

PROTOTIPO DE BALANZA ELECTRÓNICA CON COMUNICACIÓN AL PC, APLICADA A LA REALIZACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL

JOSE ALEJANDRO AMAYA PALACIO

*Profesor Auxiliar Escuela de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Industrial de Santander
jaamaya@uis.edu*

JUAN BENJAMÍN DUARTE DUARTE

*Profesor Asistente Escuela de Estudios Industriales y Empresariales
Universidad Industrial de Santander
jduarte@uis.edu.co*

NIDIA QUINTERO PEÑA

*Ingeniera Electrónica UIS
Nidiaqp6@hotmail.com*

ERWIN PARRA ORDUZ

*Ingeniero Electrónico UIS
erpaor@hotmail.com*

RESUMEN

El presente artículo describe los pasos realizados para construir un prototipo de balanza electrónica con comunicación serial, prototipo que servirá de referencia para desarrollar balanzas mejoradas para apoyar prácticas en el laboratorio de Control de Calidad y Diseño de Experimentos de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

PALABARAS CLAVE: Balanza electrónica, celda de carga, acondicionamiento de señal.

ABSTRACT

The present paper describes the steps carried out to make an electronic scale prototype with serial communication port, which will serve as a reference to develop improved scales to support practices in the laboratory of Quality Control and Experiment design of the Department of Industrial and Business studies.

KEYWORDS: Electronic Scale, Load Cell, Signal Conditioning.

INTRODUCCIÓN

El prototipo de balanza electrónica surgió de la necesidad de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de implementar el Laboratorio de Control de Calidad y Diseño de Experimentos. Se hizo un llamado a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de

Telecomunicaciones con el fin de obtener soluciones al problema.

Inicialmente se realizó una consulta bibliográfica con el fin de obtener información técnica y comercial acerca de

las balanzas electrónicas disponibles en el mercado. Posteriormente se investigó acerca de los sensores y transductores de peso, teniendo en cuenta la forma, diseño, costo y fácil adquisición. Esto permitió obtener un amplio conocimiento de los transductores que se emplean en la medición de peso.

La información obtenida permitió discernir entre las diferentes opciones y hacer una selección adecuada del transductor utilizado y su posterior compra. Una vez adquirido el transductor, se realizaron pruebas preliminares para verificar que cumplía con los requerimientos del proyecto. Como estas pruebas fueron satisfactorias, se procedió a implementar el resto del prototipo con este transductor.

Seleccionado el transductor se documentaron las generalidades de las balanzas electrónicas con el fin de conocer las unidades que la constituyen, además se estudió el estado del arte de estos equipos con el objetivo de tener criterios para el diseño. Esto permitió que el prototipo finalmente construido, tenga las especificaciones ofrecidas actualmente por los fabricantes de balanzas electrónicas.

FUNDAMENTACION TEÓRICA Y CONCEPTOS SOBRE SENSORES

Los sensores y transductores de fuerza se basan en la conversión de una fuerza aplicada en un desplazamiento mecánico; típicamente la deformación de un elemento elástico, que mediante un elemento transductor, se convierte en una señal eléctrica.

La primera característica a determinar en un transductor de fuerza es la de si se quiere medir fuerzas de compresión o tensión, junto con el rango (rango de medición) y la capacidad de sobrecarga requerida (sobrerango). El rango de un transductor de fuerza (celda de carga) se denomina capacidad.

Dos características de deformación elástica se utilizan en la transducción de fuerzas, la deformación local y la deflexión. Un valor máximo de cada uno se detecta en algún punto del elemento sensor, aunque no necesariamente siempre en el mismo punto, y es este valor el que da la magnitud transducida. Los elementos sensores de fuerza están fabricados con materiales de homogeneidad controlada, normalmente de algún tipo de acero, y con una serie de tolerancias cuidadosamente dimensionadas.

Celda de carga

Físicamente una celda de carga es una viga soportada de manera simple donde el punto de máxima deformación es el punto de aplicación de la fuerza. Esta viga posee internamente un dispositivo que varía su resistencia al ser estirado o comprimido (ver Figura 1).

La deflexión en el extremo es proporcional al peso aplicado y genera una señal a la salida entre 0 y 20 milivolts (máx.) típicamente.

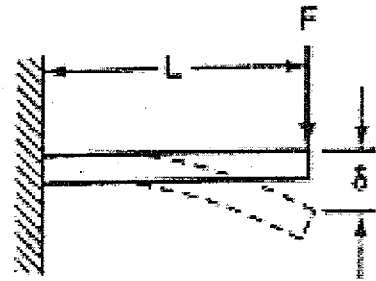


Figura 1. Celda de carga

Balanza electrónica

Las balanzas electrónicas, requieren un suministro de energía eléctrica para hacer funcionar los componentes especializados y determinar el peso; son más rápidas y más precisas que las mecánicas. También pueden incorporarse a sistemas computarizados, lo que las hace más útiles y eficaces que las balanzas mecánicas en la mayoría de las aplicaciones.

