



Universidad
Nacional
de Córdoba



Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales

Universidad Nacional de Córdoba

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Síntesis de Redes Activas

Proyecto: Balanza

Nombre	DNI
Sanchez Busso, Juan Pablo	41.888.792

Profesor Titular: Dr. Ing. Ferreyra Pablo
Profesor Adjunto: Ing. Reale César

Córdoba, República Argentina

2025

Índice

1. Introducción	2
1.1. Especificaciones Del Prototipo a Diseñar	2
2. Desarrollo	3
2.1. Celda de Carga	3
2.2. Fuente de Alimentación	4
2.3. Etapa Amplificadora	5
2.4. Análisis de Errores	8
2.4.1. Parámetros del Amplificador	8
2.4.2. Errores para el Amplificador AO_1	8
2.4.2.1. Contribuciones de Error	8
2.4.2.2. Error Total AO_1	8
2.4.3. Errores para el Amplificador AO_2	9
2.4.3.1. Contribuciones de Error	9
2.4.3.2. Error Total	9
2.4.4. Errores para el Amplificador AO_3	9
2.4.4.1. Error Total	10
2.4.5. Tabla Resumen de Errores	10
2.4.6. Errores por Temperatura	10
2.4.6.1. Drift de Ganancia	10
2.4.6.2. Drift de V_{os}	10
2.4.7. Error Total del Sistema	10
2.5. Errores y calibración	11
2.6. Número de bits del conversor	11
2.7. Selección de Componentes	11
2.8. Cálculos de Costos	12
3. Conclusión	14
4. Bibliografía.	15
4.1. Referencias	15

1. Introducción

Luego de realizar los laboratorios I y II, se propone diseñar la etapa analógica de una balanza comercial para luego procesar la señal proveniente de la misma en un microcontrolador que cuente con un ADC (conversor analógico-digital) y mostrar su resultado por pantalla LCD. Para ello, se debe cumplir con los requerimientos solicitados y que pueda competir comercialmente.

Las especificaciones son que pueda pesar desde 1g hasta 2kg con precisión de 1g y que debe trabajar entre 0°C y 40°C.

Para llevar a cabo este proyecto, se usarán celdas de carga adecuadas especificando sus características, se mostrará el circuito propuesto con sus respectivos cálculos de diseño, se realizará el estudio de los costos de los componentes para optimizar el producto y hacerlo competitivo en el mercado.

En resumen, la idea es realizar el diseño de una balanza comercial, pero sin olvidar el aspecto económico que implica hacer un desarrollo ingenieril.

1.1. Especificaciones Del Prototipo a Diseñar

- Resolución de 1g.
- Rango de temperatura de funcionamiento [0; 40] en °C.
- Rango de medición[0; 2] en kg.

Se presenta a continuación el diagrama en bloque del sistema en la figura 1.



Figura 1: Diagrama de bloques del sistema

2. Desarrollo

2.1. Celda de Carga

La celda de carga es un sensor que convierte la fuerza o peso de un objeto aplicado sobre ella en una señal eléctrica medible, la cual es utilizada por una balanza para mostrar el peso del mismo. Su interior está compuesto por galgas extensiometrías, que miden la deformación de un material ante un cambio en la resistencia eléctrica, y un conjunto de resistencias conectadas en forma de puente de Wheatstone. Lo anterior se muestra en la figura 2 y 3.

