

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

NIDIA QUINTERO PEÑA

ERWING PARRA ORDUZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA, FEBRERO 2004**

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

**NIDIA QUINTERO PEÑA
ERWING PARRA ORDUZ**

Proyecto de Grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director
JOSE ALEJANDRO AMAYA PALACIO
Ingeniero Electricista
Universidad Industrial de Santander

Codirector
JUAN BENJAMIN DUARTE DUARTE
Ingeniero Industrial, M.s.c.
Universidad Industrial de Santander

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA, FEBRERO 2004**

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Jose Alejandro Amaya Palacio, Ingeniero Electricista director del proyecto por ser una fuente incansable de entusiasmo y energía positiva.

Juan Benjamín Duarte Duarte, Ingeniero Industrial Msc, codirector del proyecto por brindarnos su confianza y conocimientos, además por prestarnos su oficina y PC incondicionalmente.

Javier Mier, Ingeniero Electricista, por ser una constante fuente de consejos útiles para la elaboración de este proyecto.

Al Laboratorio de Hormigón de la escuela de Ingeniería Civil por prestarnos el kit de pesas de calibración por todo el tiempo que las necesitamos.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pag. |
|--|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. SENSORES Y TRANSDUCTORES DE FUERZA | 4 |
| 1.1. ELEMENTOS SENSORES DE FUERZA | 4 |
| 1.2. TRANSDUCTORES DE FUERZA | 8 |
| 1.2.1. Transductores de Fuerza Capacitivos | 8 |
| 1.2.2. Transductores de Fuerza por Reluctancia | 8 |
| 1.2.3. Transductores de Fuerza de Galgas Extensométricas | 10 |
| 1.2.4. Transductores de Fuerza Piezoeléctricos | 13 |
| 1.2.5. Transductores de Fuerza de Cable Vibrante | 18 |
| 1.3. CARACTERÍSTICAS Y PRESTACIONES DE LOS TRANSDUCTORES DE FUERZA | 19 |
| 2. BALANZAS | 21 |
| 2.1. BALANZAS MECANICAS | 21 |
| 2.2. BALANZAS ELECTRONICAS | 24 |
| 2.3. CARACTERISTICAS ACTUALES | 26 |
| 2.4. GENERALIDADES DE LAS BALANZAS | 27 |
| 3. COMPONENTES DEL PROTOTIPO DE BALANZA | 29 |
| 3.1. CELDA DE CARGA | 30 |
| 3.2. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL | 32 |
| 3.2.1. Amplificación | 32 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2. Filtro Pasabajos | 34 |
| 3.3. CONVERTOR A/D, MICROCONTROLADOR PIC, MEMORIA, LCD Y TECLADO | 35 |
| 3.3.1. Conversor Análogo – Digital | 35 |
| 3.3.2. Microcontrolador PIC | 37 |
| 3.3.3. Memoria | 39 |
| 3.3.4. Display de Cristal Líquido (LCD) | 41 |
| 3.3.4.1. El bus de datos | 43 |
| 3.3.4.2. El bus de control | 44 |
| 3.3.5. Teclado | 44 |
| 3.4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN | 46 |
| 3.4.1. Fuente de 5 voltios | 47 |
| 3.4.2. Fuente de +12 y -12 voltios | 48 |
| 3.4.3. Fuente de 10 voltios | 51 |
| 3.5. CARGADOR DE BATERÍA | 53 |
| 3.5.1. Circuito de selección automática | 53 |
| 3.5.2. Cargador de Batería | 54 |
| 4. PRUEBAS DEL PROTOTIPO | 57 |
| 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CELDA | 57 |
| 4.2. PRUEBAS AL PROTOTIPO | 62 |
| 4.3. PRUEBAS A LA FUENTE | 66 |
| 4.4. PRUEBAS AL CARGADOR | 67 |
| 5. GRAFICAS DE CONTROL | 68 |

| | |
|---|----|
| 5.1. DEFINICIÓN | 68 |
| 5.2. TIPOS DE GRÁFICAS DE CONTROL | 69 |
| 5.2.1. Gráficas X, R, S | 70 |
| 5.2.2. Gráfica X | 70 |
| 5.2.3. Gráfica pn , Gráfica p | 70 |
| 5.2.4. Gráfica c , Gráfica u | 71 |
| 5.3. COMO ELABORAR UNA GRÁFICA DE CONTROL | 71 |
| 5.3.1. Recoger los datos | 71 |
| 5.3.2. Calcular los promedios de x | 71 |
| 5.3.3. Calcular x | 71 |
| 5.3.4. Calcular R | 72 |
| 5.3.5. Calcular R | 72 |
| 5.3.6. Calcular las líneas de control | 72 |
| 5.3.7. Dibujar las líneas de control | 73 |
| 5.3.8. Localizar los puntos | 73 |
| 5.3.9. Registrar los datos que puedan ser de utilidad | 73 |
| 5.3.10. Ejemplo de una gráfica de control $x - R$ | 74 |
| 5.4. COMO LEER UNA GRÁFICA DE CONTROL | 74 |
| 5.4.1. Fuera de los límites de control | 75 |
| 5.4.2. Racha | 75 |

