

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS (ESPE)

## LABORATORIO N°9



**Janeth Katherine Oyasa Sepa, Juan Daniel Tixi Yupa**

*Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas  
ESPE, Autopista General Rumiñahui S/N y Ambato, Sangolquí 171103.*

**E-mail:** [jkoyasa@espe.edu.ec](mailto:jkoyasa@espe.edu.ec), [jdtixi@espe.edu.ec](mailto:jdtixi@espe.edu.ec)

(Recibido el martes 29 de marzo de 2021, aceptado el martes 06 de marzo de 2021)

### I. Introducción

Al llegar al desarrollo de los últimos temas del syllabus de este semestre, tenemos un conocimiento más amplio de conceptos básicos de modo que podemos empezar el análisis de temas más complejos como es el caso de este último laboratorio donde se analizara de manera práctica y teórica el Amplificador Operacional en circuitos eléctricos. Además, es importante comprender el funcionamiento del Amplificador Operacional como de sus señales mediante las capturas realizadas a lo largo del procedimiento, tomando como ejemplo del circuito descrito en la guía N°9, a partir, del mismo se desarrollará el análisis matemático e ilustrativo para que

este nuevo tema se pueda comprender en su totalidad.

Es importante que antes de continuar con la práctica en el simulador se pueda analizar y determinar la relación entre las señales de entrada y salida en cada uno de los circuitos que se indican en la guía, lo cual implica reducir el tiempo de realización del proceso, incluso disminuir los recursos usados para el hallazgo de los resultados expuestos en el apartado de cálculos, también es importante demostrar simultáneamente las señales de entrada y salida en un osciloscopio, capturando las formas de onda para formular el análisis concluyente de las medidas tomadas con el simulador mejorando la comprensión del mismo.

## Objetivo General

Desarrollar mediante la teoría y práctica, el principio de funcionamiento de un Amplificador Operacional de circuitos eléctricos, además, de comparar los resultados calculador con los datos resultantes del simulador.

## Objetivos Específicos

- Distinguir cada una de las características de un Amplificador Operacional.
- Analizar la relevancia de un Amplificador Operacional en circuitos eléctricos.
- Identificar la particularidad de las entradas y la salida del dispositivo.

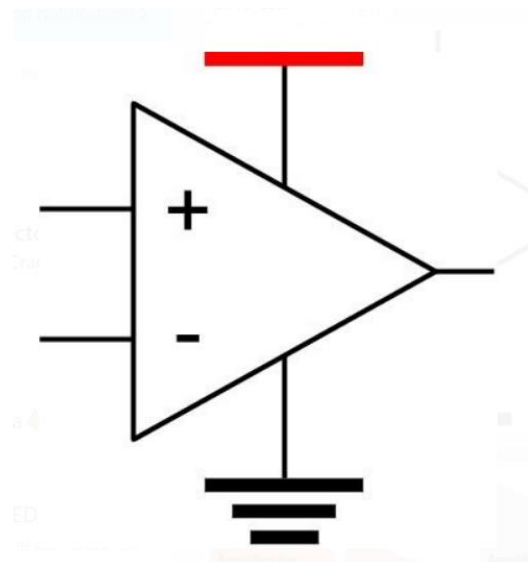
## I. Marco Teórico

### Amplificador Operacional

El surgimiento del Amplificador Operacional también conocido como Op-Amp, debido a sus siglas en inglés (Operational Amplifier) data alrededor del año 1964, de manos del ingeniero electrónico estadounidense Robert John Widlar, quien también es un diseñador de circuitos integrados lineales (CI). Podemos nombrar al amplificador operacional como un dispositivo de alta ganancia acoplado en corriente continua que mantiene dos entradas y una salida, tal como mencionamos anteriormente, así, sabemos que generalmente la salida del dispositivo como tal es mil veces mayor a la diferencia de potencia entre las entradas.

Además, sabemos que tiene una entrada positiva y una negativa, por lo que, si la entrada positiva es superior en voltaje a la entrada negativa, la salida tiene a irse

al voltaje de saturación. Un Amplificador Operacional puede estar alimentado por fuentes diferentes es decir uno de voltaje negativo y uno positivo o mediante fuentes simples como voltaje positivo y GND. Incluso es conveniente recordar que un Amplificador Operacional contiene diversas configuraciones, tal es el caso de: amplificador, no inversor, inversor y sumador.