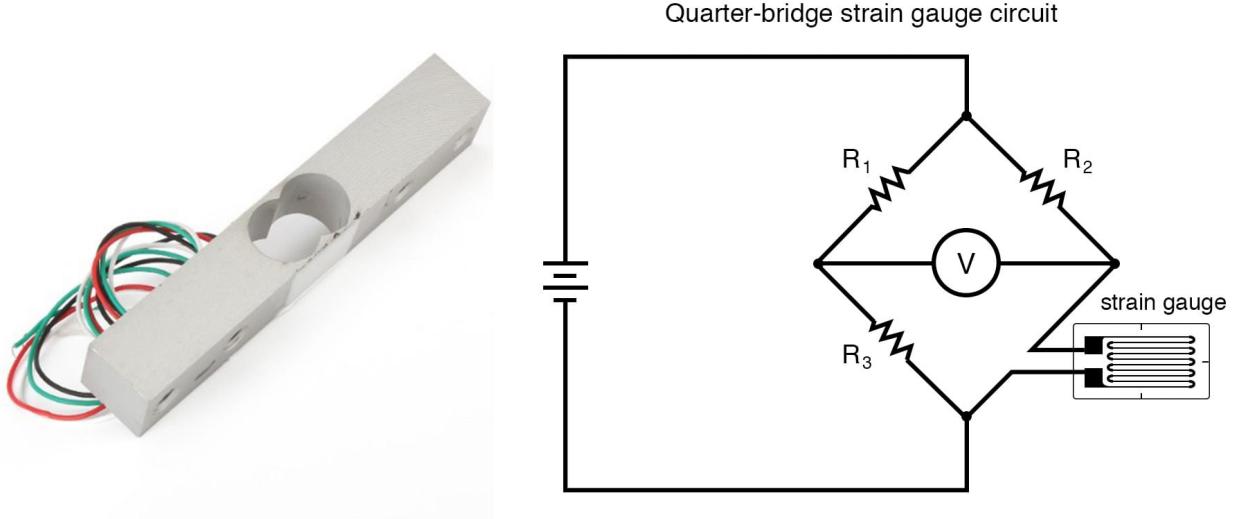


Figura 2: Celda de Carga.

Figura 3: Puente de Wheatstone y Galga Extensiometrística.

Despejando la tensión de salida, queda como:

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \right) \quad (1)$$

Al colocarse un peso sobre la celda de carga, el bloque de aluminio se deforma, derivando en que las galgas se modifiquen tal que varía su resistencia eléctrica en proporción a la deformación producida. Dicha variación será lineal si se trabaja en la zona lineal del material que constituye la galga, produciendo que la alteración sea perfectamente elástica. Este efecto demuestra que la galga tiene capacidad de volver a su forma original luego de la perturbación, es decir, de quitar el peso de la balanza.

Por lo anterior se deduce que los cambios en la resistencia serán muy pequeños, obteniendo valores de tensión en [mV]. Para mayor precisión ante este fenómeno, las galgas se conectan en forma de puente de Wheatstone conectadas a una fuente de excitación de voltaje, tal como se mostró en la figura 3.

La galga estará alimentada por una fuente de corriente que estará referenciada a una fuente de tensión continua de valor determinado.

El puente está balanceado si la tensión entre los bornes C y D es 0[V], de lo contrario, hay diferencia de tensión y esto indica que hubo un cambio en la resistencia R_4 o R_g . El puente estará balanceado si se cumple que

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_g} \quad (2)$$

Para este proyecto, se decidió utilizar la celda de carga YZC-131A. Un ejemplar de ella se observa en la figura 2. A continuación, en la figura 4, se muestra la tabla de sus especificaciones obtenidas de la hoja de datos del fabricante.

YZC-131A Series Product Specifications	
Mechanical	
Housing Material	Aluminum Alloy
Load Cell Type	Strain Gauge
Capacity	1/2/3/5 kg
Dimensions	Lx12.7x12.7 mm
Mounting Holes	M5 (Screw Size)
Cable Length	210 mm
Cable Size	30 AWG (0.2mm)
Cable - no. of leads	4
Electrical	
Precision	0.05%
Rated Output	1.0±0.15 mV/V
Non-Linearity	0.05% FS
Hysteresis	0.03% FS
Non-Repeatability	0.03% FS
Creep (per 5 minutes)	0.1% FS
Temperature Effect on Zero (per 10°C)	0.02% FS
Temperature Effect on Span (per 10°C)	0.05% FS Zero
Balance	±1.5% FS
Input Impedance	1000±50 Ohm
Output Impedance	1000±50 Ohm
Insulation Resistance (Under 50VDC)	≥2000 MOhm
Excitation Voltage	5 VDC
Compensated Temperature Range	-10 to ~+40°C
Operating Temperature Range	-21 to ~+40°C
Safe Overload	120% Capacity
Ultimate Overload	150% Capacity

Figura 4: Especificaciones de la Celda de Carga.

2.2. Fuente de Alimentación

Definida la Celda de Carga y luego de leer su hoja de datos, la fuente de excitación recomendada es 5 [V]. Además, define que su $Z_{in} = 1000[\Omega] \pm 50[\Omega]$, $Z_{out} = 1000[\Omega] \pm 50[\Omega]$ y salida nominal en $1,0 \pm 0,15[mV/V]$.