La mayoría de las balanzas electrónicas emplean un elemento sensible a la deformación y un alambre delgado cuya resistencia eléctrica cambia al ser estirado o comprimido, a este conjunto se le conoce con el nombre de celda de carga, la cual va fundida a una columna que sostiene la plataforma de la balanza.

Cuando se coloca la carga sobre la plataforma, la columna y el sensor se comprimen o estiran según sea el montaje mecánico. El consiguiente cambio en la resistencia puede emplearse para determinar el peso del objeto. Estas balanzas electrónicas básicas, poseen resoluciones que varían entre 1 gramo y 0,1 gramos, con capacidad entre 1000 y 5000 gramos.

El diagrama de bloques de la mayoría de las balanzas electrónicas disponibles en el mercado es como el de la Figura 2.

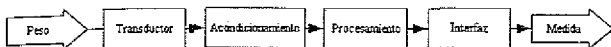


Figura 2. Diagrama de bloques de una balanza electrónica

Una balanza electrónica está conformada externamente por una carcasa, que es la encargada de proteger los componentes electrónicos y el transductor, además de soportar el teclado, la pantalla y la plataforma donde se colocan los objetos a pesar. Esta carcasa está firmemente sujeta a una base rígida generalmente metálica, que es la que provee el apoyo a la celda de carga o al transductor de peso. Las balanzas de precisión tienen una estructura diseñada para evitar que el aire afecte la medición.

Internamente una balanza electrónica tiene las siguientes unidades:

Unidad de medición: Consta del transductor de peso que se utilice según las especificaciones de la balanza, y del módulo de adecuación de la señal que genera el transductor. Esta unidad debe ser cuidadosamente diseñada ya que la mayor parte del error del sistema se genera en esta etapa, y en lo posible debe ser evitado desde este punto.

Unidad de procesamiento: Es la unidad encargada de convertir la señal dada por el transductor en el valor de peso correspondiente. En ciertas aplicaciones se requiere contar las muestras, por lo cual se utiliza un módulo que realiza esta tarea. Algunas balanzas tienen la posibilidad de cambiar la unidad de medición y de convertir el valor del peso en dinero.

Unidad de interfaz: Ofrece al usuario la posibilidad de leer los datos de interés e introducir, modificar datos o configurar el sistema. Consta de un visualizador y de un teclado. Estas partes deberán garantizar facilidad de uso y comodidad al operador, así como seguridad y larga vida al dispositivo. Algunas balanzas tienen puertos de comunicación para interactuar con un computador personal o de escritorio. Generalmente se utiliza el puerto serie con interfaz RS232.

Unidad de almacenamiento (opcional): Tiene la función de registrar y almacenar todos los datos de interés por el tiempo que se estime conveniente. Se debe evitar la pérdida o corrupción de datos, así como garantizar el suficiente tamaño de memoria para albergarlos por el tiempo asignado. Generalmente estos datos se descargan a través de los puertos o se visualizan directamente en la pantalla de la balanza.

SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

En este apartado se presenta la instrumentación seleccionada para realizar las mediciones de peso. También se presentan los circuitos de acondicionamiento de señal y de procesamiento.

Celda de carga

Basados en la resolución de 1 gramo, el costo de la celda, su disponibilidad para entrega inmediata y en el rango de medida requerido por el laboratorio de control de calidad de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, se realizó una búsqueda de los diferentes tipos y marcas de sensores que se ajustaran a estos requerimientos.

El transductor que mejor se acopló a estas condiciones, fue la celda de carga Tedeá Huntleigh modelo 1022, con capacidad máxima de 5000 gramos y resolución de 1 gramo.

El modelo 1022 es una celda de carga de bajo perfil y bajo costo, del tipo *cantilever*^{*}, con apoyo en un extremo y deflexión en el otro, diseñada para el montaje directo sobre plataformas de bajo costo. Es una celda pequeña y liviana debido a su construcción en aleación de aluminio, que combinada con una alta resolución de 1 gramo, hacen de ella la celda de carga ideal para construir balanzas electrónicas. Además posee protección ambiental que cumple los estándares IP66.

Acondicionamiento de señal

La etapa de acondicionamiento es muy importante debido a que lleva la señal proveniente de la celda de carga, a valores de tensión entre 0 y +10 volts, los cuales corresponden al margen de entrada que requiere el conversor analógico-digital seleccionado; además elimina las altas frecuencias que en este caso no son de interés, y brinda un aislamiento electromagnético del medio externo mediante el filtrado de la frecuencia de operación de la red eléctrica (60Hz).

