



# ***Universidad Nacional de Córdoba***

*Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y  
Naturales*

*Síntesis de redes activas: Trabajo práctico balanza*

*Profesor Titular: Dr. Ing. Pablo Ferreyra*

*Profesor Adjunto: Ing. César Reale*

*Alumnos:*

*Verstraete, Enzo*

*Campos, Mariano*

*Comisión*



## Contenido

Problema propuesto .....	3
Análisis de mercado .....	3
Comparación Específica de Modelos .....	3
Análisis Económico de la Balanza Systeclipse .....	4
Resumen de Costos Ajustado:.....	5
Análisis diseño del circuito .....	6
Errores debidos la temperatura: .....	9
Selección de componentes .....	10
Conclusión .....	11



## Problema propuesto

El objetivo este trabajo es desarrollar una balanza, que se capaz de discriminar 1g con el menor error posible, implementando distintas técnicas para reducir tanto los errores de medición y los costos de producción. No solo se tienen en cuenta aspectos técnicos de la balanza sino también aspectos económicos, como competitividad en el mercado, rentabilidad, etc.

## Análisis de mercado

En el siguiente apartado se realiza un pequeño análisis con las características y los precios de las distintas balanzas ya disponibles en el mercado, la idea es sacar un precio promedio de las distintas balanzas para determinar un precio de venta final de nuestro producto, esto nos va a definir la cantidad de dinero disponible para nuestro desarrollo.

### Comparación Específica de Modelos

*Systel Clipse:*

Capacidad: 5 kg

Características:

- Pantalla LED
- Función de acumulación
- Tecla Tara (máxima -1,6 kg)
- Bandeja de acero inoxidable
- 200 memorias
- Voltaje: 100V/240V
- Sin mástil

Precio Aproximado: ARS \$348,000 (para el modelo de 30 kg)

*Teraoka DS-781:*

Capacidad: 6 kg

Características:

- Pantalla LCD
- Función de acumulación
- Tecla Tara
- Bandeja de acero inoxidable
- Memorias programables
- Voltaje: 100V/240V
- Sin mástil

Precio Aproximado: ARS \$400,000

*Toledo 8217:*

Capacidad: 5 kg

Características:

- Pantalla LCD
- Función de acumulación
- Tecla Tara
- Bandeja de acero inoxidable
- Memorias programables
- Voltaje: 100V/240V
- Sin mástil

Precio Aproximado: ARS \$370,000

*Avery Berkel Xs100:*

Capacidad: 5 kg

Características:

- Pantalla LCD
- Función de acumulación
- Tecla Tara
- Bandeja de acero inoxidable
- Memorias programables
- Voltaje: 100V/240V
- Sin mástil

Precio Aproximado: ARS \$380,000

La balanza Systel Clipse ofrece una excelente relación calidad-precio, con características avanzadas y un precio competitivo. Es una opción atractiva para pequeños y medianos comercios que buscan una balanza confiable y funcional.

## Análisis Económico de la Balanza Systel Clipse

*Impuestos Asociados:*

*Impuestos Nacionales:*

1. IVA (Impuesto al Valor Agregado):

- Tasa: 21%
- Aplicación: Se aplica al precio de venta final del producto.

2. Derechos de Importación (si aplica):

- Tasa: Varía según el tipo de producto y su origen. Generalmente, los aranceles de importación para equipos electrónicos pueden oscilar entre el 10% y el 35%.



UNC

Universidad Nacional de Córdoba  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Síntesis de redes activas

*Impuestos Provinciales y Municipales:*

1. Ingresos Brutos:

- Tasa: Varía según la provincia, generalmente entre el 3% y el 5% sobre los ingresos brutos de la empresa.

2. Tasas Municipales:

- Tasa: Varía según el municipio. Pueden incluir tasas por habilitación comercial, inspección de seguridad e higiene, entre otras.