Al elegir una fuente de alimentación, consideramos un aspecto importante que tenga batería propia, y además que la misma sea reemplazable y fácilmente disponible, por lo que se propone a utilizar una batería de 9[V]. Junto con la batería y para obtener los 5[V] necesarios para operar la celda de carga, colocamos una fuente de alimentación regulable modelo XL4005, como se ve en la figura 5.

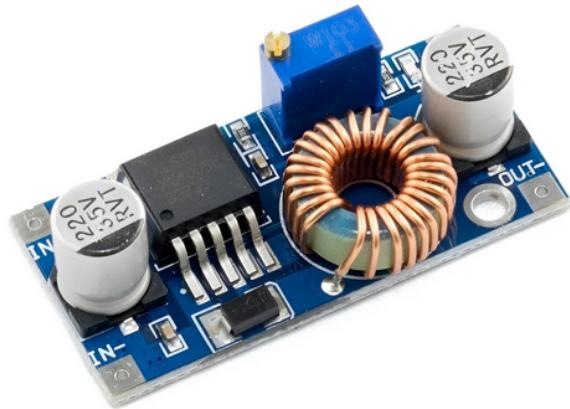


Figura 5: Convertidor DC-DC XL4005

2.3. Etapa Amplificadora

En base a lo desarrollado anteriormente, la medición se tomaría en la correspondiente resistencia del puente de Wheatstone correspondiendo a una tensión diferencial de un orden de sensibilidad de $1 \pm 15\% [mV/V]$. Esta es de una magnitud muy baja para ser tomada por el conversor analógico/digital (ADC), en la siguiente etapa. Por ello, es necesaria una etapa de amplificación. La etapa de amplificación elegida implicó el diseño de un Amplificador Instrumental (A.I.). Es un amplificador caracterizado por:

- Alta Impedancia de Entrada de Modo Común y Modo Diferencial.
- Muy baja Impedancia de Salida.
- Una ganancia precisa y estable, típicamente en el rango de $1 V/V$ a $10^3 V/V$.
- Muy alto Rango de Rechazo en Modo Común (CMRR).

El A.I. se utiliza para amplificar con precisión una señal débil en presencia de un componente de gran modo común, como sería la salida de un transductor de un sistema de control y biomedicina. Por esta razón, los A.I. se utilizan ampliamente en instrumentación de prueba y medición, lo que da origen a su nombre.

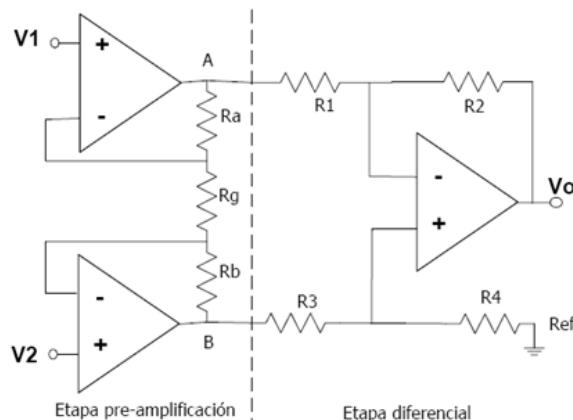


Figura 6: Amplificador Instrumental - Triple-op-amp.

Los Amplificadores OA_1 y OA_2 conforman la primera etapa, preamplificador, y una segunda etapa diferencial con OA_3 . El límite de tensión de entrada, se define con la caída de tensión en R_G definida como $v_1 - v_2$. Por otro lado el límite de corriente de entrada, son definidas por las resistencias denotadas como R_3 , llevan la misma corriente que R_G . Aplicando la ley de Ohm se obtiene:

$$v_{O1} - v_{O2} = (R_3 + R_G + R_3) \frac{v_1 - v_2}{R_G}$$

o bien:

$$v_{O1} - v_{O2} = \left(1 + \frac{2R_3}{R_G}\right) (v_1 - v_2)$$

Por razones obvias, la etapa de entrada también se conoce como un amplificador de entrada diferencial y salida diferencial. A continuación, observamos que OA_3 es un amplificador de diferencias, y por lo tanto:

$$v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_{O2} - v_{O1})$$

Combinando las dos últimas ecuaciones, se obtiene:

$$v_o = A(v_2 - v_1) \quad (2.3a)$$

$$A = A_I \times A_{II} = \left(1 + 2\frac{R_3}{R_G}\right) \times \left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2.3b)$$

lo que indica que la ganancia total A es el producto de las ganancias de la primera y segunda etapa, A_I y A_{II} .