En señales como la entregada por la celda de carga, que está en el intervalo de 0 volts (sin carga) y 20 milivolts cuando se opera a máxima carga (5000 gramos), es importante amplificar adecuadamente las frecuencias de

* Tipo de celda que se fija en un extremo, se aplica carga en el extremo opuesto, y la deflexión se produce a lo largo del cuerpo de la celda.

interés y filtrar las que no lo son. La etapa de acondicionamiento se encuentra compuesta por:

1. Un circuito de amplificación con ganancia de 500, para elevar el nivel de tensión proveniente de la celda, a un rango de tensiones entre 0 y 10 volts.
2. Un filtro pasabajos con frecuencia de corte 5 Hz de segundo orden; para garantizar que solo se amplifica la señal de corriente continua proveniente de la celda, y no el ruido que se pudiera introducir de los alrededores.

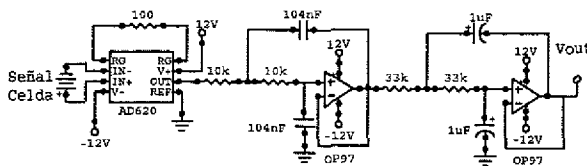


Figura 3. Acondicionamiento de señal

Con la primera etapa del circuito de acondicionamiento se busca amplificar la señal proveniente de la celda de carga que oscila entre 0 y 20 milivolts. Para realizar esta tarea se utiliza un amplificador con alta relación de rechazo en modo común, que tiene la posibilidad de una entrada diferencial (por el tipo de salida que presenta la celda de carga), que además tiene bajo consumo de corriente y que alcanza una ganancia de 500 que permite utilizar al máximo el rango de entrada (0 a 10 volts) del conversor analógico - digital.

En la segunda etapa del circuito de acondicionamiento se garantiza que las señales que son adquiridas por el conversor A/D son las correctas, para esto se realiza un filtrado de las componentes de altas frecuencias con un filtro pasabajos de frecuencia de corte en 5 Hz de segundo orden. Se debe verificar que el filtro también rechace la frecuencia de 25 KHz, que es la frecuencia de operación de los conversores DC-DC utilizados en la fuente de tensión.

En la Figura 3 se muestra la etapa de acondicionamiento de la señal.

Fuente de alimentación

La fuente de alimentación de la balanza electrónica se basa en una batería recargable de 9 volts, especificación dada por la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. También se cuenta con un sistema alternativo de alimentación conformado por un adaptador de 12 volts y un cargador para la batería de 9 volts. Con esto se le da a la balanza la

posibilidad de funcionar en lugares donde no haya red de energía eléctrica alterna y de recargar la batería cuando sea necesario.

Una vez definidas las características de la fuente de alimentación, es necesario establecer los niveles de tensión que se requieren para el adecuado funcionamiento de los demás módulos.

En la balanza se requieren 10 volts DC para alimentar la celda de carga y para establecer el nivel de referencia para el conversor A/D; 12 y -12 volts DC para alimentar los amplificadores operacionales, de instrumentación y al conversor A/D; 5 volts DC para alimentar el microcontrolador PIC, el conversor A/D, la memoria externa y el visualizador de cristal líquido LCD.

Para obtener los 5 volts, se toma como entrada la tensión proveniente del circuito de selección automática del cargador de batería y se introduce a un circuito que tiene un regulador de tensión que garantiza a la salida 5 volts DC. Cabe anotar que la tensión proveniente de la batería es variable entre 8 volts y 10,2 volts. En la Figura 4 se muestra el esquema de esta fuente de alimentación.

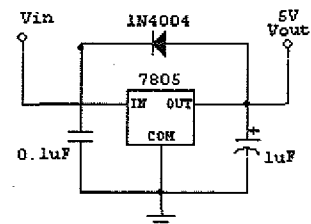


Figura 4. Fuente de alimentación de 5 volts.

Para obtener las tensiones requeridas por los amplificadores de precisión, de instrumentación y el conversor analógico-digital, se requiere un circuito integrado que eleve la tensión proveniente del circuito de selección automática del cargador de batería y que además genere el valor negativo de tensión correspondiente.

Para esto, se utilizó un conversor DC-DC basado en condensadores conmutados. Entre las múltiples opciones del mercado se seleccionó el convertidor de tensión con reguladores LT1054 de Texas Instruments.

Para obtener los 12 volts se configuró el circuito integrado LT1054 como doblador positivo, con el fin de garantizar que siempre haya una tensión mayor de 12 volts, aún cuando la batería se encuentre en su mínimo valor de tensión (8 volts). Una vez doblada la tensión proveniente

de la batería, se añade un regulador LM7812 para garantizar que el nivel de 12 volts se mantenga. (ver *Figura 5*).

