



FCEFyN

Facultad de  
Ciencias Exactas  
Físicas y Naturales

## **Síntesis de Redes Activas**

### **Trabajo Práctico 5**

#### *PROFESORES:*

Dr. Ing. Ferreyra Pablo.

Ing. Reale Cesar.

#### *ALUMNOS:*

Dalla Fontana Facundo.

Gonzalez Bruno.

Lafay Justin.

Antonin, Kulyk.

<b>Especificaciones de Diseño.....</b>	<b>2</b>
<b>Transductor.....</b>	<b>2</b>
Comportamiento de una celda de carga.....	2
<b>Etapa Amplificadora.....</b>	<b>3</b>
Análisis Teórico.....	4
Simulación.....	4
→ Diagrama Esquemático.....	4
→ Análisis Transient.....	4
<b>Errores.....</b>	<b>5</b>
Errores en etapa de sensado.....	5
Variación de la sensibilidad.....	5
Balance Zero.....	5
Desplazamiento del cero con la temperatura.....	5
Creep.....	5
Combined error.....	5
Error en la etapa amplificadora.....	6
Error de continua.....	6
Error por desajuste de tensión en la entrada.....	6
Error por corriente de polarización.....	7
Error debido a RRMC finito.....	7
Error debido a Ad finito.....	7
Error Total.....	7
Precisión máxima posible en bits.....	7
<b>Costos.....</b>	<b>9</b>
<b>Hojas de Datos.....</b>	<b>9</b>

## Especificaciones de Diseño

- Resolución de 1 gramo.
- Temperatura de funcionamiento de 0°C a 40°C.
- Rango máximo de 2 Kg.

## Transductor

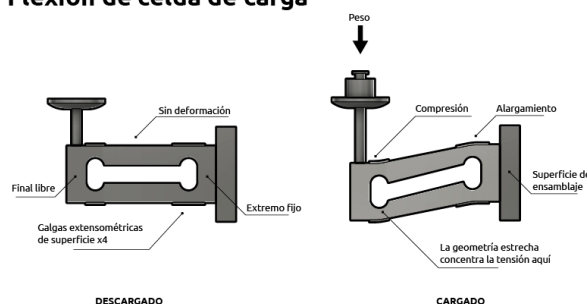
### Comportamiento de una celda de carga

Para medir el peso, la celda de carga traduce la fuerza aplicada sobre una superficie a una señal eléctrica.

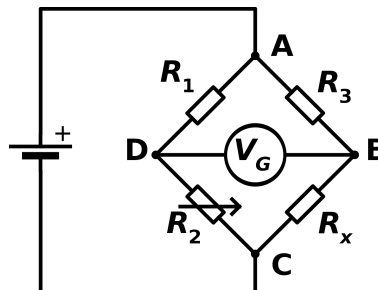
Para lograr esto se adhieren galgas extensiométricas (pequeños alambres o láminas que cambian su resistencia con la deformación) al material elástico. Cuando se aplica una carga sobre la celda, el material se deforma y las galgas extensiométricas se estiran o comprimen, lo que cambia su resistencia eléctrica.

Este cambio en la resistencia se convierte en una señal eléctrica proporcional a la carga aplicada.

#### Flexión de celda de carga



Generalmente, las galgas extensiométricas están conectadas en configuración similar al puente de Wheatstone.



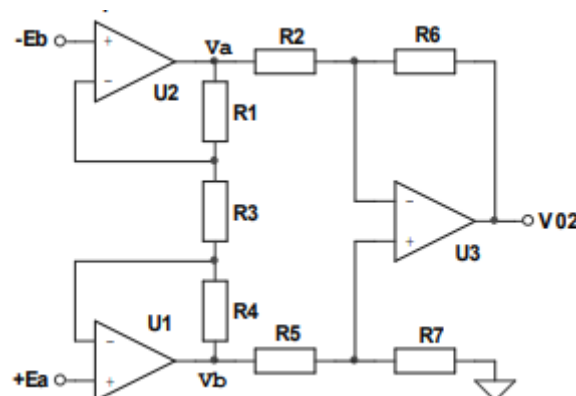
Seleccionamos la celda YZC-1B cuyas especificaciones son las siguientes:

Application	计价秤 Price computing scales	
Model	YZC-1B	
Capacity	Kg	2, 3, 5, 8, 10, 30, 35, 40, 50, 60, 80
Rated output	MV/V	2.0±0.15
Accuracy class		C2 C3
Maximum number of verification intervals	$n_{max}$	2000 3000
Minimum load cell verification intervals	$V_{mh}$	$E_{Max}/5000$ $E_{Max}/500$
Combined error	%RO	$\leq \pm 0.030$ $\leq \pm 0.020$
Creep	%RO/30min	0.03 0.0167
Temperature effect on sensitivity	%RO/°C	0.0016
Temperature effect on zero	%RO/°C	0.003 0.002
Zero balance	%RO	±1.0
Input resistance	$\Omega$	402±6 1066±10
Output resistance	$\Omega$	350±3 1000±10
Insulation resistance	M $\Omega$ (50V)	5000
Recommended excitation voltage	V	10~15
Compensated temperature range	°C	-10~+40
Operating temperature range	°C	-35~+80
Safe overload	%RO	150
Ultimate overload	%RO	200
Load cell material		铝合金 Aluminium
Platform size		350X350
Connecting cable		Ø 4.2X350mm

Alimentando con 10V, el fondo de escala se encuentra en 20 mV +- 3 mV en el peor de los casos.

## Etapa Amplificadora

Se diseña una red de amplificación en configuración amplificador de instrumentación para amplificar la salida de la celda de carga. A continuación se observa su diagrama esquemático:



Este diseño consta de una etapa amplificadora seguida de una etapa en configuración amplificador diferencial que permite reducir los errores producidos en la primera etapa. Como operacional se selecciona el LMC606x de Texas Instruments, cuyas características principales son:

- RRMC = 85 dB
- Vos = 100  $\mu$ V
- Ipol = 0,01 pA
- Ios = 0,005 pA
- Ad(0) = 140 dB

## Análisis Teórico

$$V_{out_{U1}} = V_b = \frac{V_b}{E_A} (\text{para } E_B = 0) + \frac{V_b}{E_B} (\text{para } E_A = 0) = E_A \cdot (1 + \frac{R_4}{R_3}) + 0 = E_A (1 + \frac{R_4}{R_3})$$

$$V_{out_{U2}} = V_a = \frac{V_a}{E_A} (\text{para } E_B = 0) + \frac{V_a}{E_B} (\text{para } E_A = 0) = 0 + E_B \cdot (1 + \frac{R_1}{R_3}) = E_B (1 + \frac{R_1}{R_3})$$

$$V_{out_{U3}} = V_o = \frac{V_o}{V_A} (\text{para } V_B = 0) + \frac{V_o}{V_B} (\text{para } V_A = 0) = -\frac{R_6}{R_2} \cdot V_A + (1 + \frac{R_6}{R_2}) (\frac{R_7}{R_5 + R_7}) \cdot V_B$$

Reemplazando  $V_A$  y  $V_B$  :

$$V_{out_{U3}} = V_o = -\frac{R_6}{R_2} \cdot E_B (1 + \frac{R_1}{R_3}) + (\frac{R_2 + R_6}{R_2}) (\frac{R_7}{R_5 + R_7}) \cdot E_A (1 + \frac{R_4}{R_3})$$