La ganancia depende de las relaciones de resistencias externas, por lo que puede hacerse muy precisa y estable utilizando resistencias de calidad adecuada. Dado que OA_1 y OA_2 operan en configuración no inversora, sus resistencias de entrada en lazo cerrado son extremadamente altas. Del mismo modo, la resistencia de salida en lazo cerrado de OA_3 es bastante baja. Finalmente, la RRMC puede maximizarse ajustando adecuadamente una de las resistencias de la segunda etapa. Concluimos que el circuito cumple con todos los requisitos de un A.I. mencionados anteriormente.

La ecuación (2.3b) muestra cómo lograr una ganancia variable. Para evitar perturbar el equilibrio del puente, dejamos la segunda etapa sin modificar y variamos la ganancia cambiando la resistencia única R_G .

Se eligió el AD8551 para OA_1 , OA_2 y el OA_3 siendo este un amplificador de muy bajo voltaje de offset, deriva y corriente de bias, ademas de un precio bajo.

Para las resistencias a implementar se consideró una de tolerancia 1 %, para garantizar la relación $\frac{R_2}{R_1}$, con la finalidad de maximizar RRMC.

La salida de la celda de carga, que será amplificada por el A.I., se puede calcular a partir de la tensión de alimentacion, en este caso 5[V], y con el *Rated Output* = $1,0 \pm 0,15[mV/V]$.

$$V_o = 5[V] \cdot 1,15[mV/V] = 5,75[mV]$$

Esta tensión debe ser amplificada a un valor de 5[V] previo a la lectura del ADC. Por lo tanto calculamos la ganancia necesaria.

$$k = \frac{5[V]}{5,75[mV]} = 869,6$$

Los valores elegidos de resistencias son los siguientes,

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R = 3,3k\Omega$$

Luego,

$$R_{realim} = 330k\Omega$$

El valor de R_{gain} debe ser seleccionado para que k sea similar al valor calculado.

$$R_g = \frac{2R}{\frac{V_o}{V_1V_2} - 1} \approx 380\Omega$$

La Figura 7, muestra la configuración elegida.

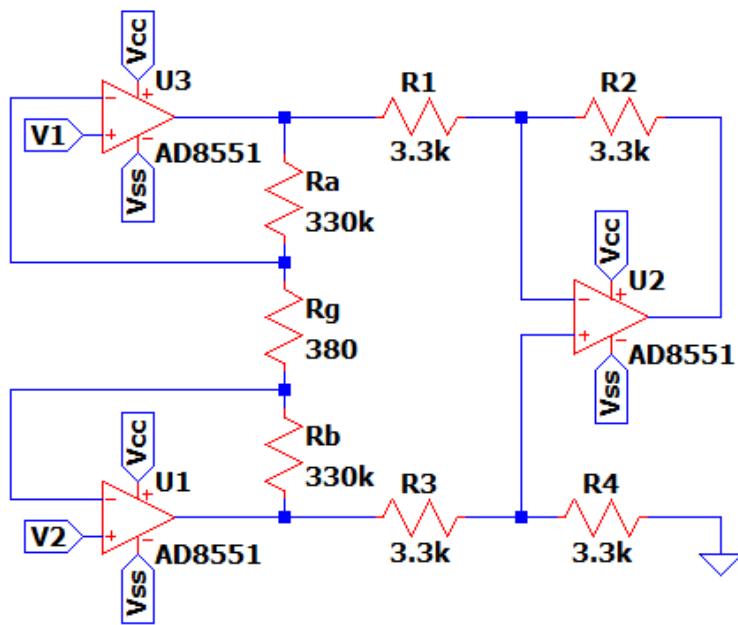


Figura 7: Triple-op-amp - Configuración a Implementar

Resumen de componentes:

Componente	Denominación Comercial	Valor Requerido
$AO_1 AO_2 AO_3$	$AD8551$	—
$R_1 R_2 R_3 R_4$	Vishay MRS25	$3,3 k\Omega$
$R_a R_b$	Vishay MRS25	$330 k\Omega$
R_g	Vishay MRS25	380Ω