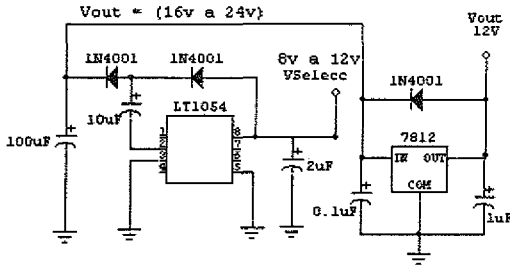


Figura 5. Alimentación de 12 voltios.

Para obtener un nivel de tensión regulado de 10 volts se requieren al menos 13 volts de entrada del regulador. Debido a que se usó una batería recargable de 9 volts; es necesario aumentar esta tensión.

Para aumentar la tensión se utilizó un segundo circuito integrado LT1054 en configuración de doblador positivo. De esta manera se obtiene una tensión mayor a 13 volts a la entrada del regulador de tensión LM7810. (ver *Figura 6*).

Para obtener -12 volts se utilizó un tercer circuito integrado LT1054 en su configuración de inversor básico de tensión.

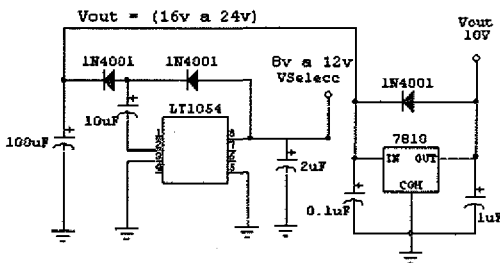


Figura 6. Alimentación de 10 voltios.

La tensión que se utiliza a la entrada de esta configuración inversora, son los 12 volts obtenidos y regulados en la fuente de 12 volts, por lo cual no es necesario utilizar de nuevo un regulador. (ver *Figura 7*).

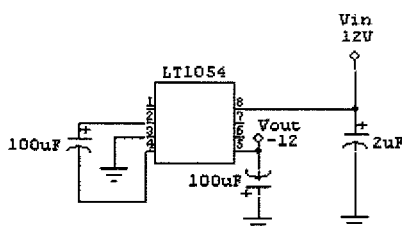


Figura 7. Alimentación de -12 voltios

Cargador de batería

Con el fin de proveer a la balanza de versatilidad para su utilización en ambientes en donde no se cuenta con fluido eléctrico, se dotó a la balanza de la capacidad de operar conectada a la red eléctrica o sin ésta, por medio de una batería recargable.

Cuando está conectado el adaptador de 12 volts externo que posee la balanza, alimenta todos los módulos internos y la balanza opera en modo normal. Cuando no se cuenta con el adaptador de 12 volts externo, la balanza opera con una batería de 9 volts recargable que posee internamente. El módulo de alimentación, consta de dos partes fundamentales que son: Un circuito de selección automática de alimentación y el cargador de la batería.

El circuito de selección automática permite trabajar a la balanza tanto con el adaptador de 12 volts externo como sin él. Este detecta automáticamente y conmuta la alimentación de la batería al adaptador cuando se conecta éste último. En la *Figura 8* se muestra el circuito de selección automática.

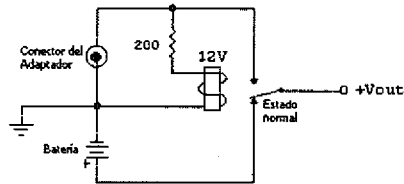


Figura 8. Circuito de selección automática.

El cargador de batería tiene un comparador de nivel alto y bajo. El cargador entra en funcionamiento automáticamente cuando la tensión de la batería recargable cae por debajo del valor mínimo establecido y deja de funcionar cuando la tensión de la batería sobrepasa el valor máximo establecido.

El control para el cargador de la batería se realiza mediante un circuito comparador Schmitt Trigger con tensiones de transición en 8 volts y 10,2 volts (tensiones de control de carga) y por tanto, una tensión de histéresis de 2,2 volts. El disparador de Schmitt actúa de tal forma que su salida va a saturación positiva cuando la tensión de la batería (entrada inversora) cae por debajo de los 8 volts, y caerá a 0 (saturación negativa) cuando esta tensión sobrepase los 10,2 volts.

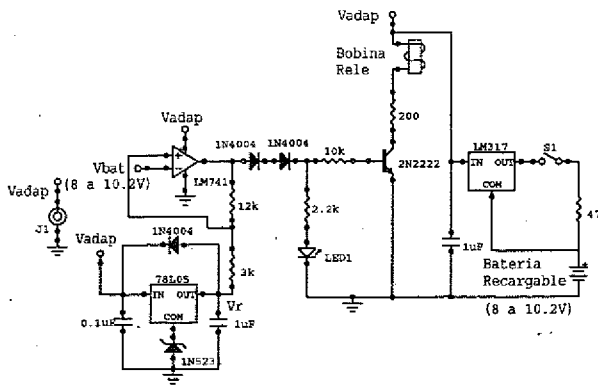


Figura 9. Cargador de batería

El transistor 2N2222 trabaja como interruptor, entre corte y saturación, teniendo como carga la bobina de un relé normalmente abierto que permite o no la carga de la batería. Mientras el transistor se encuentre en corte no fluye corriente por la bobina, manteniendo así el relé en su estado normal (conector abierto).

