

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

SÍNTESIS DE REDES ACTIVAS

TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO N°3

“Diseño y Análisis de Balanza Electrónica Comercial de Bajo Costo”

Grupo N°6

Alumnos:

BAYÓN, Pablo
GODOY, Emiliano
LUNA, Fernando Valentino
TESTA, Lisandro Daniel

Docentes:

Ing. Pablo Ferreyra
Ing. César Reale

Año: 2025

TABLA DE CONTENIDOS

Introducción

Objetivos

Análisis de Mercado

Análisis de Costos

Impuestos nacionales

Impuestos provinciales

Costos de producción

Diseño

- 1.1. Sensor
- 1.2. Adaptación de Señal
- 1.3. Microcontrolador
- 1.4. Conversor Analógico/Digital
- 1.5. Memorias
- 1.6. Pantallas LED
- 1.7. Teclado
- 1.8. Alimentación

Esquemático

Análisis de errores

Errores de continua

Errores Totales

Errores debidos a la temperatura

Conclusión

Referencias

Introducción

En este trabajo práctico se aborda el diseño y desarrollo de una balanza electrónica de uso comercial, capaz de competir en prestaciones con modelos homologados en el mercado. El objetivo principal es concebir un sistema que cumpla con las mismas características metrológicas:

- Capacidad máxima: 30 [kg]
- Capacidad mínima: 100 [g]
- Resolución: 5 [g] (3000 cuentas),

garantizando condiciones de funcionamiento equivalentes en cuanto a temperatura, humedad y estabilidad mecánica.

El proyecto integra aspectos de diseño electrónico, selección de sensores, acondicionamiento de señal, adquisición de datos y procesamiento digital, junto con un análisis de costos orientado a obtener un producto de menor precio final sin comprometer la precisión ni la confiabilidad del equipo. De esta manera, el trabajo busca reproducir de forma didáctica el proceso completo de desarrollo de un instrumento de pesaje comercial, desde su concepción técnica hasta la evaluación económica del producto.

Objetivos

El propósito de este laboratorio es introducir al estudiante en el diseño integral de un sistema de medición electrónico, aplicando los conocimientos adquiridos en instrumentación y acondicionamiento de señales. El enfoque no está orientado al desarrollo de sistemas embebidos ni a las características constructivas del equipo, sino al análisis técnico y económico del diseño.

Se pretende desarrollar una balanza que cumpla con las especificaciones metrológicas de los modelos comerciales homologados, garantizando precisión, estabilidad y repetibilidad en las mediciones. Además, se pretende optimizar el diseño a nivel técnico y de costos, reduciendo el precio total de producción en comparación con equipos equivalentes del mercado, mediante la selección adecuada de componentes y una arquitectura de hardware eficiente.



Análisis de Mercado

Para comenzar el desarrollo de este práctico, presentaremos los criterios de diseño que trabajaremos durante el trabajo, los mismos se seleccionaron a partir de un modelo comercial homologado por el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) de aproximadamente 15~30 [kg].

De los fabricantes con Certificación en Balanzas se eligió:

- **“Andrés Moretti e Hijo SA”**

Del cual se tomó como referencia el modelo “LPA”



- INTI Certificado N° 001, Código de Aprobación BE.80-1438)
- Capacidad máxima $W_{max} = 30[kg]$.
- Resolución 5 [g]
- Pantalla LCD para usuario y cliente.
- Memoria.
- Función de acumulador.
- Ancho $L = 34,5 [cm] = 0,345 [m]$.
- Profundidad $W = 23[cm] = 0,23 [m]$.
- Precio comercial al público \$250.000

- **“SYSTEL S.A”**

Del cual se tomó como referencia el modelo “CROMA 30”



- INTI Certificado N° 040, Código de Aprobación BE.80-2171)
- Capacidad máxima $W_{max} = 30kg$
- Resolución 5 g (de 0kg a 15kg); 10g (de 15kg a 31kg)
- Pantalla LED para usuario y cliente.
- Memoria.
- Función de acumulador.
- Ancho 36,7 cm
- Profundidad 21,7 cm
- Precio comercial al público \$320.000