2.4. Análisis de Errores

2.4.1. Parámetros del Amplificador

Parámetros	AD8551
V_{os}	$10\mu V$
I_{os}	$150pA$
I_{pol+}	$300pA$
I_{pol-}	$0A$
$RRMC$	$140dB$
Ad	$145dB$
R	125
F_s	$5V$
V_{cm}	$2,5V$

2.4.2. Errores para el Amplificador AO_1

$$T_1 = -A_d \cdot \left(\frac{R_f + R_g}{2R_f + R_g} \right) = -17,78 M \cdot \frac{330 k\Omega + 380 \Omega}{2 \cdot 330 k\Omega + 380 \Omega} = -8,89 M$$

$$A_{CL1} = \frac{A_d}{1 - T_1} = \frac{17,78 M}{1 + 8,89 M} \approx 2$$

$$A_{CL3} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{3,3 k\Omega}{3,3 k\Omega} = -1$$

2.4.2.1. Contribuciones de Error

- Error por Tensión de Offset:

$$\Delta V_{os} = V_{os} \cdot A_{CL1} \cdot A_{CL3} = 10 \mu V \cdot 2 \cdot (-1) = -20 \mu V$$

- Error por Corriente de Polarización:

$$\Delta V_{pol} = I_{pol+} \cdot \frac{R}{2} \cdot A_{CL1} \cdot A_{CL3} = 300 pA \cdot \frac{125 \Omega}{2} \cdot 2 \cdot (-1) = -375 pV$$

- Error por Ganancia Finita:

$$\Delta V_{A_d} = \frac{F_s}{1 - T_1} \cdot A_{CL3} = \frac{5 V}{1 + 8,89 M} \cdot (-1) \approx -562,4 nV$$

- Error por RRMC Finita:

$$\Delta V_{RRMC} = \frac{V_{cm} \cdot A_{CL1}}{RRMC} = \frac{2,5 V \cdot 2}{10 M} \approx 0,5 \mu V$$

2.4.2.2. Error Total AO_1

$$\Delta V_1 = \Delta V_{os} + \Delta V_{pol} + \Delta V_{A_d} + \Delta V_{RRMC} = -20 \mu V + (-375 pV) + (-562,4 nV) + 0,5 \mu V \approx -20,06 \mu V$$

2.4.3. Errores para el Amplificador AO_2

$$T_1 = -A_d \cdot \left(\frac{R_f + R_g}{2R_f + R_g} \right) = -17,78 \text{ M} \cdot \frac{330 \text{ k}\Omega + 380 \text{ }\Omega}{2 \cdot 330 \text{ k}\Omega + 380 \text{ }\Omega} = -8,89 \text{ M}$$

$$A_{CL1} = \frac{A_d}{1 - T_1} = \frac{17,78 \text{ M}}{1 + 8,89 \text{ M}} \approx 2$$

$$A_{CL3} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_2} \right) = \frac{3,3 \text{ k}\Omega}{3,3 \text{ k}\Omega + 3,3 \text{ k}\Omega} \cdot \left(1 + \frac{3,3 \text{ k}\Omega}{3,3 \text{ k}\Omega} \right) = 1$$

2.4.3.1. Contribuciones de Error

- Error por Tensión de Offset:

$$\Delta V_{os} = V_{os} \cdot A_{CL1} \cdot A_{CL3} = 10 \mu\text{V} \cdot 2 \cdot 1 = 20 \mu\text{V}$$

- Error por Corriente de Polarización:

$$\Delta V_{pol} = I_{pol+} \cdot \frac{R}{2} \cdot A_{CL1} \cdot A_{CL3} = 300 \text{ pA} \cdot \frac{125 \Omega}{2} \cdot 2 \cdot 1 = 375 \text{ pV}$$

- Error por Ganancia Finita:

$$\Delta V_{A_d} = \frac{F_s}{1 - T_1} \cdot A_{CL3} = \frac{5 \text{ V}}{1 + 8,89 \text{ M}} \cdot 1 \approx 562,4 \text{ nV}$$