*Revisión de Costos:*

*Costo de Producción:*

1. Materiales:

- Componentes Importados: ARS \$100,000 (costo base) + ARS \$20,000 (aranceles de importación) = ARS \$120,000
- Componentes Nacionales: ARS \$30,000

2. Mano de Obra: ARS \$50,000

3. Otros Costos: ARS \$19,600

Total, Costo de Producción: ARS \$120,000 + ARS \$30,000 + ARS \$50,000 + ARS \$19,600 = ARS \$219,600

*Impuestos:*

1. IVA (21%):  $\text{ARS } \$348,000 \times 0.21 = \text{ARS } \$73,080$

2. Ingresos Brutos (3%):  $\text{ARS } \$348,000 \times 0.03 = \text{ARS } \$10,440$

3. Impuestos y tasas municipales (6%):  $\text{ARS } \$348,000 \times 0.06 = \text{ARS } \$20,880$

*Margen de Ganancia(vendedores):*

1. Distribuidores y Minoristas: ARS \$24,000

Resumen de Costos Ajustado:

Costo de Producción: ARS \$219,600

Impuestos:

- IVA: ARS \$73,080
- Ingresos Brutos: ARS \$10,440
- Imp y tasas municipales: ARS \$20,880

Margen de Ganancia: ARS \$24,000

Total:

$\text{ARS } \$219,600 + \text{ARS } \$73,080 + \text{ARS } \$10,440 + \text{ARS } \$20,880 + \text{ARS } \$24,000 = \text{ARS } \$348,000$

Precio estimado a la venta estimado:

ARS \$ 370,000

Margen de ganancia:

ARS \$ 370,000-ARS \$348000= **ARS \$ 22,000**

## Análisis diseño del circuito

Para el diseño de la balanza se propuso un primer diseño, una primera etapa con un amplificador diferencial y en la segunda etapa un amplificador no inversor, el objetivo en esta sección es calcular la ganancia total del amplificador, y analizar los errores de CC, esto nos va a permitir seleccionar los componentes electrónicos que cumplan con los requerimientos y poder determinar el costo aproximado del circuito.

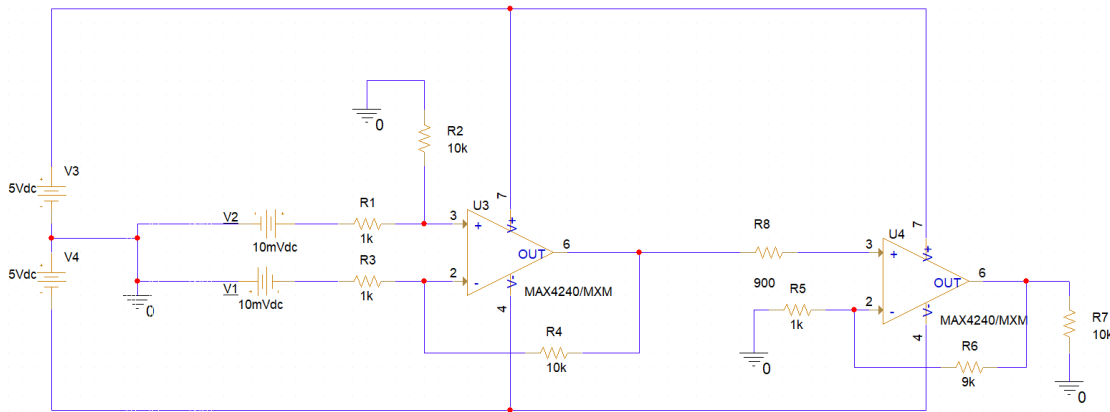


Figura 1: Diseño del circuito de la balanza

Salida del circuito:

$$V_o = (V_2 - V_1)100$$

Error por corriente de offset para U1:

$$T_1 = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} Ad_1$$

$$\Delta V = \left[ I_{pol}^+ \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} Ad_1 + I_{pol}^- \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} (-Ad_1) \right] \frac{R_3 + R_4}{R_3}$$

$$\Delta V_o(I_{os1}) = \frac{\frac{\Delta V_o}{I_{os1}} LA I_{os1}}{1 - T_1}$$

$$\Delta V(I_{os1}) = \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} Ad_1 \frac{R_3 + R_4}{R_3} I_{os1}}{1 + \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} Ad_1 \right)} = R_2 \frac{R_3 + R_4}{R_3} I_{os1}$$