En otras palabras, también podemos decir que los amplificadores operacionales son conocidos como dispositivos lineales de alta ganancia compactos activos ocupados para suministrar la función de transferencia deseada. En el caso de los amplificadores operacionales (A.O.) se componen de un circuito electrónico con una salida, que se obtiene mediante la diferencia de las dos entradas que tiene multiplicadas por el factor de ganancia en teoría la fórmula sería:

$$G \cdot (V_+ - V_-)$$

Una de las características de un Amplificador Operacional se expresa debido a su preparación en componente más genéricos, mostrado de modo que se puede acceder a los puntos digitales

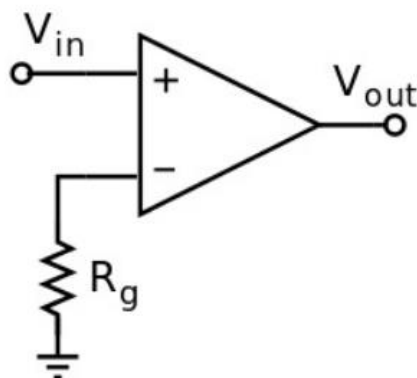
vitales donde se pueden interconectar los componentes externos que permiten al usuario cambiar la respuesta y transferencia del dispositivo.

## Etapas de los Amplificadores Operacionales



## Configuración del Amplificador Operacional en lazo abierto

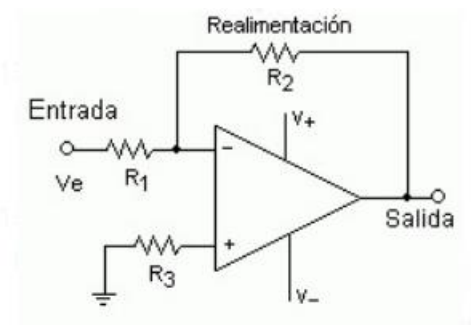
Entonces de aquí recalcamos dos configuraciones del Amplificador Operacional importantes: Lazo Abierto y Lazo Cerrado.



También se debe tomar en cuenta que, al aplicar una señal de entrada en nuestro circuito eléctrico, entonces se considera como ganancia el cociente entre la tensión de la salida ( $V_s$ ) y la entrada ( $V_e$ ) que mantiene el

amplificador operacional cuando no existe ningún lazo de realimentación entre las dos entradas y la salida. Además, es fundamental entender que el amplificador operacional ideal, mantiene ganancia infinita. Sabiendo que este tipo de configuración se utiliza en comparadores, donde deseamos saber cuál de las entradas contienen mayor tensión. Incluso conocemos que la ganancia en lazo abierto es la salida máxima que se puede obtener del amplificador operacional.

## Configuración del Amplificador Operacional en lazo abierto



Para entender la configuración del amplificador operacional en lazo cerrado decimos que mediante su uso se reduce notablemente la ganancia del dispositivo porque estaba determinada por la red de realimentación y no por las características que mantiene el dispositivo en cuestión.

La ganancia se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$A_v = - V_o / V_{in}$$

Sabiendo que el signo negativo indica que la señal en la salida va a ser opuesta a la que se encuentra en la entrada, entonces decimos que se comprueba que la señal positiva que se aplica a una entrada genera una tensión negativa en la salida y viceversa.

## II. Diseño y Cálculos

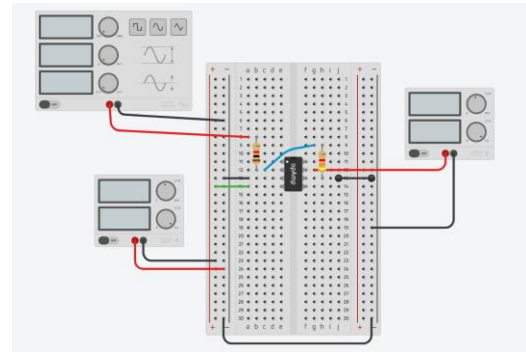
2	Generadores de Señales
2	Fuente DC
2	Osciloscopio
1	Protoboard
2	Multímetros
	Cables conductores
	Resistencias y capacitores
	Amplificadores operacionales

### Explicación

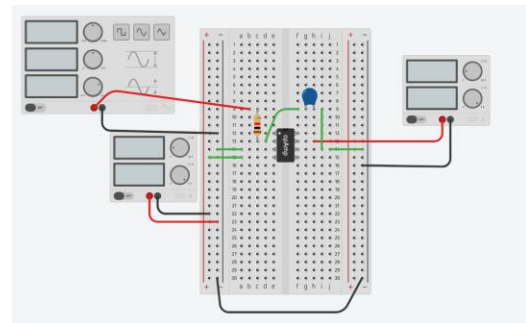
En esta práctica nos centramos en el armado de circuitos con amplificadores operacionales, los cuales se diseñan de tal forma que, la llamada resistencia de feedback sea mayor que la resistencia o las resistencias de estradas, caso contrario tendríamos un atenuador.