- **“KRETZ S.A”**

Del cual se tomó como referencia el modelo “NOBEL ECO 2”



- INTI Certificado N° 005, Código de Aprobación BE. 80-2149)
- Capacidad máxima $W_{max} = 30kg$
- Resolución 5 g (de 0kg a 15kg); 10g (de 15kg a 31kg)
- Pantalla LCD para usuario y cliente.
- Memoria.
- Función de acumulador.
- Ancho 36 cm
- Profundidad 24 cm
- Precio comercial al público \$380.000

Con el análisis de mercado realizado, podemos ver que los precios de las balanzas comerciales, con características similares, rondan entre los \$250.000 a \$400.000, dejando una ventana de precios para competir con estos fabricantes.

Análisis de Costos

A los costos de la producción debemos sumarle los costos de impuestos aplicados a nuestro producto

Impuestos nacionales

- IVA (Impuesto al Valor agregado):
 - o Tasa: 21%
 - o Aplica a la venta de bienes y prestación de servicios en Argentina.
- Derecho de importación:
 - o Tasa: varía entre 10% a 30% según el tipo de producto y su origen.
 - o Aplica a la importación de productos e insumos electrónicos.

Impuestos provinciales

- Ingresos Brutos:
 - o Tasa: varía entre 3% a 5% según la provincia.
 - o Aplica sobre los ingresos brutos de la empresa.
- Tasas Municipales:
 - o Tasa: entre 0,5% y 1,5%, varía según el municipio.
 - o Aplica sobre las ventas netas. Incluye tasas por habilitación comercial, inspección de seguridad e higiene, entre otras.

Costos de producción

Producto	Modelo	Precio unitario (USD)	Precio unitario (ARS)	Cantidad (miles)	Precio Total (ARS)
Celda de carga	SC601	\$4	\$5.520	4	\$22.080.000
Microcontrolador	PIC32CM2532LS00048	\$2,08	\$2.870,4	1	\$2.870.400
Amp. Operacional	OP07DDR	\$0,63	\$869,4	16	\$13.910.400
Resistor 100	RC0603BR-07100L	\$0,0335	\$46,26	13	\$601.418
Resistor 220	RC0603BR-07220L	\$0,0333	\$45,94	2	\$91.990
Resistor 10k	RC0603BR-0710KL	\$0,0361	\$49,81	8	\$398.558
Pantalla	LCD LCD1602	\$1	\$1380	1	\$1.380.000
Teclado	Panel de botones Membrana	\$ 0,48	\$662,4	1	\$662.400
Impresión PCB	PCBWay.com	\$1,5745	\$2.172,8	1000	\$2.172.796
Transformador 220V/5V		\$1,20	\$1656	1000	\$1.656.000
		<u>\$15</u>	<u>\$20.700</u>	<u>1000</u>	<u>\$20.700.000</u>
Otros		\$15	\$20.700	1000	\$20.700.000

- Costos de insumos totales por unidad: \$66.523,96
- Costos de mano de obra: \$50.000
- Costo unitario total con impuesto: \$163.133,
- Precio de venta: \$212.000
- Margen de revendedor (13%): \$31.800
- Precio de venta al público: \$243.000

En base al análisis de costos, podemos ver que obtuvimos un precio de venta al público aproximado de \$243.000, lo que nos permite estar dentro del rango competitivo en el mercado.

Diseño

El dispositivo se compone de los siguientes módulos principales:

- Sensor
- Adaptación de Señal
- Conversor Analógico Digital
- Memorias
- Pantalla LED
- Teclado
- Procesador
- Alimentación
- Estructura

El análisis del diseño se realizará de manera modular, donde haremos un diseño detallado los bloques de Sensor, Adaptación de señal y Conversor A/D, dado que constituyen el núcleo del sistema de medición, los demás módulos serán considerados principalmente desde el punto de vista de costos y aspectos constructivos relevantes para su fabricación.