Para U2 tenemos que:

$$T2 = \frac{-R3}{R3 + R4} Ad2$$

$$Rp = R3 || R4$$

$$\Delta V = I_{pol}^+ \frac{R3 R4}{R3 + R4} Ad2 + I_{pol}^- \frac{R3 R4}{R3 + R4} (-Ad2)$$

$$\Delta V_o(I_{os2}) = \frac{\frac{\Delta V_o}{I_{os2}} LA I_{os2}}{1 - T2}$$

$$\Delta V(I_{os2}) = \frac{I_{os2} \frac{R3 R4}{R3 + R4} Ad2}{1 + \frac{R3 R4}{R3 + R4} Ad2} = R4 I_{os2}$$

Error de tensión de offset para U1

$$\Delta V = Vos1 Ad1 \frac{R3 + R4}{R3}$$

$$\Delta V_o(Vos1) = \frac{\frac{\Delta V_o}{Vos1} LA Vos1}{1 - T1}$$

$$\Delta V(Vos1) = \frac{Vos1 Ad1 \frac{R3 + R4}{R3}}{1 + \frac{R1}{R1 + R2} Ad1} = Vos1 \frac{R1 + R2}{R1} \frac{R3 + R4}{R3}$$

Para U2 tenemos que:

$$\Delta V = Vos2 Ad2$$

$$\Delta V_o(Vos1) = \frac{\frac{\Delta V_o}{Vos2} LA Vos2}{1 - T2}$$

$$\Delta V_o(Vos1) = \frac{Vos2 Ad2}{1 + \frac{R3}{R3 + R4} Ad2} = Vos2 \frac{R3 + R4}{R3}$$

Error para Ad1 finito:

$$\Delta V(Ad1) = \frac{FS}{|T1|} \frac{R3 + R4}{R3} = \frac{FS}{\frac{R1}{R1 + R2} Ad1} \frac{R3 + R4}{R3}$$



Error para Ad2 finito:

$$\Delta V(Ad1) = \frac{FS}{|T2|} = \frac{Fs}{\frac{R3}{R3 + R4} Ad2}$$

Análisis para relación de rechazo finita:

$$\Delta V = \frac{Vc}{RRMC} Ad \frac{R3 + R4}{R3}$$

$$\Delta Vo(Vc1) = \frac{\frac{\Delta V}{Vc1} LA Vc1}{1 - T1}$$

$$\Delta Vo(Vc1) = \frac{\frac{V2 \frac{R2}{R2 + R1}}{RRMc} Ad1 \frac{R3 + R4}{R3}}{\frac{R3 + R4}{R3} Ad1} = \frac{V2 R2 R3 + R4}{RRMC R3 R1}$$

Obtenidas las expresiones de los errores, se determinarán los componentes en base a los requerimientos

Para los requerimientos de nuestra balanza se desea que pueda discriminar 1g en 5000g, por lo que necesitamos que el ADC pueda tomar por lo menos 5000 valores distintos.

$$2^n = 5000$$

$$n = \log_2(5000) = 12.28$$

Con 12 bits son 1.22g por valor, es bastante aproximado.

Teniendo en cuenta que la salida del sensor es de  $\pm 20[mV]$  y que la ganancia del amplificador es de 100 veces, el rango dinámico de la señal es de 2[V], esta tensión se utiliza como tensión de referencia del ADC. Esto quiere decir que la resolución de cada paso es de:

$$step = \frac{2[V]}{2^{12}} = 0.48[mV]$$

Por lo que el error de nuestro amplificador debe ser menor al paso, el operacional seleccionado es el MAX 4238/4239 (datasheet se adjunta al final), se calcula el error total en continua:

$$Ios = \pm 10[pA]$$

$$\Delta Vo(Ios1) = 2 \times 10^{-7} [V]$$

$$\Delta Vo(Ios2) = 1.8 \times 10^{-8} [V]$$

$$Vos = \pm 1[uV]$$

$$\Delta Vo(Vos1) = 1.1 \times 10^{-4} [V]$$

$$\Delta Vo(Vos2) = 1 \times 10^{-5} [V]$$

$$Ad = 100[dB]$$





$$\Delta V_o(Ad1) = 2.2 \times 10^{-5} [V]$$

$$\Delta V_o(Ad2) = 2 \times 10^{-5} [V]$$

$$\Delta V_o(RRMC) = 2 \times 10^{-5} [V]$$

Error total de continua:

$$\Delta V = 183 [\mu V] = 0.183 [mV]$$

Se verifica que el error es menor al step del ADC.

### Errores debidos la temperatura:

Cabe destacar que estos errores los hemos separado de los demás por una simple razón, los errores ya mencionados son para el peor amplificador de la línea que hemos comprado, pero con condiciones de funcionamiento estables y adecuadas para todo el circuito electrónico, en cambio, el error por temperatura es por malas condiciones de trabajo del circuito, o sea, son errores de diseño, análisis y testeo si es que se llega al mercado con estos errores.

Error de drift, por temperatura aparece un voltaje a la salida (offset de salida) cuando la temperatura ambiente es diferente de los 25°. Por datasheet:

$$\Delta V_o (drift1) = 10 \left[ \frac{nV}{C^\circ} \right] T [C^\circ]$$

Suponiendo esto para el peor de los casos (máxima temperatura soportada) 120 [C°].

$$\Delta V_o (drift1) = \left( 10 \left[ \frac{nV}{C^\circ} \right] 120 [C^\circ] \right) \frac{R_3 + R_4}{R_3} = 1,2 \times 10^{-5} [V]$$

$$\Delta V_o (drift2) = 10 \left[ \frac{nV}{C^\circ} \right] 120 [C^\circ] = 1,2 \times 10^{-6} [V]$$

$$\Delta V_o (drift) = \Delta V_o (drift1) + \Delta V_o (drift2) = 1,32 \times 10^{-5} [V]$$

Error por temperatura asociado a la tensión de offset de entrada, debido a la temperatura también aumenta el error de tensión de offset de entrada. Vamos a tomar 2 rangos de temperatura, de 40° a 85° y de 85° a 125°.

$$\text{Para: } 40^\circ < T < 85^\circ \rightarrow \Delta V_o (V_{os1}) = 2,75 \times 10^{-4} [V] \text{ y } \Delta V_o (V_{os2}) = 2,5 \times 10^{-5} [V]$$

$$\text{Para: } 85^\circ < T < 125^\circ \rightarrow \Delta V_o (V_{os1}) = 3,85 \times 10^{-4} [V] \text{ y } \Delta V_o (V_{os2}) = 3,5 \times 10^{-5} [V]$$

En este caso, volvemos a calcular de nuevo el error total para esta temperatura:

$$\text{Para: } 40^\circ < T < 85^\circ \rightarrow \Delta V_o = 3,63 \times 10^{-4} [V] = 363 [\mu V]$$

$$\text{Para: } 85^\circ < T < 125^\circ \rightarrow \Delta V_o = 4,94 \times 10^{-4} [V] = 494 [\mu V]$$



Se simula la variación de tensión, se observa que para 25°C y una entrada de 20mV tenemos la salida en verde, para la misma entrada y 125°C se observa la salida en rojo.