Siempre es bueno saber cómo se deben colocar los elementos en la Protoboard, por los que se incluye su armado respectivo.

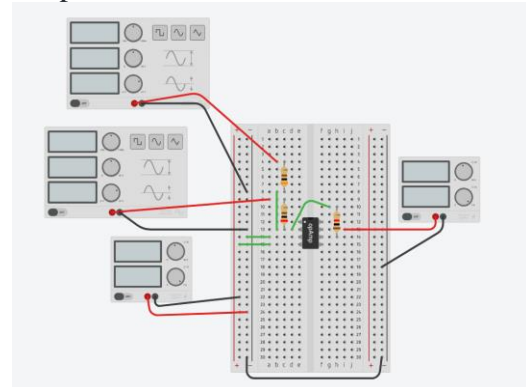
### Amplificador inversor



Amplificador Integrador



Amplificador Sumador



**El primer circuito** que se arma en esta práctica es un amplificador inversor, el cual está dispuesto de tal forma que aumenta la amplitud de la onda de entrada y la invierte.

La ganancia del circuito se encuentra de la siguiente forma:

$$\frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_f}{R_1}$$

Donde  $V_s$  es el voltaje de salida,  $V_e$  es el voltaje de entrada,  $R_f$  es la resistencia

de feedback y R1 es la resistencia de entrada.

Para el primer circuito tenemos el voltaje de salida así:

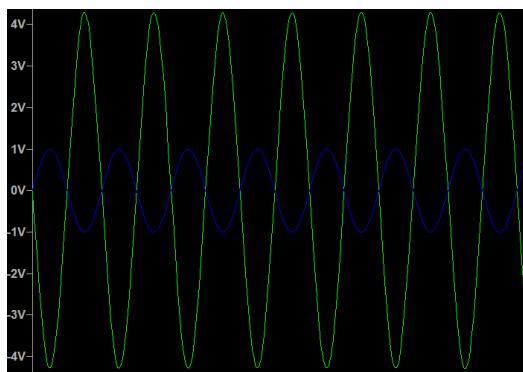
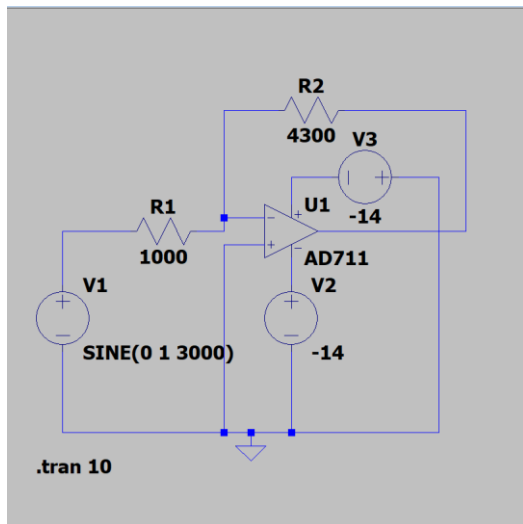
$$v_s = \frac{4.3k}{1k}(1) = 4.3 V$$

Al medir en el osciloscopio nos sale:

$$v_s = 4.35 V$$

Con un error de:

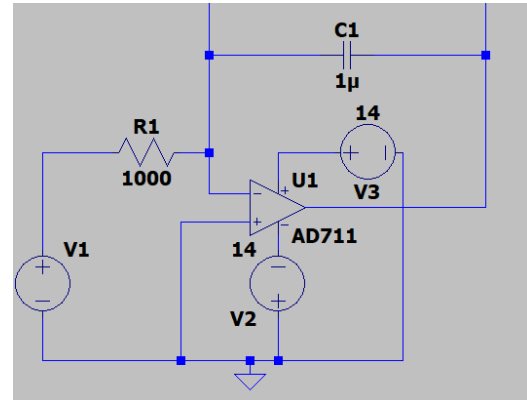
$$Error = \frac{4.3 - 4.305}{4.3} * 100 = \pm 0.11$$



Esta imagen nos provee de la señal de entrada y salida del OpAmp, claramente observamos que son las formas de onda

esperadas, la onda de la señal de entrada es menor en amplitud que la de salida, además que la onda de salida esta invertida ya que estamos usando un amplificador inversor.