| | |
|--|----|
| 5.4.3. Tendencia | 76 |
| 5.4.4. Acercamiento a los limites de control | 77 |
| 5.4.5. Acercamiento a la línea central | 77 |
| 5.4.6. Periodicidad | 78 |
| 5.5. ANÁLISIS DEL PROCESO USANDO LAS GRÁFICAS DE CONTROL | 78 |
| 5.5.1. Organización de los subgrupos | 78 |
| 5.6. GRAFICAS DE CONTROL CON EL SOFTWARE SPSS | 79 |
| 6. SOFTWARE UTILIZADO | 82 |
| 6.1. SOFTWARE PARA DESCARGAR DATOS DEL PROTOTIPO | 84 |
| 6.1.1. Botón detectar puerto | 86 |
| 6.1.2. Botón crear archivo | 86 |
| 6.1.3. Botón descargar datos | 87 |
| 6.1.4. Botón borrar memoria | 87 |
| 6.1.5. Botón ayuda | 87 |
| 6.1.6. Botón salir | 87 |
| 6.2. PRUEBAS REALIZADAS AL SOFTWARE | 88 |
| 7. CONCLUSIONES | 90 |
| RECOMENDACIONES | 92 |
| BIBLIOGRAFIA | 94 |
| ANEXOS | 96 |

LISTA DE TABLAS

| | Pag. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Comportamiento de la celda de carga entre 0 y 3000 gramos | 58 |
| Tabla 2. Valores de voltaje obtenidos con la celda y el acondicionador | 61 |
| Tabla 3. Datos de calibración | 63 |
| Tabla 4. Datos obtenidos con una constante para todo el rango | 65 |
| Tabla 5. Tipos de graficas de control | 69 |
| Tabla 6. Determinación de parámetros A_2, D_4, D_3 | 73 |
| Tabla 7. Ejemplo de una grafica de control | 74 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pag. |
|--|-------------|
| Figura 1. Elementos viga sensores de fuerza | 5 |
| Figura 2. Elementos sensores de fuerza como anillo de prueba | 6 |
| Figura 3. Elementos sensores de fuerza tipo columna | 6 |
| Figura 4. Elementos sensores de presión | 7 |
| Figura 5. Transducción de fuerza por reluctancia | 9 |
| Figura 6. Transductores de fuerza con galgas extensiométricas típicos | 11 |
| Figura 7. Transductor de fuerza con elemento sensor de fuerza cortante | 12 |
| Figura 8. Transductor de fuerza piezoeléctrico con circuito convertidor de impedancias integral. | 14 |
| Figura 9. Célula de carga piezoeléctrica. | 15 |
| Figura 10. Transducción de fuerza multicomponente y ejemplo de transductor de dos componentes | 16 |
| Figura 11. Transducción de fuerza multicomponente y ejemplo de transductor de tres componentes | 17 |
| Figura 12. Balanzas mecánicas usadas por los egipcios. Tumba de Rekhmire | 21 |
| Figura 13. Balanza romana | 22 |
| Figura 14. Balanza de péndulo | 23 |
| Figura 15. Balanza de resorte | 24 |
| Figura 16. Balanza electrónica | 25 |
| Figura 17. Diagrama de bloques de una balanza electrónica. | 25 |
| Figura 18 Balanzas de última generación. | 26 |