1.1. Sensor

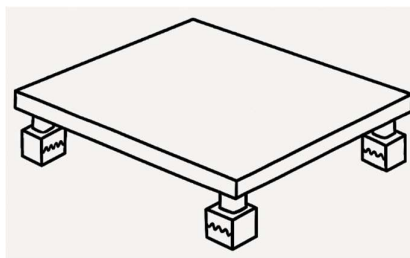
Dado que el sistema de pesaje se basa en una plataforma rectangular, la solución más adecuada y económicamente viable para la detección de peso es la utilización de celdas de carga.

Una celda de carga consiste en una barra de aluminio sobre la cual se fijan galgas extensiométricas. Estas galgas modifican su resistencia eléctrica en función de la deformación mecánica producida por la carga aplicada. La disposición típica de las galgas se organiza en un Puente de Wheatstone, lo que permite obtener una señal diferencial proporcional al esfuerzo mecánico.

Cada celda de carga dispone de cuatro conductores:

- Dos cables de alimentación (excitación del puente).
- Dos cables de salida diferencial (señal de medición).

El parámetro más relevante especificado por el fabricante es la sensibilidad, expresada en milivoltios por voltio. En la mayoría de los modelos comerciales, este valor es de aproximadamente $2 \left[\frac{mV}{V} \right]$, lo que indica la variación máxima de la señal diferencial en función de la tensión de excitación aplicada. Este parámetro define el rango dinámico de la celda y constituye la base para el diseño del acondicionamiento de señal y la etapa de conversión analógica-digital.



Dado que la plataforma cuenta con cuatro puntos de apoyo en las proximidades de las esquinas, se adoptará una configuración de cuatro celdas de carga, una en cada esquina, para garantizar un censado uniforme del peso.

Para asegurar que el sistema pueda medir adecuadamente la carga máxima, incluso cuando esta se aplique de manera descentrada, se seleccionarán celdas de 30 [kg] de capacidad nominal en cada esquina. De este modo se evita la saturación y se asegura la linealidad de la medición en cualquier punto de la plataforma.

MODELO: SC601-30Kg Celda de Carga de Punto Fijo

1.2. Adaptación de Señal

Para el diseño del módulo de Adaptación de Señal es necesario definir las características de salida de la celda de carga, en particular su rango de tensión y la resolución mínima que se desea alcanzar:

- Tensión de Alimentación de las Celdas 5[V]
- Capacidad Máxima 30 [kg]
- Resolución 10 [g]

$$FS = 5[V] * 2 \pm 0,2 \left[\frac{mV}{V} \right] = 10 \pm 1[mV]$$

$$cuentas = \frac{30.000[g]}{10 [g]} = 3000$$

$$\Delta V = \frac{FS}{cuentas} \cong 3,3 \pm 0,3[\mu V]$$

Con estos datos podemos comenzar a diseñar o buscar un módulo que, de la señal diferencial que sale de la Celda, la convierta en una señal de tensión referenciada a más con amplitud de 0~3,3 [V] para la lectura del ADC.

Además de la magnitud de la señal, es fundamental considerar la impedancia de salida de la celda de carga, que típicamente ronda los 350 Ω. Si esta señal se conectara directamente a una etapa diferencial sin aislamiento, se produciría una carga indeseada sobre el puente de galgas, generando errores de medición por desbalance y pérdida de linealidad. Para evitar este efecto, se incorpora como primera etapa un par de seguidores de tensión (buffers), uno para cada rama del puente. Estos amplificadores operacionales, configurados en modo unidad, presentan una impedancia de entrada elevada y una impedancia de salida baja, lo que permite preservar la integridad de la señal diferencial sin afectar el equilibrio del puente.