- Error por RRMC Finita:

$$\Delta V_{RRMC} = \frac{V_{cm} \cdot A_{CL1}}{\text{RRMC}} = \frac{2,5 \text{ V} \cdot 2}{10 \text{ M}} \approx 0,5 \mu\text{V}$$

2.4.3.2. Error Total

$$\Delta V_2 = \Delta V_{os} + \Delta V_{pol} + \Delta V_{A_d} + \Delta V_{RRMC} = 20 \mu\text{V} + 375 \text{ pV} + 562,4 \text{ nV} + 0,5 \mu\text{V} \approx 21,06 \mu\text{V}$$

2.4.4. Errores para el Amplificador AO_3

$$T_3 = -A_d \cdot \left(\frac{R_1}{R_2 + R_1} \right) = -17,78 \text{ M} \cdot \frac{3,3 \text{ k}\Omega}{3,3 \text{ k}\Omega + 3,3 \text{ k}\Omega} = -8,89 \text{ M}$$

Contribuciones de Error

- Error por Tensión de Offset:

$$\Delta V_{os} = V_{os} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 10 \mu\text{V} \cdot \left(1 + \frac{3,3 \text{ k}\Omega}{3,3 \text{ k}\Omega} \right) = 20 \mu\text{V}$$

- Error por Corriente de Polarización:

$$\Delta V_{pol} = \left(\frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} \right) \cdot A_d \cdot \frac{I_{os}}{1 - T_3} \approx (R_3) \cdot I_{os} = 3,3 \text{ k}\Omega \cdot 150 \text{ pA} = 0,495 \mu\text{V}$$

- Error por Ganancia Finita:

$$\Delta V_{A_d} = \frac{F_s}{1 - T_3} \cdot A_{CL3} = \frac{5 \text{ V}}{1 + 8,89 \text{ M}} \approx 562,4 \text{ nV}$$

- Error por RRMC Finita:

$$\Delta V_{RRMC} = \frac{V_{cm} \cdot A_{CL1}}{\text{RRMC}} = \frac{5 \text{ V}}{10 \text{ M}} \approx 0,5 \mu\text{V}$$

2.4.4.1. Error Total

$$\Delta V_1 = \Delta V_{os} + \Delta V_{pol} + \Delta V_{A_d} + \Delta V_{RRMC} = 20 \mu V + 0,495 \mu V + 562,4 nV + 0,5 \mu V \approx 21,56 \mu V$$

2.4.5. Tabla Resumen de Errores

Error	Amplificador N°1	Amplificador N°2	Amplificador N°3
ΔV_{os}	$-20 \mu V$	$20 \mu V$	$20 \mu V$
ΔV_{pol}	$-375 pV$	$375 pV$	$0,495 \mu V$
ΔV_{A_d}	$-562,4 nV$	$562,4 nV$	$562,4 nV$
ΔV_{RRMC}	$0,5 \mu V$	$0,5 \mu V$	$0,5 \mu V$
ΔV_{total}	20,06 μV	21,06 μV	21,56 μV

Tabla 1: Resumen de errores para los tres amplificadores.

2.4.6. Errores por Temperatura

2.4.6.1. Drift de Ganancia

La ganancia del amplificador depende de resistencias (R_1, R_2, R_f, R_g). Para minimizar el error térmico, se usan resistencias con coeficiente de temperatura similar (100 ppm/ $^{\circ}C$):

$$A_{AI} = \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \left(\frac{2R_f}{R_g} + 1 \right)$$

El error introducido es despreciable si todas las resistencias tienen el mismo coeficiente.

2.4.6.2. Drift de V_{os}

Según el fabricante, la deriva del offset con temperatura es:

$$\frac{\Delta V_{os}}{\Delta T} = 0,05 \frac{\mu V}{C}$$

Para un rango de $0 C$ a $40 C$:

$$\begin{aligned} \Delta V_{os} &= 0,05 \frac{\mu V}{C} \cdot 40 C = 2 \mu V \\ &\rightarrow \frac{\Delta V_{os}}{V_{os}} = \frac{2 \mu V}{10 \mu V} = 0,2 \end{aligned}$$