| | |
|--|----|
| Figura 19. Celda de carga Tedeo Huntleigh modelo 1022 | 30 |
| Figura 20. Dimensiones de la celda de carga Tedeo Huntleigh 1022 (en mm) | 31 |
| Figura 21. Diagrama de bloques del circuito integrado AD620 | 33 |
| Figura 22. Circuito Amplificador para obtener ganancia de 495 V/V | 34 |
| Figura 23. Modelo utilizado para la construcción del filtro pasabajos | 35 |
| Figura 24. Diagrama de bloques del convertor AD677 | 37 |
| Figura 25. Esquema de pines del PIC 16F877-20 en empaquetado PDIP | 38 |
| Figura 26. Esquema de pines de la memoria EEPROM | 40 |
| Figura 27. Diagrama de bloques de la memoria EEPROM | 40 |
| Figura 28. Aspecto físico del LCD | 41 |
| Figura 29. Especificaciones del LCD | 41 |
| Figura 30. Caracteres visualizados en un LCD | 42 |
| Figura 31. Diagrama de pines de conexión del LCD | 43 |
| Figura 32. Conexión y control del LCD | 43 |
| Figura 33. Organización del Teclado matricial | 45 |
| Figura 34. Funcionamiento del teclado matricial | 46 |
| Figura 35. Regulador de 5 Voltios | 48 |
| Figura 36. Configuración para elevar un voltaje positivo al doble. | 49 |
| Figura 37. Fuente de 12 voltios | 50 |
| Figura 38. Configuración para invertir un voltaje | 50 |
| Figura 39. Fuente de -12 Voltios. | 51 |
| Figura 40. Fuente de 10 Voltios. | 52 |
| Figura 41. Fuente de voltaje BECCS | 52 |
| Figura 42. Circuito de selección automática | 53 |
| Figura 43. Cargador de batería. | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 44. Kit de Pesas, Laboratorio de Hormigón UIS | 58 |
| Figura 45. Comportamiento de la celda de carga entre 0 y 3000 gramos | 59 |
| Figura 46. Comportamiento de la celda de carga entre 0 y 300 gramos | 60 |
| Figura 47. Comportamiento de la celda de carga entre 0 y 50 gramos | 60 |
| Figura 48. Gráfica de voltaje contra peso obtenida | 62 |
| Figura 49. Montaje utilizado para realizar las pruebas al prototipo | 62 |
| Figura 50. Datos de calibración | 64 |
| Figura 51. Ejemplos de graficas de control | 69 |
| Figura 52. Gráfica $\bar{x} \wedge R$ para el ejemplo anterior | 75 |
| Figura 53. Racha | 76 |
| Figura 54. Tendencia | 76 |
| Figura 55. Acercamiento a los límites de control | 77 |
| Figura 56. Acercamiento a la línea central | 77 |
| Figura 57. Periodicidad | 78 |
| Figura 58. Hoja de cálculo en SPSS | 80 |
| Figura 59. Menú control charts | 80 |
| Figura 60. Seleccionar variables para análisis | 81 |
| Figura 61. Grafico de control realizado con SPSS | 81 |
| Figura 62. Diagrama de flujo del prototipo | 83 |
| Figura 63. Módulo de comunicaciones seriales MSCOMM | 85 |
| Figura 64. Menú principal del software | 86 |
| Figura 65. Datos recibidos | 88 |
| Figura 66. Memoria vacía | 89 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pag. |
|---|-------------|
| Anexo A. Celda de carga Tedeo Huntleigh 1022 | 97 |
| Anexo B. Amplificador de instrumentación AD620. (Analog Devices) | 99 |
| Anexo C. Amplificador de precisión OP97 (Analog Devices) | 103 |
| Anexo D. Conversor A/D serial 16 bits AD677KN (Analog Devices) | 106 |
| Anexo E. Microcontrolador PIC 16F877-20. (Microchip Technologies) | 116 |
| Anexo F. Memoria EEPROM serial 24LC64 (Microchip Technologies) | 123 |
| Anexo G. Conversor de Voltaje con Regulador LT1054. (Linear Technology) | 133 |
| Anexo H. Diagrama de circuitos utilizados. | 136 |
| Anexo I. Código Fuente utilizado por el PIC. | 139 |

RESUMEN

TITULO: Prototipo de Balanza Electrónica con Comunicación al PC, Aplicada a la Realización de Gráficas de Control¹

AUTORES: QUINTERO PEÑA, Nidia
PARRA ORDUZ, Erwing**

PALABRAS CLAVE: Medición de Peso, Balanza Electrónica, Acondicionamiento de Señal, Gráficas de Control, Transductor de Peso, Celda de Carga.

DESCRIPCION:

Este proyecto hace parte del desarrollo del macroproyecto 5515 inscrito en la Dirección de Investigaciones de la Facultad (DIF). El proyecto está financiado por el Departamento de Investigaciones de la Facultad de Físico-Mecánicas (DIF) y por la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un prototipo de balanza electrónica con precisión de 5Kg x 1g, con capacidad para almacenamiento de datos, interfaz RS-232 y tara programable; características acorde a las necesidades del laboratorio de control de calidad y diseño de experimentos de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. El proyecto pretende hacer desarrollos en la construcción de prototipos con características ajustadas a necesidades reales, para consolidar avances significativos en el área de instrumentación electrónica en la E3T.