Luego, la que señal que ahora viene de una etapa con impedancia baja, se dirige a una segunda etapa compuesta por un amplificar diferencial de presión. Esta etapa tiene como función extraer la diferencia entre las dos señales y aplicar una ganancia inicial significativa, para este caso, $G_1 = 100$. De este modo, una señal diferencial de 10 [mV] se convierte en una señal referenciada a masa (single ended) de aproximadamente 1[V], manteniendo la proporcionalidad con la carga aplicada. En esta etapa es necesario emplear resistencias emparejadas de precisión (tolerancia 0,1% y bajo coeficiente de temperatura “TCR”), para maximizar el CMRR, con el objetivo de tener la mejor claridad de las variaciones de la señal de entrada, que como mencionamos anteriormente, cada cuenta varía en $\Delta V = 3,3[\mu V]$

$$G = G_1 * G_2 = 100 * 3,3 = 330$$

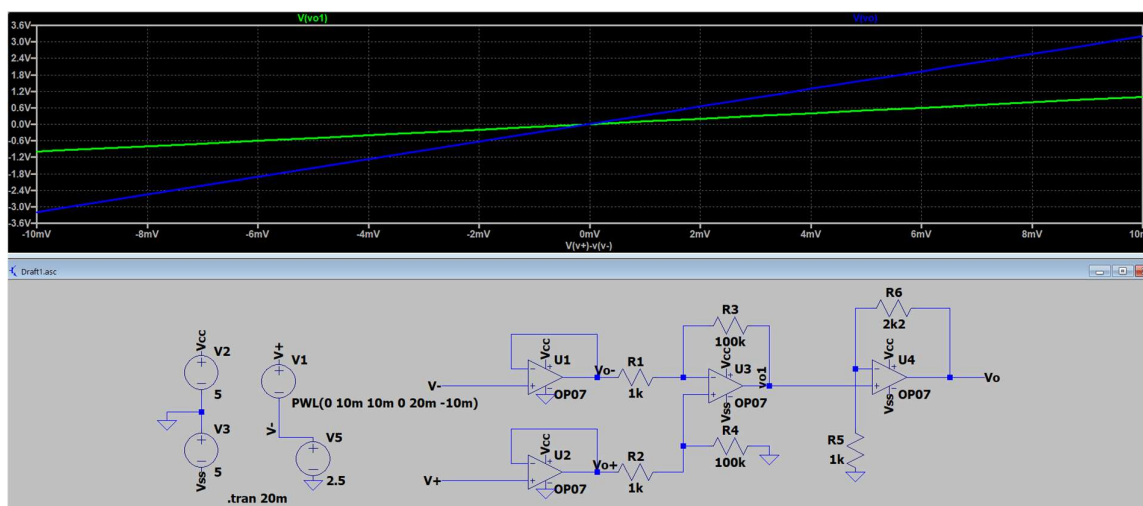


Figura: Simulación de la Red de Adaptación de Señal para una Celda de Carga

1.3. Microcontrolador

Para seleccionar el microcontrolador necesario para comandar todas las funciones del sistema, nos enfocamos en que contara con los periféricos de nuestro interés. Para nuestro sistema, el microcontrolador debe tener, un módulo ADC con las características necesarias de resolución y frecuencia de muestreo para poder procesar las señales de las celdas de carga, un módulo I2C que nos permita la comunicación con el display utilizado y también debe ofrecer una memoria interna que nos permita guardar los valores censados para ofrecer las funciones de acumulador y guardar los precios de los productos por kilo según código.

El **PIC32CM** es un microcontrolador de 32 bits que utiliza un núcleo ARM Cortex-M23. Es un micro relativamente moderno y está pensado para proyectos embebidos donde se necesita buena velocidad de ejecución sin un consumo elevado. Su arquitectura es sencilla de trabajar y permite resolver tareas típicas de adquisición de datos, control y comunicación sin exigir demasiado hardware externo.

En general, es un microcontrolador versátil, de bajo consumo y adecuado para proyectos donde se combinan sensores, procesamiento básico y salida de datos. Por estas razones resulta apropiado para trabajos académicos y aplicaciones prácticas que requieren estabilidad y simplicidad de integración.