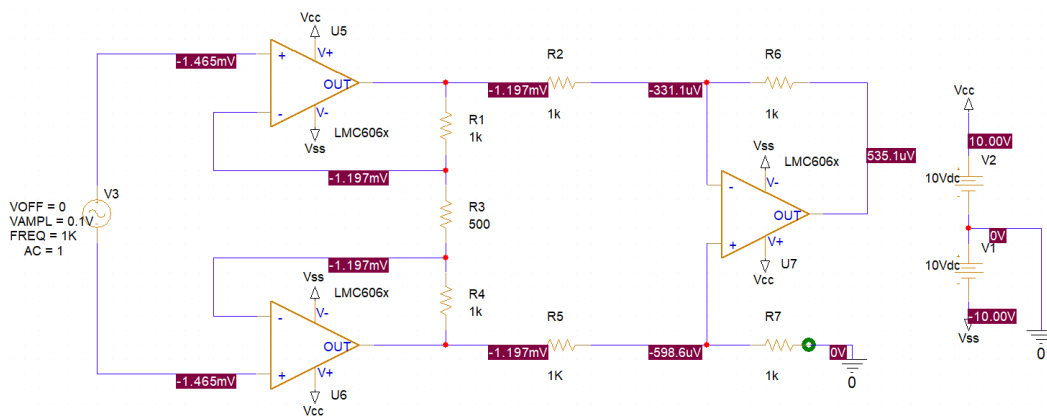
Para  $R_1=R_4$ ;  $R_2=R_5$ ;  $R_6=R_7$ :

$$V_{out_{U3}} = V_o = \frac{R_6}{R_2} \cdot (1 + 2 \frac{R_1}{R_3}) \cdot (E_A - E_B)$$

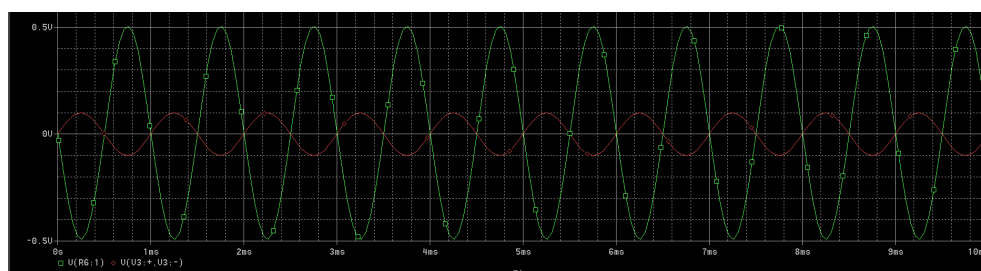
Se observa que  $R_3$  permite controlar la ganancia.

## Simulación

→ Diagrama Esquemático



→ Análisis Transient



# Errores

## Errores en etapa de sensado

### Variación de la sensibilidad

Por especificación encontramos que es de 0.15mV/V  
Debido a la alimentación de 10V:

$$\Delta V_o = 1.5mV$$

### Balance Zero

Voltaje diferencial a la salida producido por un desbalance en las resistencias cuando no hay carga sobre la balanza.

$$\Delta V_o = 20mV \times 0.003 = 0.06mV$$

### Desplazamiento del cero con la temperatura

Efecto de la temperatura sobre la sensibilidad de la celda

$$\Delta V_o = 20mV \times 0.0016 \frac{1}{^{\circ}C} = 0.032mV/^{\circ}C$$

### Creep

Indica variación de la tensión de salida cuando la celda se encuentra con una carga invariable durante un largo período de tiempo. En este caso la especificación está dada para 30 minutos. Este error se puede corregir por software y no será tenido en cuenta en el recuento de error total.