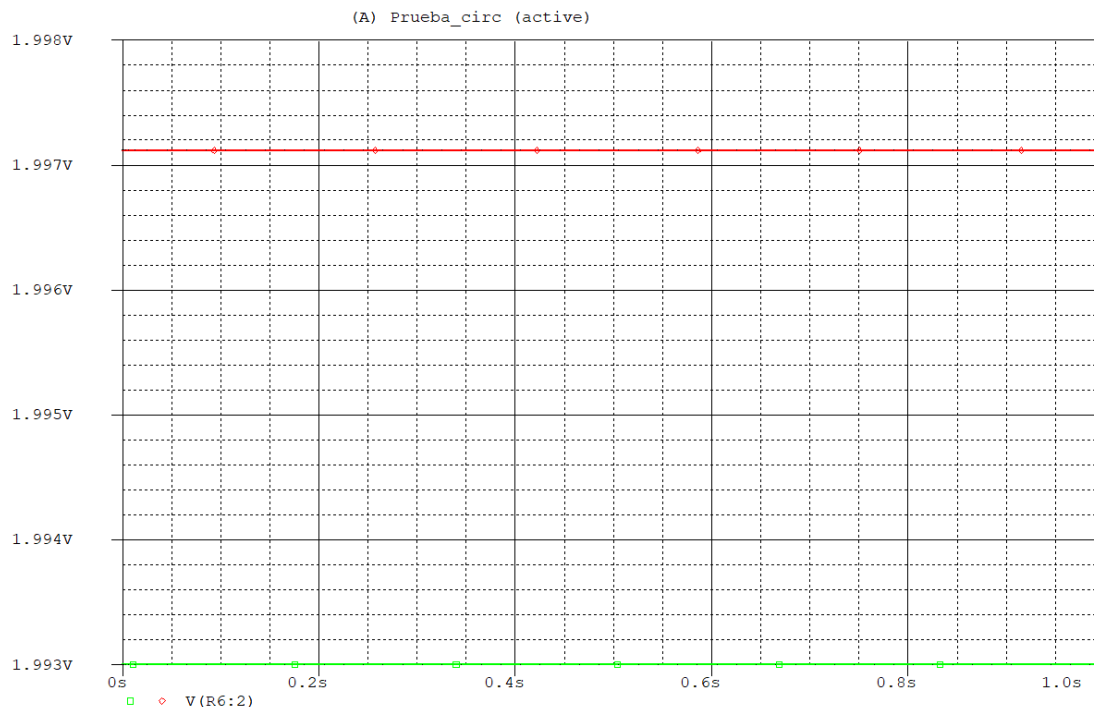


Figura 2: Salida para 25°C y 125°C

## Selección de componentes

En base al análisis anterior y estipulando que el presupuesto para la electrónica es 30.000,00\$, se seleccionan lo siguientes componentes:

Componentes	Modelo	Precio Un.(USD)	Precio Un. (ARS)	Cantidad	Precio Total(ARS)
Celda de carga	SEN-14729	\$ 13,12	\$ 13.120,00	1000	\$ 13.120.000,00
OAMP	MAX 4238/4239	\$ 1,52	\$ 1.520,00	2000	\$ 3.040.000,00
Res. 1k $\pm$ 0,5%	RR1220P-102-D	\$ 0,02	\$ 18,48	3000	\$ 55.440,00
Res. 10k $\pm$ 0,1%	RNCF0603BTE10K0	\$ 0,06	\$ 56,00	2000	\$ 112.000,00
Res. 9k $\pm$ 0,1%	RT0805BRE079KL	\$ 0,08	\$ 79,67	1000	\$ 79.670,00
Microcontrolador	PIC32MK1024MCF064T-I/MR	\$ 8,21	\$ 8.210,00	1000	\$ 8.210.000,00
Impresión PCB	-	\$ 0,14	\$ 137,00	1000	\$ 137.000,00
Restantes	-	\$ 5,25	\$ 5.245,89	1000	\$ 5.245.890,00

Dando como resultado final un precio de 24.754,11\$ de electrónica por balanza, teniendo un margen de 222.246,00\$ para el resto de componentes (carcasa, display, mano de obra, calibración, etc.), los costos esta estipulados para una serie de 1000 balanzas.

Datasheet del operacional:

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/73314/MAXIM/MAX4238.html>



## Conclusión

Como resumen del trabajo podemos concluir el análisis del mercado resulta fundamental para determinar el grado de libertad que se tiene a la hora de ponderar un diseño y proponer una solución, esta no solo debe ser optima desde el punto de vista técnico (debe cumplir los requerimientos), sino que la solución de diseño debe ser competitiva desde el punto de vista económico. Otra conclusión inmediata del trabajo es que el análisis de errores es fundamental a la hora de determinar los componentes y optimizar los costos.