1.4. Conversor Analógico/Digital

El ADC del PIC32CM se configuró en **12 bits**, lo que permite trabajar con 4096 niveles de resolución, suficiente para detectar pequeñas variaciones en la señal proveniente del puente de galgas. Para este proyecto se utilizó el **canal 0** como entrada analógica principal y se seleccionó una **frecuencia de muestreo de 100 kHz**, valor dentro de las capacidades del ADC. Sobre las muestras obtenidas se aplicará un **promedio por software**, con el objetivo de reducir el ruido y obtener una medida de peso más estable.

$$\log_2 \left(\frac{V_{FS}}{\Delta V_{err}} \right)$$

1.5. Memorias

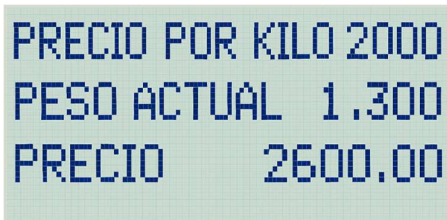
El PIC32CM cuenta con una memoria EEPROM de 16Kbytes x 8 bits que nos permite almacenar los valores de precio por kilo seteados por el usuario y los valores obtenidos de las celdas de carga de forma que nos permita aplicar la función de acumulador para sumar los valores pesados por la balanza de forma secuencial, mostrando el peso total acumulado y el precio de este.

1.6. Pantallas LED

Para la visualización de datos se utilizó una pantalla **LCD 1602A** que incluye un módulo adaptador basado en **I²C**, lo cual permite reducir considerablemente la cantidad de pines necesarios para el control del display. Gracias a este adaptador, la pantalla requiere únicamente dos líneas de comunicación digital: **SDA** (datos) y **SCL** (reloj).

En el PIC32CM, la comunicación se estableció a través de uno de los módulos **SERCOM** configurado en modo **I²C**. Para este proyecto se asignaron los siguientes pines:

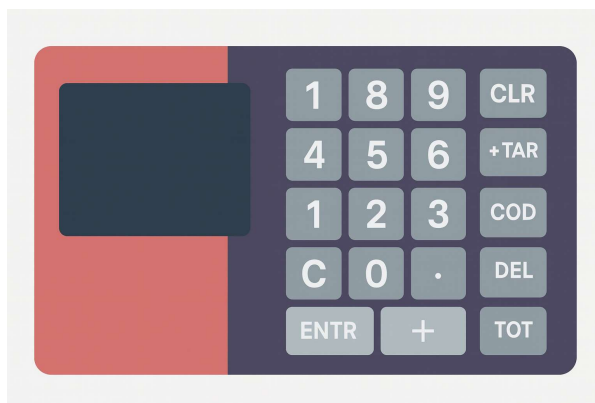
- **SDA** → pin configurado como **SERCOMx PAD0**
- **SCL** → pin configurado como **SERCOMx PAD1**



PRECIO POR KILO 2000
PESO ACTUAL 1.300
PRECIO 2600.00

1.7. Teclado

El panel de botones diseñado funciona como un **teclado matricial de 5 filas por 4 columnas (5×4)**, lo que permite manejar 20 teclas utilizando únicamente 9 líneas del microcontrolador. La distribución matricial agrupa los botones en una red de **filas y columnas**, donde cada tecla se ubica en la intersección de una fila con una columna. Al presionarla, se cierra el circuito entre ambos conductores, permitiendo identificarla mediante un barrido secuencial de líneas.

