la frecuencia de cruce es de 3.6 MHz mientras que el ancho de banda es de 379.6 KHz.

5.8. Tabla comparativa

Se puede apreciar que en en los resultados obtenidos para el LM741 se acercan un poco, sin embargo están lejos de lo esperado, mientras que en el LF353 los valores de la frecuencia de cruce están bastante lejanos, lo cual puede ser provocado porque Tina al ser un programa especializado en circuitos este es capaz de tomar en cuenta muchas variables, mientras que Matlab solo tiene el valor del producto ganancia ancho de banda.

Tabla 4: Comparación entre las simulaciones de TINA y MATLAB

	LM741		LF353	
	Anch. Banda	Frec. Cruce	Anch. Banda	Frec. Cruce
TINA	92,78 KHz	872,83 KHz	379,6 KHz	3,6 MHz
MATLAB (GB Typ)	137 KHz	1,35 MHz	360 KHz	3,6 MHz
MATLAB (GB Min)	39 KHz	394 KHz	245 KHz	2,44 MHz

5.9. Experimentos

Primeramente para antes de los experimentos se averigua el offset el amplificador operacional lo cual se realiza mediante con la siguiente conexión, en donde se puede observar que las entradas se encuentran en 0 V, para así poder observar el nivel DC que entrega en amplificador por si solo. Para dicha simulación se tiene un nivel DC de 10,6 mV.

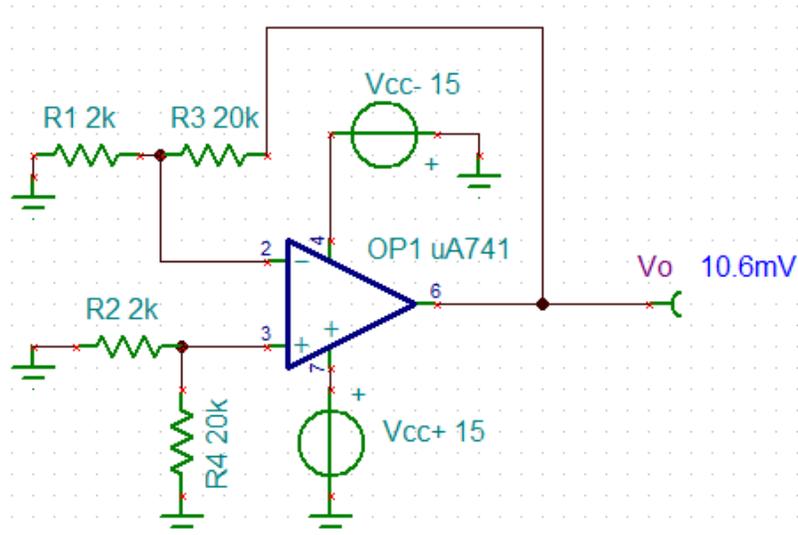


Figura 13: Circuito para encontrar offset

Una vez eliminado el offset, en este caso, para el LM741, se procese a determinar el procedimiento a seguir en cada caso.

5.9.1. Experimento para el CMRR

Para poder calcular el CMRR experimentalmente se basa en la ecuación 4, en donde se deberá encontrar A_d y A_{cm} . Se arma el circuito propuesto y asumiendo que se tiene un valor de A_{cm} nulo, se procede a alimentar las 2 entradas (que no sean iguales), para tener una salida V_o , entonces despejando A_d de la ecuación 1 se tiene lo siguiente:

$$A_d = \frac{V_o}{V_2 - V_1} \quad (23)$$

Según los cálculos obtenidos en Tina para el LF353 se tiene un $A_d = 2,696$, mientras que para el LM741 se tiene un $A_d = 2,614$

Luego se procede a realizar lo mismo pero esta vez las entradas deben ser iguales, para eliminar la ganancia diferencial, y de este modo poder despejar la ganancia de modo común de la ecuación 1 la cual debe ser relativamente pequeña en comparación con A_d debido a que anteriormente se configuró para que esta fuera nula.

Según los cálculos obtenidos en Tina con una alimentación de 10 V para el LF353 se tiene un $A_{cm} = 0,5$ mV, mientras que para el LM741 se tiene un $A_{cm} = 10,78$ mV

Por lo tanto El CMMR para LF353 es 5390 y para el LM741 es 242

5.9.2. Experimento para el ancho de banda

A- Se aterriza una de las entradas del amplificador diferencial en este caso la entrada negativa, se realiza un barrido de frecuencias mediante un Generador de Señales conectado a la entrada no inversora del amplificador.