**El segundo circuito** es conocido como un amplificador integrador



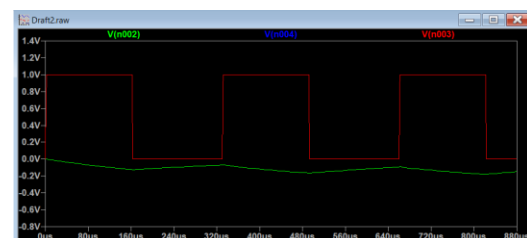
Cuyo voltaje de salida se lo calcula de la siguiente forma:

$$i_1 = i_2$$

$$\frac{V_i - 0}{R} = C \frac{d(0 - V_o)}{dt}$$

$$\frac{V_i}{R} = -C \frac{d}{dt} V_o \quad \boxed{V_o = -\frac{1}{R \cdot C} \int V_i \cdot dt}$$

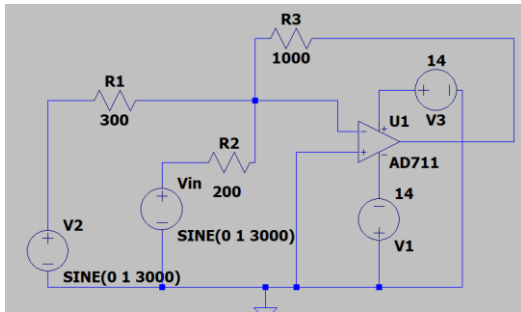
Fco. Javier Hernández Canals



Comparando las señales de entrada y salida, nos damos cuenta de algo nuevo en este circuito, como tenemos una entrada en forma de señal de onda, lo que hace este circuito es integrar la señal, con lo cual tendríamos una salida

con una señal triangular, esto se produce debido a las propiedades de los capacitores.

**El tercer circuito** es un amplificador sumador, se le llama así porque el voltaje de salida es la suma de los voltajes de salida de las dos entradas.



Y su voltaje de salida se ña deduce sabiendo que la corriente que pasa por la resistencia de 1k Ohm es la suma de las corrientes que pasan por las resistencias de 300 y 200 Ohm, por tanto:

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{v_e}{300} \\ i_2 &= \frac{v_e}{200} \\ i_3 &= \frac{v_e}{300} + \frac{v_e}{200} \quad (1) \end{aligned}$$

También sabemos que la corriente del resistor de 1k es

$$i_3 = \frac{-v_s}{1k} \quad (2)$$

Reemplazamos 2 en 1:

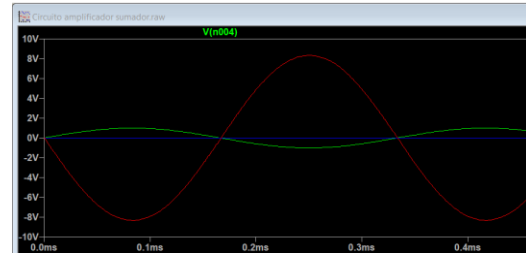
$$\frac{v_e}{300} + \frac{v_e}{200} = \frac{-v_s}{1k}$$

Despejando Vs que es nuestro voltaje de salida nos queda:

$$\frac{v_s}{v_e} = -8.33$$

$$Error = \frac{-8.33 + 8.31}{-8.33} = 0.24\%$$

Y así tenemos a relación entre el voltaje de salida y entrada, que es la ganancia para este circuito.



En la imagen, podemos observar las ondas de salida y de entrada del OpAmp, en el que la señal de entrada esta es mucho menor que el de salida y la salida igualmente esta invertida y tiene su pico o valor más alto en el voltaje de ganancia del OpAmp.

En común todos están adaptados para que la señal de entrada se amplíe y se invierta y que no se saturen con los voltajes de alimentación positivos y negativos.