Cuando el transistor entra a saturación, la caída colector emisor del transistor será igual a un $V_{sat} \approx 0,3V$, lo que permite la excitación de la bobina y por ende la conmutación de su conector.

La función del disparador de Schmitt es la de polarizar el transistor, llevándolo a saturación cuando la batería necesite ser recargada, o a corte en caso contrario. Además, la salida del *Schmitt Trigger* también es la encargada de polarizar el LED indicador de carga y apagarlo cuando la batería ha sido totalmente recargada.

Cuando el conector se cierra, empieza a cargarse la batería. El regulador LM317 del circuito cargador actúa como regulador de corriente, proporcionando a la batería una corriente constante de carga de 26,5 mA. Esto se consigue con la configuración mostrada en la Figura 9, en donde el terminal común del regulador realimenta el sistema con la tensión de la batería asegurando una tensión en el terminal de salida del regulador que está 1,2 volts por encima de la tensión de la batería.

Conversión analógica - digital

Una vez se tienen amplificadas y filtradas las señales provenientes de la celda de carga, es necesario convertir estos valores analógicos a digitales para que un microcontrolador procese estos datos. El convertor analógico - digital utilizado es el circuito integrado AD677

de *Analog Devices*. Se decidió utilizar un convertor serial debido a que se utilizan menor cantidad de pines del microcontrolador, disponiendo así de un mayor número de pines para la conexión de los demás periféricos.

No se utilizaron los convertores analógicos digitales internos del microcontrolador debido a que solo son de 10 bits, lo cual es insuficiente para alcanzar los 5000 niveles digitales que se requieren para lograr la resolución de 1 gramo con una celda con capacidad de 5000 gramos. Por esto se escogió un convertor serial de 16 bits, eliminando el bit menos significativo para evitar ruido de conversión.

El circuito AD677 está segmentado internamente en dos chips monolíticos, un chip digital de control de *Analog Devices* fabricado en un proceso DSP CMOS y un convertor A/D fabricado en un proceso BiCMOS II.

Procesamiento de datos

Para procesar los datos provenientes del convertor analógico digital serial de 16 bits, visualizar los resultados en el LCD, interpretar comandos desde el teclado, almacenar los datos en memoria externa y transmitirlos hacia el PC se utilizó el microcontrolador PIC 16F877-20 empaquetado PDIP de 40 pines.

El PIC 16F877-20 es un microcontrolador que opera con un conjunto de instrucciones reducido (RISC) de solo 35 instrucciones. Todas las instrucciones se realizan en un solo ciclo, exceptuando las ramas que se realizan en 2 ciclos. Su velocidad de operación varía según el cristal utilizado, pero puede llegar a operarse con cristales de hasta 20 MHz, obteniéndose con esto instrucciones que operan a solo 200 nS.

Este dispositivo tiene un amplio rango de tensiones para su operación que va desde 2,0 volts hasta los 5,5 volts. A pesar de todas estas excelentes características y prestaciones, solo consume 0,6 mA trabajando a 4 MHz con alimentación de 3 volts. Está en capacidad para atender interrupciones de hasta 14 fuentes, y tiene 8 niveles de pila hardware. Funciona con modos de direccionado directo, indirecto y relativo.

Adicionalmente tiene 8 convertores analógico- digitales internos de 10 bits. En la balanza se requería trabajar con datos de 16 bits, por lo cual estos convertores internos de 10 bits no fueron utilizados y se precisó utilizar un convertor externo de 16 bits.

Este microcontrolador permite atender periféricos ya que tiene un transmisor - receptor síncrono y asíncrono universal (USART/SCI) con 9 bits de detección de dirección.

El microcontrolador PIC fue conectado con los demás periféricos de la siguiente manera:

- Los 5 pines del puerto A se utilizaron para controlar y recibir los datos provenientes del conversor analógico - digital.
- Los 8 pines del puerto B, se utilizaron para conectar el teclado matricial, debido a que poseen resistencias internas de pull-up, evitando así el uso de resistencias externas para este propósito.
- El puerto C fue utilizado en parte para realizar la comunicación serial con el PC (por los pines C6 y C7), realizar el control del LCD (pines C0 y C2), realizar la comunicación I2C con la memoria EEPROM (pines C3 y C4), y C1 y C5 fueron utilizados para los botones de Tara y Pesar.
- Los 8 pines del puerto D fueron utilizados para el bus de datos del LCD.
- Los 3 pines del Puerto E quedan disponibles para aplicaciones futuras.