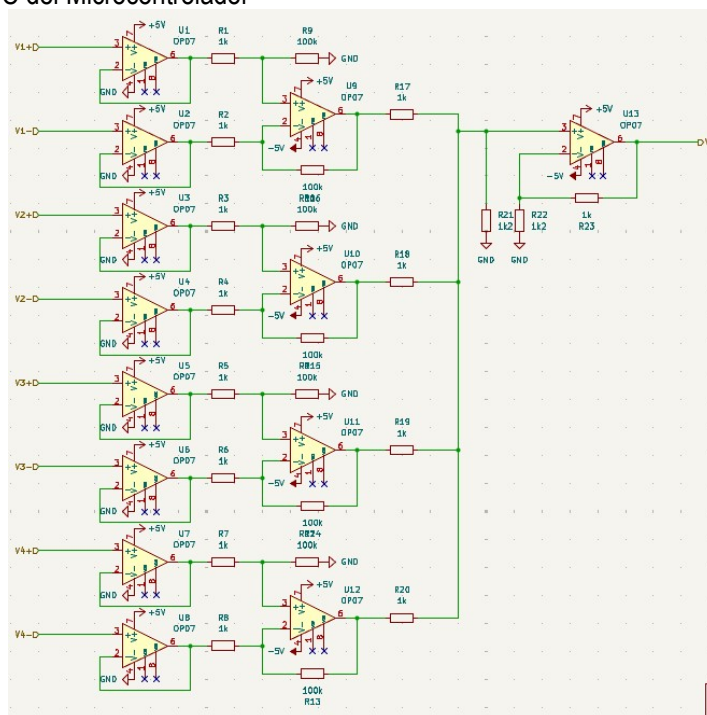


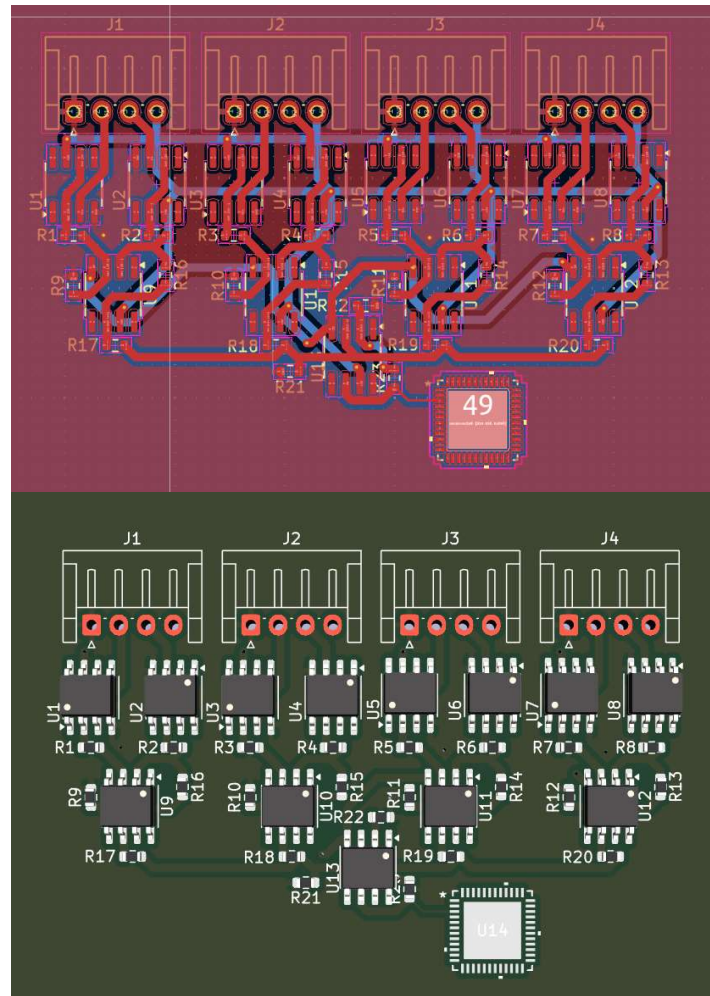
1.8. Alimentacion

Para la alimentación del sistema se seleccionó una **fuentes comercial de 220 V~ a 5 V= con capacidad de 200 mA**. Este tipo de fuente permite conectarse directamente a la red domiciliaria y entregar una tensión continua estabilizada de 5 V, adecuada para alimentar el microcontrolador, el módulo de medición y la pantalla LCD.