$$\Delta V_o = 20mV \times 0.03 \frac{1}{30min} = 0.6mV/30min$$

### Combined error

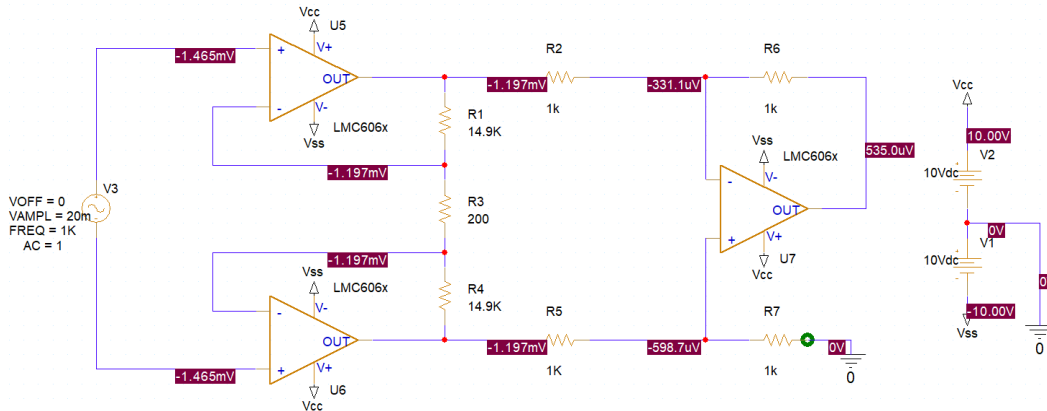
Por último, el fabricante asegura que el error total producido por la celda es menor a:

$$\Delta V_o = 20mV \times 0.03 = 0.6mV$$

## Error en la etapa amplificadora

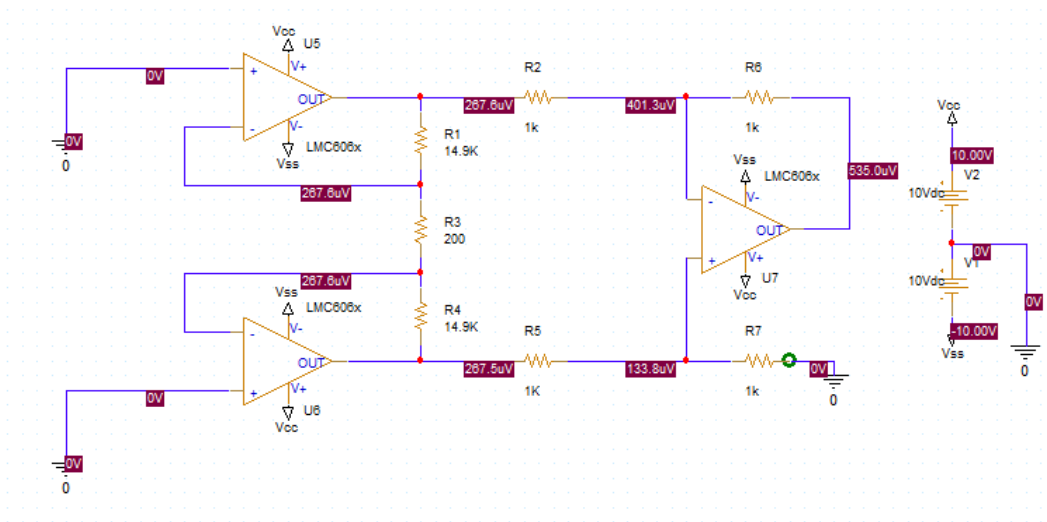
Teniendo en cuenta como fondo de escala de la celda de carga  $FS=20\text{mV}$  y como fondo de escala de la etapa amplificadora  $3\text{V}$ , la ganancia deberá ser de  $150\text{ V/V}$ .