Memoria

Se escogió la memoria serial 24LC64 de tecnología EEPROM con comunicación I2C producida por la empresa Microchip Technology de 8 KByte. Esta memoria es borrrable eléctricamente y esta organizada internamente en ocho bloques de 1KByte * 8 bit con interfaz serial de 2 cables.

Su diseño permite trabajar con tensiones bajas de hasta 1,8 V, con corriente activa de 1mA y en stand by de solo 1µA, con frecuencias mínimas de 100 KHz y máximas de 400 KHz. Esta memoria también tiene la capacidad de escribir en modo página, hasta 32 Bytes de datos. Su tiempo de acceso para escritura en modo página es de solo 2 ms. Se permite el uso de hasta 8 dispositivos en el mismo bus de datos, para mas de 512Kbits de direcciones. Están disponibles en empaquetados SOIC de 8 pines y PDIP de 8 pines. Por simplicidad en el manejo y robustez, se prefirió el empaquetado PDIP de 8 pines.

Para suprimir el ruido de entrada de las señales, posee disparadores *Schmitt Triggers*^{*} a la entrada de la memoria, y control de pendiente de salida para evitar rebotes de tierra.

Al ser una memoria de acceso frecuente, se tuvo en cuenta escoger una que pudiera ser escrita y borrada una gran cantidad de veces, 1'000.000 de veces en este caso; y que además guarde el dato almacenado por mucho tiempo, siendo en este caso mayor a 200 años. Posee además un control de protección de escritura por *hardware*, previniendo escrituras accidentales. La memoria está provista de protección a descargas electromagnéticas mayores a los 4000 volts, y opera en modo seguro dentro del rango de temperaturas de -40°C a +85°C.

Software de adquisición

Para la adquisición de los datos se seleccionó el programa Microsoft Visual Basic 6.0, debido a su facilidad y versatilidad, además de su sencilla interacción con el usuario y que permite crear un archivo ejecutable para el *software* que va a ser creado.

El programa realizado envía un código para causar una interrupción en el microcontrolador y que este empiece a realizar la tarea que se necesita. Tiene también una opción que permite seleccionar el puerto serial correcto. Después de finalizado su uso, brinda la opción al usuario de borrar los datos almacenados en la memoria EEPROM de la balanza, y disponer posteriormente de la capacidad de memoria.

Para transmitir y recibir datos, Microsoft Visual Basic 6.0 tiene un componente para la comunicación serial llamado el módulo MSCOMM.

PRUEBAS

Para caracterizar la celda de carga se utilizó el kit de pesas de calibración de balanzas analógicas que posee el laboratorio de hormigón de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. Este kit posee pesas de 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 1000, 2000, 3000, y 5000 gramos. La pesa de 10 gramos estaba bastante deteriorada, por lo cual no fue utilizada para las pruebas. Con este kit de pesas se realizaron todas las pruebas a la celda de carga y al prototipo.

* Un Schmitt trigger es un comparador que se utiliza para evitar oscilaciones en las transiciones de nivel bajo a alto, o de alto a bajo.

Para la primera prueba la celda estaba libre de peso y se utilizó el módulo de acondicionamiento con ganancia de 1000, con el fin de observar detalladamente el comportamiento de la celda en el rango de 0 a 3000 gramos. Se realizaron 5 tomas de datos, (por cuestiones de espacio solo se muestran 3) obteniendo los siguientes valores mostrados en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Primera prueba a la celda de carga. G=1000

	1era Vez	2da Vez	3era Vez
Peso (g)	Tensión (V)	Tensión (V)	Tensión (V)
0	4.53E-02	3.72E-02	3.50E-02
1	4.95E-02	4.11E-02	3.93E-02
2	5.30E-02	4.43E-02	4.26E-02
3	5.69E-02	4.81E-02	4.60E-02
5	6.38E-02	5.57E-02	5.37E-02
20	1.19E-01	1.11E-01	1.09E-01
30	1.57E-01	1.48E-01	1.46E-01
50	2.32E-01	2.22E-01	2.21E-01
100	4.14E-01	4.05E-01	4.04E-01
200	7.93E-01	7.85E-01	7.84E-01
300	1.164	1.157	1.154
500	1.911	1.902	1.901
1000	3.778	3.774	3.772
2000	7.51	7.48	7.50
3000	11.21	11.19	11.21

Con los valores obtenidos en esta prueba se realizó la respectiva gráfica con el fin de observar la tendencia de la celda, la cual se muestra en la *Figura 10*, se grafica el valor de tensión [V] vs. el peso [mg].