Esquemático

Así se vería el esquemático, PCB layout y PCB en vista 3D de la Etapa de Adaptación de Señal conectado al ADC del Microcontrolador





Análisis de errores

Errores de continua

Datos del AO a utilizar:

- $A_d(0) = 172 \text{ [dB]}$
- $V_{os} = 85 \text{ [}\mu\text{V]}$
- $I_{os} = 1,6 \text{ [nA]}$
- $CMRR = 120 \text{ [dB]}$

Etapla 1: Seguidor de Tensión

$$\begin{aligned}\Delta V_{os} &= 1V_{os} = 85 \text{ [}\mu\text{V]} \\ \Delta V_{I_{os}} &= 1I_{os} = 1,6 \text{ [nV]} \\ \Delta V_{RRMC} &= \frac{5}{1000000} = 5 \text{ [}\mu\text{V]} \\ \Delta V_{A_d} &= \frac{FS}{1 - T} = 12,5 \text{ [}\mu\text{V]}\end{aligned}$$

Etapla 2: Amplificador Diferencial

$$\begin{aligned}\Delta V_{os} &= \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{os} = 85,85 \text{ [}\mu\text{V]} \\ \Delta V_{I_{os}} &= R_2 I_{os} = 16 \text{ [}\mu\text{V]}\end{aligned}$$

$$\Delta V_{RRMC} = \frac{5}{1000000} = 5 [\mu V]$$

$$\Delta V_{Ad} = \frac{FS}{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} A_d(0)} = 1,25 [\mu V]$$

Etapa 3: Sumador No Inversor

$$\Delta V_{os} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{os} = 85,85 [\mu V]$$

$$\Delta V_{Ios} = R_2 I_{os} = 16 [\mu V]$$

$$\Delta V_{RRMC} = \frac{5}{1000000} = 5 [\mu V]$$

$$\Delta V_{Ad} = \frac{FS}{1 - T} = 12,5 [\mu V]$$

Errores Totales

$$\Delta V = 1,372 [mV]$$

Errores debidos a la temperatura

Los errores por temperatura se deben a las malas condiciones de trabajo del circuito, son errores de diseño, análisis y testeo si es que llega al mercado con estos errores.

Con el error de drift por temperatura, aparece un voltaje a la salida cuando la temperatura ambiente es diferente a 25°C (temperatura de laboratorio). Por dataset:

$$\Delta V_0(drift) = 2.5 \left[\frac{\mu V}{^\circ C} \right] T [^\circ C]$$

Calculando el error para el peor caso, 70°C (según datasheet)

$$\Delta V_0(drift_1) = \left(2.5 \left[\frac{\mu V}{^\circ C} \right] 70 [^\circ C] \right) \frac{100\Omega + 10000\Omega}{100\Omega} = 17,6 mV$$

$$\Delta V_0(drift_2) = \left(2.5 \left[\frac{\mu V}{^\circ C} \right] 70 [^\circ C] \right) \frac{100\Omega + 220\Omega}{100\Omega} = 0,56 mV$$

$$\Delta V_0(drift) = \Delta V_0(drift_1) + \Delta V_0(drift_2) = 18,16 mV$$

El error por temperatura también afecta a la tensión de offset de entrada, ya que, con el aumento de la temperatura, aumenta la tensión de offset a la salida del amplificador.

Podemos expresar el error por temperatura por medio de rangos de rangos de temperatura de trabajo:

$$\text{Para: } 10^\circ C < T < 30^\circ C \rightarrow \Delta V_0(drift) = 7,81 mV$$

$$\text{Para: } 30^\circ C < T < 60^\circ C \rightarrow \Delta V_0(drift) = 15,6 mV$$

Conclusión

El desarrollo de este proyecto permitió abordar de manera integral el diseño de un sistema de medición electrónico orientado a una balanza comercial, cumpliendo con los objetivos propuestos y reproduciendo de manera didáctica el proceso técnico y económico seguido por la industria. A partir del análisis de mercado y de los requisitos metroológicos establecidos por las balanzas homologadas en Argentina, se definieron las especificaciones funcionales del equipo y se estableció un criterio de diseño que orientó la selección de componentes y la arquitectura general del sistema.