Este calculo busca corregir los errores por desviación de temperatura

$$\begin{aligned} \Delta V_{os1} &= 0,2 \cdot \Delta V_{os1(DC)} = 0,2 \cdot 20 \mu V = 4 \mu V \\ \Delta V_{os2} &= 0,2 \cdot \Delta V_{os2(DC)} = 0,2 \cdot 20 \mu V = 4 \mu V \\ \Delta V_{os3} &= 0,2 \cdot \Delta V_{os3(DC)} = 0,2 \cdot 20 \mu V = 4 \mu V \\ \Delta V_{total} &= 4 \mu V + 4 \mu V + 4 \mu V = 12 \mu V \end{aligned}$$

2.4.7. Error Total del Sistema

Sumando los errores de los tres amplificadores y el drift térmico:

$$\Delta V_{sistema} = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 + \Delta V_{os} = 20,06 \mu V + 21,06 \mu V + 21,56 \mu V + 12 \mu V$$

$$\Delta V_{sistema} = 74,68 \mu V$$

Este valor está dentro del margen aceptable para una resolución de $1 g$ ($5 \mu V/g$).

2.5. Errores y calibración

En la figura 8, se presenta la curva característica clásica de respuesta de la celda de carga. En ella, se distingue claramente la curva teórica (representada con línea de puntos), la cual exhibe una respuesta idealmente lineal que es el objetivo de diseño para nuestro sistema de pesaje.

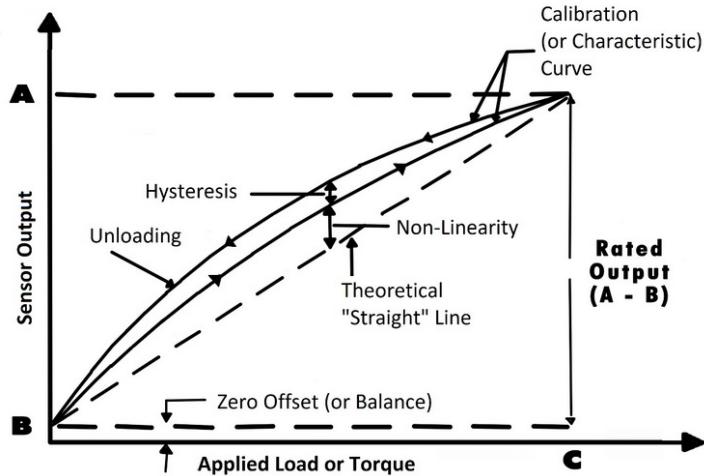


Figura 8: Representación de errores en celdas de carga

Sin embargo, la realidad operativa muestra una curva de respuesta experimental que se desvía de la linealidad esperada y que, además, puede manifestar diferencias entre las fases de aplicación (carga) y remoción (descarga) de la masa, fenómeno conocido como histéresis. Estas desviaciones constituyen los errores calculados previamente. Para mitigar estos errores intrínsecos del sensor y asegurar que las indicaciones de la balanza se correspondan con precisión a las masas aplicadas, se recurre al proceso de calibración por puntos.

La calibración por puntos es un método que utiliza múltiples cargas patrón discretas a lo largo del rango de capacidad. Al registrar la respuesta en varios niveles de carga, se obtiene la información necesaria para corregir la no-linealidad y determinar la incertidumbre de forma específica en cada punto de pesaje. Y de esta forma garantizar la precisión necesaria.

2.6. Número de bits del conversor

Con el valor del fondo de escala y el error total se puede calcular la resolución necesaria del conversor. Con el valor de error total del sistema calculado anteriormente:

$$\Delta V_{sistema} = 74,68 \mu V$$

Luego,

$$n = \log_2\left(\frac{FS}{\Delta V_{sistema}}\right) = 15,73 \rightarrow 15 \text{ bits}$$

2.7. Selección de Componentes

A lo largo del proyecto se han descrito los componentes que unidos crean el sistema de pesaje que se usará para medir distintos pesos con límite en 2[Kg]. Entre ellos, se destacan la fuente de corriente, celda de carga, amplificadores operacionales, entre otros.

Seguidamente se lista en la tabla 2 los componentes que se usarán para implementar la balanza comercial propuesta.

COMPONENTES	CANTIDADES	VALOR	FABRICANTE
AD8551	3	10 [V]	Analog Devices
Celda de Carga YZC-131A	1	5 [Kg]	Guang CE
Resistencias	Paquetes de 10	380 - 3,3 [KΩ] - 330 [KΩ]	Vishay
Microcontrolador Stm32	1	-	-
Convertidor DC-DC XL4005	1	-	-
Display	1	-	-
Carcasa	1	-	-

Tabla 2: Componentes Eléctricos de La Balanza Comercial.