Con los datos de la *Tabla 1* se realizaron graficas en el rango de 0 a 3000 gramos y en el rango de 0 a 50 gramos, con el fin de observar la tendencia de la celda, en rangos más pequeños. Las graficas obtenidas se muestran en las *Figuras 11 y 12*.

Prueba a la celda de carga. G. = 1000

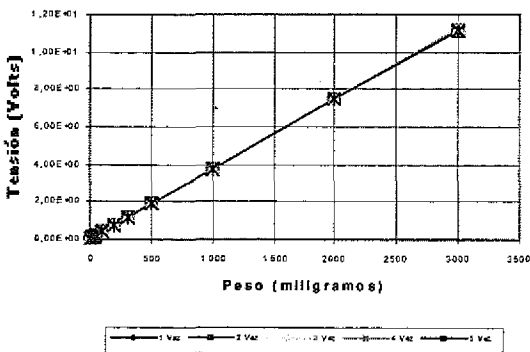


Figura 10. Tendencia de la celda

Comportamiento de la celda en el rango de 0 a 300 gramos

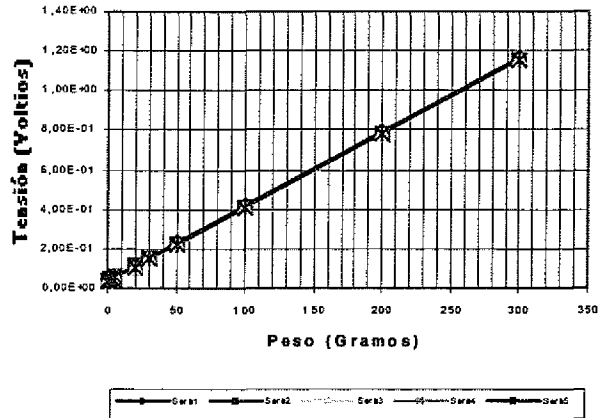


Figura 11. Tendencia entre 0 y 300 gramos

Comportamiento de la celda en el rango de 0 a 50 gramos

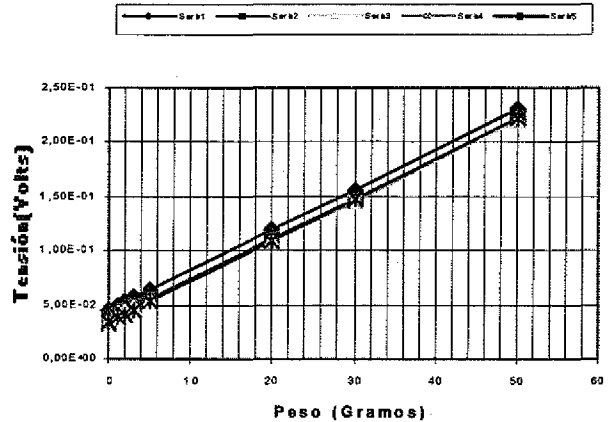


Figura 12. Tendencia entre 0 y 50 gramos

En estas gráficas se observa una tendencia lineal con la ganancia de 1000 en los diferentes rangos utilizados. No se utilizaron pesos superiores a 3000 gramos debido a que se saturan los amplificadores. Con una ganancia de 1000, un peso de 5000 gramos produciría una tensión a la salida de 20 volts, lo cual sobrepasa los 12 volts pico de los amplificadores.

En la segunda prueba realizada a la celda, se utilizó el módulo de acondicionamiento de señal con una ganancia de 495, polarizado a 12 y -12 volts DC con una fuente de laboratorio debido a que no se contaba con la fuente final del prototipo. Los datos se presentan en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Segunda prueba a la celda. G=495

Peso	Tensión	Peso	Tensión
0	0,284	300	0,87
1	0,286	500	1,261
2	0,288	1000	2,23
3	0,29	2000	4,18
4	0,292	2500	5,16
5	0,294	3000	6,11
20	0,323	3500	7,09
50	0,382	4000	8,06
100	0,478	4500	9,04
200	0,675	5000	10,01

Los datos de la Tabla 2 pueden observarse en la Figura 13.

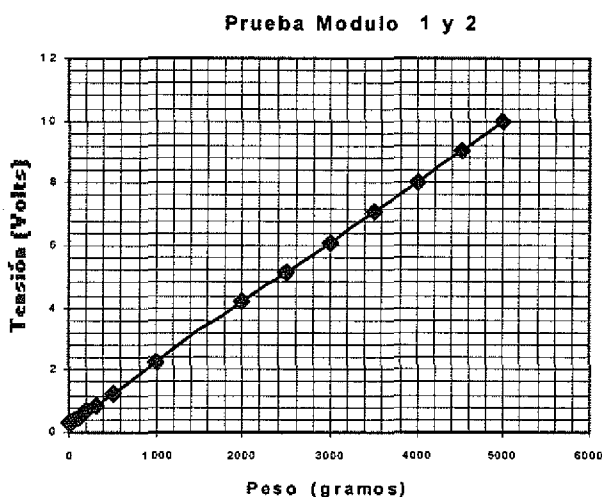


Figura 13. Segunda prueba a la celda G=495.