## Preguntas

**Anote parámetros técnicos importantes de un amplificador operacional que deben ser tomados en cuenta al momento de utilizarlos en un proyecto.**

Cada elemento de un circuito eléctrico viene acompañado de si hoja técnica o datasheet, en el que encontramos todos los datos técnicos del elemento que vamos a usar, en este caso del OpAmp LM 741 tenemos:



Electrical Specifications		Typical Values Intended Only for Design Guidance, $V_{Ssupply} = \pm 15V$			
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		TYPICAL VALUE (ALL TYPES)	UNITS
Input Capacitance	$C_i$			1.4	pF
Offset Voltage Adjustment Range				$\pm 15$	mV
Output Resistance	$R_O$			75	$\Omega$
Output Short Circuit Current				25	mA
Transient Response		Unity Gain, $V_i = 20mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L \leq 100\mu F$			
Rise Time	$t_r$			0.3	$\mu s$
Overshoot	O.S.			5.0	%
Slew Rate (Closed Loop)	SR	$R_L \geq 2k\Omega$		0.5	V/ $\mu s$
Gain Bandwidth Product	GBWP	$R_L = 12k\Omega$		0.9	MHz

Electrical Specifications		For Equipment Design, $V_{Ssupply} = \pm 15V$							
PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	(NOTE 4) CA741, CA1558, LM741			(NOTE 4) CA741C, CA1558, LM741C, LM1458			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$R_S \leq 10k\Omega$	25	-	1	5	-	2	6	mV
		Full	-	1	6	-	-	7.5	mV
Input Common Mode Voltage Range		25	-	-	-	$\pm 12$	$\pm 13$	-	V
		Full	$\pm 12$	$\pm 13$	-	-	-	-	V
Common Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10k\Omega$	25	-	-	-	70	90	-	dB
		Full	70	90	-	-	-	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	$R_S \leq 10k\Omega$	25	-	-	-	-	30	150	$\mu V/V$
		Full	-	30	150	-	-	-	$\mu V/V$
Input Resistance		25	0.3	2	-	0.3	2	-	M $\Omega$

En esta tabla de datos encontramos datos importantes como el valor de la resistencia de entrada, los voltajes offset, los cuales en un OpAmp debe acercarse a 0.

Además de los valores de la resistencia de salida, que en este caso es 75 Ohm, que en un OpAmp ideal debería ser cero.

### III. Pruebas de funcionamiento

Para el armado del primer circuito conectamos el polo positivo del generador de señales al primer terminal de la resistencia de 1 k Ohm, para después conectar la segunda terminal de la resistencia a la entrada no inversora del OpAmp (2), la misma terminal la conectamos con la primera terminal de la resistencia de 4.3k Ohm, concentrándonos en el OpAmp conectamos las fuentes de alimentación, la fuente positiva se conecta a la pata 4 del OpAmp y la pata 4 a la fuente negativa, por ultimo conectamos la salida del OpAmp a la segunda terminal de resistor de 4.3k Ohm y la terminamos conectando a tierra, con eso ya quedaría terminado el circuito

En el segundo circuito

Para el OpAmp sumador debemos conectar cada una de los generadores a la resistencia que le pertenece, para luego conectar las terminales sobrantes

de los resistores a la resistencia de feedback, no nos olvidamos de conectar a tierra la entrada 3 del OpAmp y la entrada inversora a las resistencias de entrada, y por último la pata 6 a la tierra, con esto ya tenemos nuestro OpAmp sumador

## 7 Descripción de prerequisites y configuración

Previo a este laboratorio debemos conocer los conceptos básicos de los OpAmp, par a poder manipular bien cada uno de los elementos de este laboratorio.

Configuramos los generadores de señales, poniendo los valores de la amplitud y frecuencia respectivos en cada circuito, además de poner correctamente los valores de resistencias

## 8 Aportaciones o Recomendaciones

- Se recomienda realizar correctamente las conexiones en el Protoboard, asegurándose que las líneas de alimentación del OpAmp estén con la polaridad adecuada
- Se recomienda realizar las conexiones de los osciloscopios, teniendo en cuenta que se miden voltajes y se debe conectar en paralelo al elemento que estamos midiendo
- Además de esto se debe tener, en cuenta que, si los voltajes de retroalimentación son menores que el voltaje de ganancia, entonces va a existir una saturación.