B- Cuando la tensión de salida sea un 70,7% ó -3 dB de su amplitud máxima, la frecuencia que se tenga registrada en la fuente será la máxima frecuencia del ancho de banda.

5.9.3. Experimento para la frecuencia de cruce

Se aplica el mismo principio que se utilizó para calcular el ancho de banda, pero al realizar el barrido se toma la frecuencia para la cual la ganancia del amplificador es 1, esta frecuencia sería la del cruce por 0 dB.

5.9.4. Experimento para el Slew Rate

A- Armar un circuito en modo seguidor

B- Aplicar una señal cuadrada en la entrada y aumentar la frecuencia de la señal de entrada hasta observar en la salida una señal que apenas llegue a su valor máximo en cada ciclo, es decir, una señal casi triangular con sus picos recortados a 5 V

C- Des-calibrar el osciloscopio en tensión para poder medir la señal en porcentaje (0-100%) y así calcular t del 10% al 90% de la señal.

D- Mediante las lecturas se determina la rapidez de cambio (SR) y Δt .

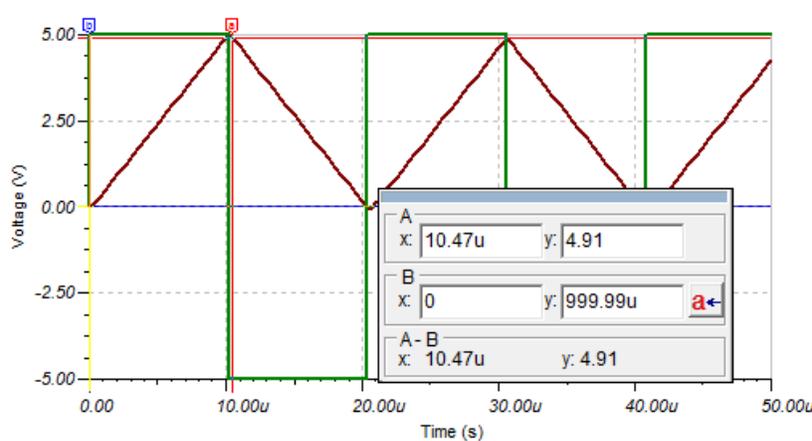


Figura 14: Ondas para slew rate del LM741

$$SR = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (24)$$

$$SR = 470KV/s \quad (25)$$

5.10. Frecuencia de potencia plena

La frecuencia de potencia plena, es la frecuencia máxima a la que puede trabajar el amplificador operacional sin que este distorsione la salida por el Slew Rate, esta frecuencia depende de el SR y de la tensión pico de la onda.

$$f_{pm} = \frac{SR}{2\pi V_p} \quad (26)$$

Entonces para poder calcular esta frecuencia es necesario antes conocer el SR y la tensión pico de la onda. Suponiendo una tensión pico de 5 V, se tiene una frecuencia de potencia plena de 14,96 KHz.

5.11. CMRR ajustable

Se observa de la ecuación 13, que el valor del CMRR depende de los elementos pasivos conectados al amplificador, si se sustituye alguno de estos o se le conecta en serie una resistencia variable, se podrá controlar el valor del CMRR.

5.12. CMRR de 100dB

Para poder obtener un CMRR variando solo R_4 se puede realizar matemáticamente desde la ecuación 13 para despejar el valor de dicha resistencia.

$$100dB = 20\log(CMRR) \quad (27)$$

En donde CMMR depende únicamente de R_4 para este caso en particular.

Sustituyendo el valor de CMRR y despejando R_4 de la ecuación anterior se tiene un R_4 de 20002,2 Ω .

6. Procedimiento

1. Anotar las placas de los instrumentos utilizados.
2. Anotar los valores experimentales de los componentes a utilizar.
3. Offset
 - A- Armar el circuito mostrado en la Figura 13
 - B- Medir la tensión de salida la cual corresponde al offset.
 - Para eliminar el offset se coloca un potenciómetro en los pines 1 y 5 del LM741 y se ajusta hasta que el offset sea nulo.
 - Para eliminar el offset en el LF353 se arma el circuito mostrado en la figura 2.
4. CMRR
ganancia diferencial.
 - A- Se arma el circuito de la figura 6
 - B- Se alimenta a 5 V y 10 V y se mide la salida, para luego calcular la ganancia diferencial.