Para esto se selecciona  $R3=200$  y  $R1=R4=14.9\text{K}$



## Error de continua

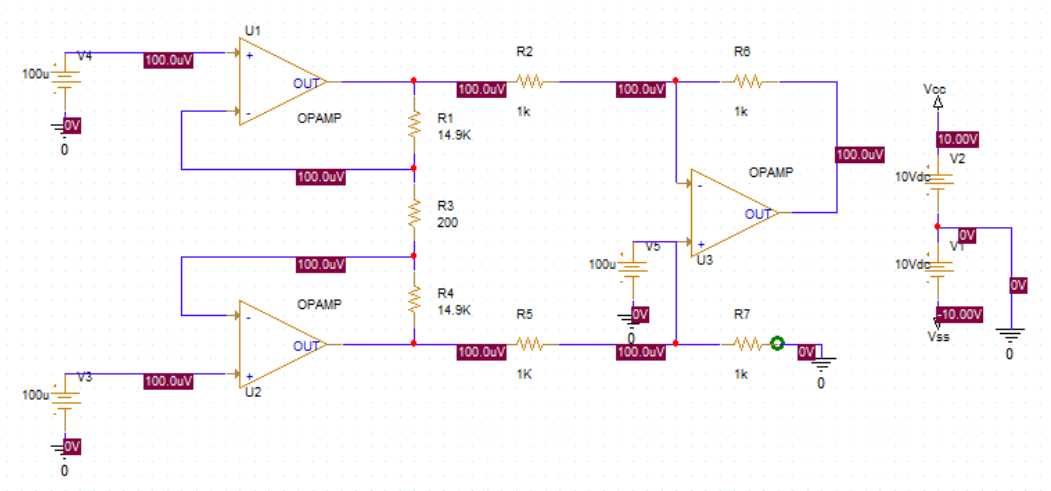
Para contemplar tanto el error por desajuste de tensión en la entrada como el error por corrientes de polarización se procede a simular el circuito en ausencia de señal en la entrada y observar la tensión de salida.



Se observa un error de continua  $\Delta V=535\text{ uV}$

## Error por desajuste de tensión en la entrada.

Para determinar este error se realiza simulación con amplificadores operacionales ideales teniendo en cuenta como entrada en la pata positiva de cada uno de ellos la tensión de desajuste de entrada  $V_{os}=100\text{ uV}$  del LMC6064.



Como podemos ver, la etapa diferencial de ganancia unitaria elimina el error de la etapa anterior y a la salida el desajuste es de 100 uV.

$$\Delta V_{os} = 100 \text{ uV}$$

### Error por corriente de polarización

Teóricamente:

$$\Delta I_{os} = I_{os} \cdot R_6 = 0.01 \text{ pA} \cdot 1000 \Omega = 10 \text{ pV}$$

### Error debido a RRMC finito

Teniendo en cuenta nuevamente que la etapa diferencial elimina el error de la primera etapa amplificadora:

$$\Delta V_o = \frac{FS}{RRMC} = \frac{3V}{17782.7941} = 168.7 \text{ uV}$$

### Error debido a Ad finito

$$\Delta V_o = \frac{FS}{T} = \frac{3V}{0.5.10000000} = 0.6 \text{ uV}$$

### Error Total

$$\Delta V_o = 269.3 \text{ uV}$$

Para hacer un análisis más conservador se opta por tomar como error total el obtenido en la simulación  $\Delta V_o = 535 \text{ uV}$ .

### Precisión máxima posible en bits

Para la correcta elección de un ADC necesario para digitalizar los datos luego de la amplificación analógica, se debe calcular la cantidad de bits suficiente para no digitalizar componentes de la señal analógica que pertenecen al error de la etapa de amplificación.



Error total = 535 uV

Fondo de escala ADC=3V

$$\frac{FS}{2^n} \geq Error\ Total$$
$$\log_2\left(\frac{3V}{0.000535V}\right) > n$$
$$12.4 > n$$

Por lo tanto, la cantidad de bits del adc a utilizar deberá ser de 12 bits o menos.

Utilizando 12 bits la resolución permitiría distinguir entre 0.7g, cumpliendo con las especificaciones.

## Costos

Teniendo en cuenta los componentes utilizados:

Componente	Costo (usd)
Celda de carga YZC-1B	\$8.96
Amplificador Operacional LMC606x x3	\$1.755
Resistors 1% S82KCATR-ND 19	\$0.11210
Costo estimado	\$10.82

Cabe destacar que en los costos no se contempla la etapa de alimentación del circuito ni el ADC posterior a la amplificación.

## Hojas de Datos

[Celda de carga](#)

[LMC606x Texas Instruments](#)