## 9 Conclusiones

Al culminar la práctica N°9 de este semestre podemos visualizar no solo teóricamente, sino matemática y prácticamente el funcionamiento además de la aplicabilidad de un amplificador operacional en los circuitos eléctricos, lo que nos permite, mantener una infinidad de aplicaciones de las cuales solo abordamos unas cuantas en este informe según la necesidad del usuario para cada uno de los circuitos. Si algo podemos destacar de este laboratorio es que el Op-Amp mantiene un aumento o disminución de voltaje dependiendo de la señal de entrada.

Además, el porcentaje de error presente en el laboratorio no es muy extenso, de modo, que concluimos que los resultados obtenidos y plasmados en este informe se consideran idóneos para las interpretaciones correspondientes. Sin embargo, es importante recalcar que la diferencia correspondiente se encuentra por el manejo de los decimales y la implementación del Op-Amp, pues una aplicación correcta muestra una respuesta idónea para el análisis de resultados en comparación al desperfecto que puede surgir en el circuito debido a su mal uso.

## 10 Bibliografía

## Bibliografía

ACADENAS. (6 de Octubre de 2019). AMPLIFICADOR OPERACIONAL. AMPLIFICADOR OPERACIONAL: Lo que debes saber para empezar (Clase 60). Recuperado el 3 de Abril de 2021, de <https://www.youtube.com/watch?v=-jNR4824ifo>

Electrónica FP. (2 de Mayo de 2016). Amplificador Operacional 1 - comparador. Amplificador Operacional. Recuperado el 5 de Abril de 2021, de <https://www.youtube.com/watch?v=EbobLluwmP4>

KhanAcademyEspañol. (24 de Octubre de 2016). ¿Qué es un amplificador operacional? ¿Qué es un amplificador operacional? | Ingeniería eléctrica | Khan Academy en Español. Recuperado el 2 de Abril de 2021, de [https://www.youtube.com/watch?v=V\\_T5xbaSTrE](https://www.youtube.com/watch?v=V_T5xbaSTrE)

McAllister, W. (2017). ¿Qué es un amplificador operacional? Khan Academy. Recuperado el 4 de Abril de 2021, de <https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-amplifiers/ee-opamp/v/ee-opamp-intro>

Jack E. Kemmerly, W. H. (2007). Análisis de Circuitos en Ingeniería. México: Mc. Graw Hill.

Charles K. Alexander, M. N. (2006). : FUNDAMENTALS OF ELECTRIC CIRCUITS, THIRD EDITION. México:



11 Anexos

$$\frac{v_s}{v_e} = - \frac{R_f}{R_1}$$

$$Error = \frac{-8.33 + 8.31}{-8.33} = 0.24\%$$

Electrical Specifications		Typical Values Intended Only for Design Guidance, $V_{DDSUPPLY} = \pm 15V$					
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS			TYPICAL VALUE (ALL TYPES)		UNITS
Input Capacitance	$C_i$				1.4		pF
Offset Voltage Adjustment Range					$\pm 15$		mV
Output Resistance	$R_O$				75		$\Omega$
Output Short Circuit Current					25		mA
Transient Response		Unity Gain, $V_i = 20mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L \leq 100pF$					
Rise Time	$t_r$				0.3		$\mu s$
Overshoot	O.S.				5.0		%
Slew Rate (Closed Loop)	SR	$R_L \geq 2k\Omega$			0.5		V/ $\mu s$
Gain Bandwidth Product	GBWP	$R_L = 12k\Omega$			0.9		MHz

Electrical Specifications		For Equipment Design, $V_{DDSUPPLY} = \pm 15V$						
PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	(NOTE 4) CA741, CA1558, LM741			(NOTE 4) CA741C, CA1458, LM741C, LM1458		UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	
Input Offset Voltage	$R_G \leq 10k\Omega$	25	-	1	5	-	2	mV
		Full	-	1	6	-	-	7.5
Input Common Mode Voltage Range		25	-	-	-	$\pm 12$	$\pm 13$	V
		Full	$\pm 12$	$\pm 13$	-	-	-	V
Common Mode Rejection Ratio	$R_G \leq 10k\Omega$	25	-	-	-	70	90	dB
		Full	70	90	-	-	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	$R_G \leq 10k\Omega$	25	-	-	-	30	150	$\mu V/V$
		Full	-	30	150	-	-	$\mu V/V$
Input Resistance		25	0.3	2	-	0.3	2	M $\Omega$

Con un error de:

$$Error = \frac{4.3 - 4.305}{4.3} * 100 = \pm 0.11$$