Ganancia de modo común
 - A- Se realiza lo mismo que en punto anterior, pero para este caso las entradas deben ser iguales. (Se espera un valor de A_{cm} muy pequeño)
5. Ancho de banda
 - A- Con el circuito anterior, se aterriza la entrada que va conectada a R_1
 - B- se realiza un barrido de frecuencias desde 1 KHz hasta 10 MHz.
 - C- Se tabulan los datos y se grafica para encontrar el ancho de banda.
6. La frecuencia de cruce
 - A- se toma el barrido de frecuencias que se realizó anterior mente
 - B- se toma la frecuencia para la cual la ganancia del circuito es 1, esta frecuencia sería la del cruce por 0 dB.
7. Slew Rate
 - A- Armar un circuito en modo seguidor
 - B- Aplicar una señal cuadrada en la entrada y aumentar la frecuencia de la señal de entrada hasta observar en la salida una señal que apenas llegue a su valor máximo en cada ciclo, es decir, una señal casi triangular con sus picos recortados a 5 V
 - C- Se manipula el osciloscopio en tensión para poder medir la señal en porcentaje (0-100 %) y así calcular t del 10 % al 90 % de la señal.
 - D- Mediante las lecturas se determina la rapidez de cambio (SR) y Δt .
8. Frecuencia de potencia plena
 - A- Con el Slew Rate calculado en el punto anterior se aplica la formula 26
9. CMRR ajustable
 - A- Coloque un potenciómetro en serie con R_4 , y calcule dos CMRR con ajustes distintos del potenciómetro mediante el punto 4 y 5.

10. Se repite el diseño y el procedimiento pero utilizando el LF353.

Referencias

- [1] Wikipedia. *Slew rate*. Recuperado el 11 de marzo del 2015 de: [http : en.wikipedia.org/wiki/Slew – rate](http://en.wikipedia.org/wiki/Slew_rate)
- [2] Wikipedia. *Gain–bandwidth product*. Recuperado el 11 de marzo del 2015 de: [http : //en.wikipedia.org/wiki/Gain – bandwidth – product](http://en.wikipedia.org/wiki/Gain_bandwidth_product)
- [3] learningaboutelectronics. *Op Amp Gain–bandwidth Product*. Recuperado el 11 de marzo del 2015 de: [http : //www.learningaboutelectronics.com/Articles/Op – amp – gain – bandwidth – product](http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Op-amp-gain-bandwidth-product)
- [4] angelfire. *Voltaje de Offset*. Recuperado el 14 de marzo del 2015 de: [http : //www.angelfire.com/electronic2/xarlos/Electronica3/dos/voffset.htm](http://www.angelfire.com/electronic2/xarlos/Electronica3/dos/voffset.htm)
- [5] MIT. *Práctica introductoria de electrónica analógica*. Recuperado el 14 de marzo del 2015 de: [http : //mit.ocw.universia.net/6,101/NR/rdonlyres/Electrical – Engineering – and – Computer – Science/6 – 101Introductory – Analog – Electronics – LaboratoryFall2002/88644BA4 – 2C33 – 4FFD – A7F1 – CBF68BDAD046/0/st03lab4.pdf](http://mit.ocw.universia.net/6,101/NR/rdonlyres/Electrical-Engineering-and-Computer-Science/6-101Introductory-Analog-Electronics-LaboratoryFall2002/88644BA4-2C33-4FFD-A7F1-CBF68BDAD046/0/st03lab4.pdf)
- [6] Electrical Engineering Stack Exchange. *What’s this importance of datasheets?*. Recuperado el 14 de marzo del 2015 de: [http : //electronics.stackexchange.com/questions/16868/whats – this – importance – of – datasheets](http://electronics.stackexchange.com/questions/16868/whats-this-importance-of-datasheets)
- [7] embedded. *Typically typical*. Recuperado el 14 de marzo del 2015 de: [http : //www.embedded.com/electronics – blogs/break – points/4418969/Typically – typical](http://www.embedded.com/electronics-blogs/break-points/4418969/Typically-typical)
- [8] Universidad Nacional de Colombia. *LECCION 5.8: AMPLIFICADOR OPERACIONAL*. Recuperado el 14 de marzo del 2015 de: [http : //www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040003/lecciones/cap4lecc5 – 8.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040003/lecciones/cap4lecc5-8.htm)

A. Anexos