La primera etapa del proyecto consistió en realizar 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, con el fin de realizar la selección adecuada del transductor a utilizar. Una vez seleccionado el transductor, se procedió a diseñar y construir la etapa de acondicionamiento y procesamiento de la señal.

El prototipo de balanza electrónica posee una memoria EEPROM de 8 KBytes, con capacidad para almacenar 4000 datos y transferirlos a 9600 bps hacia el PC, a través de un puerto serial mediante la interfaz RS-232, y almacenarlos en un archivo de texto plano fácilmente reconocible por varios software especializados en estadística. La alimentación del prototipo es dual, puede alimentarse externamente por un adaptador de 12 voltios o por una batería de 9 voltios recargable internamente, mediante un cargador de batería incorporado.

¹ Trabajo de Grado

** Facultad Físico-Mecánicas. Ing. Electrónica. Jose A. Amaya P.

ABSTRACT

TITLE: Electronic Scale Prototype with Serial Communications Port, applied to control charts accomplishment*

AUTHORS: Quintero Peña Nidia
Parra Orduz Erwing**

KEY WORDS: Weight Measurement, Electronic Scale, Signal Conditioning, Control Charts, Weight Transducer, Load Cell.

DESCRIPTION:

This project has been a part of a large-scale project development, numbered 5515 and registered in the Research Direction Faculty . This project was financed by the Research Department of Physics-mechanics Faculty and the school of Industrial and Business Studies.

The objective of this project is to design and construct an electronic scale prototype with a 5Kg x 1g accuracy, with capacity for data storage, RS-232 interface and programmable tare, characteristics that complies with the needs of the Quality Control and Experiments Design Laboratory of the School of Industrial and Business Studies. The project tries to make developments in prototype construction with characteristics that fit the real needs, and to consolidate significant advances in the electronic instrumentation area in the E3T.

The first phase of the project consisted of making a bibliographical consultation with the purpose of getting technical and commercial information about the electronic scales available in the market. Later one research about the sensors and weight transducers, with the purpose of making the suitable selection of the transducer to use. Once selected the transducer, it was come to design and construct the signal preparation and processing phase.

The electronic scale prototype has an EEPROM memory of 8 KBytes, with capacity to store 4000 data and transfer them to 9600 bps towards the PC, through a serial port by means of interface RS-232, and to store them in an easily reconocible flat text file by several statistics software. The supply of the prototype is dual, it can be supplied externally by a 12 volts adapter or a 9 volts battery internally rechargeable, by means of a built-in battery charger.

* Final Year Project

** Electronic engineering students

ESPECIFICACIONES DEL PROTOTIPO

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Alimentación:

- Adaptador 12 voltios externo
- Batería recargable de 9 voltios interna

El prototipo posee un cargador interno de la batería recargable.

Tiempo de Carga de la Batería: aprox. 4 horas

Consumo de Corriente Promedio: 41.6mA

CARACTERISTICAS TECNICAS

Resolución: 1 gramo

Capacidad máxima: 4500 gramos

Capacidad de Almacenamiento: $\frac{\text{TamañoMemoria}}{\text{TamañoDato}} \equiv \frac{8KB}{2B} \equiv 4000\text{Datos}$

Tamaño de la memoria usada: 8KBytes

Comunicación: Serial con cable DB9 M/H directo mediante Interfaz RS-232

Velocidad de transferencia: Fija a 9600 bps

Tiempo de borrado de memoria: 90 Segundos

INTRODUCCION

A través de los tiempos, el hombre ha visto que medir es una necesidad para la física debido a la exigencia del método científico, el cual demanda que toda hipótesis sea probada experimentalmente. Naturalmente, esto ha de hacerse no solo de manera cualitativa sino también cuantitativa.

Medir es en lo esencial, un procedimiento de comparación con un patrón. Esto se ha hecho desde épocas remotas, pero la gran variedad de patrones existentes, la necesidad cada vez mayor de rigurosidad en el trabajo científico y la creciente comunicación entre científicos de distintos lugares alrededor del mundo, así como la existencia de una gran cantidad de magnitudes que en realidad son combinaciones de unas pocas (fundamentales), han llevado a la estandarización y a las definiciones contenidas en el denominado Sistema Internacional de Unidades (SI), hoy de amplio uso en el mundo entero.