2.8. Cálculos de Costos

En la tabla 3 detallan los costos de todos los componentes seleccionados que se necesitan de la balanza comercial para su construcción, además del costo de mano de obra, producción y mantenimiento. Los valores serán mostrados en dólares.

COMPONENTES	VALOR POR UNIDAD
AD8551	\$8,64
Celda de Carga YZC-131A	\$1,95
Resistencias	\$1,1
Microcontrolador Stm32	\$2,4
Convertidor DC-DC XL4005	\$1,51
Display	\$0,87
Carcasa	\$3,3
TOTAL	\$19,77

Tabla 3: Tabla de Costos.

El precio de los componentes fue obtenido del sitio web de los fabricantes o de mayoristas que venden este tipo de componentes.

El valor de compra del dólar oficial dado por el Banco Nación Argentino de la semana 46 del 2025 es de 1 dólar a \$1400. Seguidamente, para iniciar el proyecto al menos hace falta tener una base aproximada de \$27,678 (veintisiete mil seiscientos setenta y ocho).

En la figura 9 observamos productos que ofrecen un similar funcionamiento a la balanza proyectada en este informe. Si observamos solamente el precio, nos encontramos en una posición difícil, ya que, se observa que no es posible competir con estas pequeñas balanzas provenientes, mayormente, de China.



Balanza De Cocina Digital Tara Electronica Multiuso Portatil
Newtek

\$14.999 **\$ 6.999 53% OFF**

★ 4.2 | +500 vendidos

[Llega el lunes](#)

Enviado por  FULL



Balanza Alimentos Cocina Digital 1gr A 5kg SPICA RBCO-03 Superficie De Vidrio Color Negro
LIBERCAM

\$22.599 **\$ 13.299 41% OFF**

★ 4.5 | +10mil vendidos

[Llega el lunes](#)

Enviado por  FULL



Balanza De Cocina Digital Cemdash Home Electrónica Cap. 10kg 10 Kg Blanco

\$9.999 **\$ 7.999 20% OFF**

★ 4.5 | +1000 vendidos

[Llega el lunes](#)

Enviado por  FULL



MÁS VENDIDO

Balanza Digital De Cocina Electrónica Para Repostería Con Precisión Desde 1 Gramo Hasta 10 Kg Ideal Para Alimentos Hogar Y Pastelería...
Levys Bazar

\$49.999 **\$ 8.399 40% OFF**

★ 4.7 | +1000 vendidos

Figura 9: Precios de productos similares en Mercado Libre

3. Conclusión

El presente proyecto ha permitido completar satisfactoriamente el diseño de una balanza digital. A través de la selección de una celda de carga específica y el diseño de sus circuitos asociados. Incluyendo la fuente de alimentación, la etapa de amplificación y el microcontrolador para la conversión analógica-digital, se ha logrado un sistema funcional que se visualiza en una pantalla LCD.

El análisis de propagación de errores demuestra que el diseño cumple con las especificaciones técnicas requeridas: una resolución de 1 gramo, una capacidad máxima de 2 kilogramos y una operación estable dentro de los rangos de temperatura definidos.

No obstante, el análisis de costos, basado en un dólar oficial de \$1400, sitúa el precio de construcción (sin incluir mano de obra) en aproximadamente \$28.000. Este valor posiciona al producto fuera de la competitividad del mercado actual.

Se concluye que, si bien el prototipo es técnicamente funcional y de calidad, su viabilidad comercial es baja debido a su alto costo. Para futuras iteraciones, es imperativo optimizar el precio, lo cual podría requerir una reevaluación de componentes o un rediseño parcial, sin comprometer la calidad y precisión logradas en este proyecto.

4. Bibliografía.

4.1. Referencias.

- Apuntes de Cátedra
- Hoja de Datos de la Celda de Carga YZC-131A:
<https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/YZC-131A.pdf>
- Hoja de Datos de la OpAmp 8551 - Analog Devices:
https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8551_8552_8554.pdf
- Digikey
<https://www.digikey.com/>
- Mercadolibre - Precios varios
<https://www.mercadolibre.com.ar/>