En el plano técnico, la elección de una configuración basada en cuatro celdas de carga distribuidas en los puntos de apoyo garantizó un sensado uniforme del peso y una adecuada respuesta ante cargas excéntricas. El diseño de la etapa de adaptación de señal, incluyendo buffers, amplificación diferencial y posterior conversión analógico-digital, permitió obtener una cadena de medición robusta, capaz de resolver variaciones del orden de los microvoltios y satisfacer los requerimientos de precisión del instrumento. Los análisis de error en continua, conjuntamente con las estimaciones de deriva térmica, mostraron la importancia de seleccionar componentes adecuados y de considerar los factores ambientales en el desempeño global del sistema.

Desde el punto de vista económico, el estudio de costos demostró que es posible desarrollar un producto competitivo, alcanzando un precio final de venta cercano a los \$243.000, dentro del rango observado en dispositivos comerciales de características equivalentes. Este resultado confirma que el diseño propuesto no solo es técnicamente viable, sino también económicamente sustentable, cumpliendo con el objetivo de plantear una alternativa de menor costo sin comprometer la precisión ni la confiabilidad del instrumento.

Referencias

1. INTI – Metrología Legal - Empresas Fabricantes Auditadas [2](#)
2. INTI – Certifica N°001 – <https://www.inti.gob.ar/assets/uploads/files/metrologia-legal/empresas/0/001-moretti.pdf>
3. Balanza Electrónica De Mostrador Moretti LAP 15 kg (Manual de Usuario y Ficha Técnica) <https://moretti.com.ar/productos/linea-comercial/balanza-electronica-de-mostrador-moretti-lap-15-kg>
4. Celda de Carga de Punto Simple 30 kg [SC601AC-datasheet-R1.pdf](#)
5. Microcontrolador <https://www.digikey.com/en/products/detail/microchip-technology/PIC32CM2532LS00048-L-Y8X/16676867>
6. Celda de carga https://www.alibaba.com/product-detail/SC601-Single-Point-load-cell-130x22x30mm_60065559448.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_title.ced813a0rccvsk&priceId=32e296f0655147aaa98c0d6abbeb5006
7. Amplificador Operacional OP07-DDR [OP07DDR Texas Instruments | Integrated Circuits \(ICs\) | DigiKey Marketplace](#)
8. Hoja de Datos del AO OP07-DDR [OP07x Precision Operational Amplifiers datasheet \(Rev. H\)](#)
9. Panel de botones Membrana https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Key-Pad-Graphic-Overlay-Button_1600376003443.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_image.6e8913a0a1TOM9&priceId=a00a0844092d4e548461e6884fa57918
10. LCD LCD1602 https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Direct-Sales-LCD-1602A-I2C_1601250418232.html?spm=a2700.prosearch.normal_offer.d_image.52a467af6YhNLy&priceId=bcaa9e7fe04243c4bbdfa798573768c4
11. Hoja de Datos de Resistores Yageo Grup [PYU-RC GROUP 51 ROHS L](#)
12. Resistores Yageo Grup 1k [RC0603BR-071KL YAGEO | Resistors | DigiKey](#) [Resistores Yageo Group 1k RC0603BR-071KL YAGEO | Resistors | DigiKey](#)
13. Resistores Yageo Group 1k2 [RC0603BR-071K2L YAGEO | Resistors | DigiKey](#)
14. Resistores Yageo Group 100k [RC0603BR-07100KL YAGEO | Resistors | DigiKey](#)
15. Transformador de baja frecuencia https://www.alibaba.com/product-detail/Yingjiao-Low-Frequency-Mini-Transformer-60769421712.html?spm=a2700.prosearch.normal_offer.d_image.2f3467afZW9kR6&priceId=f18f667aa03646bd9a18f376d83ddc1a