El método de calibración de la balanza consiste en buscar los valores de las pendientes y los rangos de peso para los cuales son válidas estas pendientes.

Esta diferencia de pendientes se debe a la ganancia de 495 utilizada para amplificar la señal de la celda. Si se utiliza una ganancia mayor en el acondicionador se mejora la linealidad observada en la celda, pero los valores de tensión obtenidos al pesar 5000 gramos exceden el máximo de 10 volts permitido por la entrada del conversor analógico - digital*

* A 5000 gramos la salida de tensión de la celda es de 19,89 milivolts

Una vez realizadas las anteriores pruebas a la celda de carga, se procedió a construir la fuente de alimentación y a conectarla con el resto de los módulos, con el fin de observar su correcto funcionamiento.

Se estableció que la corriente demandada por todo el prototipo era de 42,7mA; lo cual es inferior a 100mA, que es el valor nominal de corriente de la fuente diseñada.

Se verificó que las tensiones generadas por la fuente mantienen los niveles adecuados cuando se tiene el prototipo en operación:

- La fuente de 5 volts genera 4,96 volts
- La fuente de 12 voltios genera 11,98 volts.
- La fuente de -12 voltios genera -11,56 volts.
- La fuente de 10 volts genera 9,87 volts.

Estos valores cumplen las especificaciones del diseño y los requisitos de operación del prototipo y no se presentan problemas con los demás módulos.

Cualquier ruido que pueda sobrepasar a los reguladores es filtrado por los filtros RC, implementados para reducir (-3dB a 1,6KHz) el rizado que se genera en el uso de los circuitos impresos. Estos cuidados se deben tener debido a la sensibilidad del conversor analógico - digital utilizado.

La prueba realizada al cargador de batería, consistió en medir el tiempo total de carga. Siguiendo las instrucciones del fabricante de la batería, se diseñó y construyó un cargador de batería de carga rápida que inyecta 26,5 mA constantemente. De esta manera se logra obtener un tiempo de carga de 4 horas y 10 minutos, tiempo medido experimentalmente.

CONCLUSIONES

En los sensores y transductores de fuerza existe un compromiso inverso entre resolución y la capacidad máxima. Esto se concluyó en la etapa de investigación preliminar de los sensores y transductores de fuerza existentes.

Se conformó una estructura compacta y modular para implementar el conjunto del prototipo de balanza electrónica con comunicación serial al que se denominó BECCS.

El prototipo construido está en capacidad de transferir los datos almacenados en la memoria EEPROM hacia el PC a través del puerto serie, utilizando la interfaz RS-232. Además está en capacidad de borrar esta memoria si así se desea.

Con la construcción de este prototipo se ha contribuido con el inicio en el desarrollo de equipos para laboratorio. Queda demostrado que la UIS está en capacidad de fabricar balanzas electrónicas, por esto esperamos que a futuro sea prioridad fabricar estos equipos que adquirirlos en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] PALLÁS ARENY, Ramón. Sensores y Acondicionadores de Señal. Barcelona: Marcombo Boixareu Editores, 1998, 3a Edición Corregida.
- [2] NORTON, Harry N.; Sensores y Analizadores; Editorial Gustavo Gili. Barcelona 1984.
- [3] ÁNGULO USATEGUI, José. Ma. MARTÍN CUENCA, Eugenio. ANGULO MARTÍNEZ, Ignacio; Microcontroladores PIC, la solución en un chip; Editorial Paraninfo. España 1997.
- [4] ÁNGULO USATEGUI, José. Ma. ROMERO YESA, Susana. ANGULO MARTÍNEZ, Ignacio; Microcontroladores PIC, Diseño Práctico de Aplicaciones Segunda Parte, PIC 16F87X; Editorial McGraw Hill. España 2000.
- [5] MICROCHIP Technology Inc. PICSTART®Plus, Development System, User's Guide.; MPASM, User's Guide.; MPLAB, User's Guide. U.S.A. 1999.
- [6] SEDRA, Adel S. SMITH Kenneth C.; Circuitos Microelectrónicos, Cuarta Edición; Editorial Oxford University Press. México 1999.
- [7] VAN VALKENBURG, M. E. ; Analog Filter Design; Editorial Oxford University Press. New York 1982.
- [8] MANDADO, Enrique; Sistemas Electrónicos Digitales, 7ª ed.; Editorial Alfaomega, 1996.
- [9] KUME, Hitoshi; Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad; Editorial Norma. España 1992.