Los problemas existentes con los sistemas de medidas en los inicios de 1700 eran de tal magnitud que era frecuente que en cada país (e incluso en cada región) existiera un sistema distinto. La confusión era agravada por el hecho de que unidades como la libra, tenían definiciones distintas en Gran Bretaña, París y en Berlín, careciendo de patrones exactos. La confusión era inmensa, no solo en el comercio, sino también en el mundo científico, llegando a ser la traducción de medidas de un país a otro un problema que demandaba gran cantidad de tiempo y energía.

En 1666 se había fundado la Academia de Ciencias en Francia, y ya desde 1670 se habían recibido allí distintas propuestas para procurar mejorar los sistemas de medidas y hacerlos coherentes. No obstante, solo en 1790 (dos años después de producida la Revolución Francesa) una comisión formada por Condorcet (presidente de la Academia) y constituida por Lavoisier, Coulomb, Laplace y Tayllerand – lo mas

granado de la comunidad científica francesa de la época- logró un decreto de la Asamblea Nacional autorizándolo a crear medidas con sus múltiplos y submúltiplos.

Finalmente en 1795 se dictó una ley que oficializó el sistema métrico, estableciendo al metro como patrón de longitud, el ara como medida de superficie, al estro y al litro como medidas de volumen, al gramo para la masa y al franco para las monedas. En 1778 finalizaron los cálculos oficiales y se mandó a construir un metro oficial de platino y un cilindro de platino de un kilogramo de masa. Estos fueron reemplazados por patrones de mayor precisión de platino-iridio en 1889 que actualmente reposan en el museo de pesos y medidas de Sevres (Francia).

Desde el tiempo de los antiguos egipcios, las balanzas han sido utilizadas como instrumento de medida para la comercialización e intercambio de productos de consumo. Los romanos mejoraron el diseño e implementación de las balanzas con la aparición de nuevos materiales, logrando mayor precisión y mas amplios rangos de valores de medida. Desde entonces las balanzas han evolucionado constantemente hasta convertirse en un instrumento indispensable de laboratorio, de gran precisión y alto valor científico.

El objetivo general del proyecto es diseñar y construir un prototipo de balanza electrónica con precisión de 5Kg x 1g, tara programable, conexión serial mediante interfaz RS-232, con capacidad para almacenamiento de 1000 datos y la posibilidad de disponer de ellos en un formato reconocible por un software especializado en estadística.

El presente proyecto surge como una necesidad de profundizar en el área de la instrumentación electrónica, en el desarrollo de prototipos de instrumentos de medición y herramientas a la medida; como materialización de los conocimientos adquiridos y como apoyo al desarrollo de los laboratorios de la escuela de ingeniería eléctrica y electrónica y de otras escuelas de la universidad. Este proyecto hace parte del macroproyecto para la construcción y adecuación del laboratorio de control de calidad y diseño de experimentos de la escuela de estudios industriales y empresariales de la universidad, y como trabajo de investigación para la maestría en

ingeniería electrónica, el cual ha sido financiado por el departamento de investigaciones de la facultad (DIF) y la escuela de estudios industriales y empresariales.

En el primer capítulo se hace una breve descripción de los sensores y los transductores utilizados en la medición del peso, también se especifican las características necesarias a la hora de escoger correctamente un transductor de peso.

En el segundo capítulo se hace una reseña histórica de la medición de peso desde los antiguos egipcios, pasando por los romanos y llegando hasta la última tecnología de nuestros días.

En el tercer capítulo se describen detalladamente cada uno de los componentes del prototipo de la balanza electrónica, el proceso de diseño e implementación.

El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al prototipo de balanza electrónica.

En el quinto capítulo se hace un marco teórico sobre los gráficos de control y se da un ejemplo de la realización de uno; de manera manual y con el SPSS, el software especializado en probabilidad y estadística que permite realizarlos de manera mucho más sencilla.

En el sexto capítulo se explica el algoritmo de funcionamiento de la balanza, se describen brevemente las herramientas de Visual Basic utilizadas para realizar el programa que permite descargar los datos de la balanza al PC y también se presentan las pruebas realizadas al software de adquisición de datos.

En los anexos se presentan las hojas de datos de los integrados empleados en los diferentes circuitos que conforman las tarjetas impresas, se incluyen además, los planos finales de estos impresos y el manual del usuario.

1. SENSORES Y TRANSDUCTORES DE FUERZA

1.1. ELEMENTOS SENSORES DE FUERZA

Algunos 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 de salida.

Las 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 muy cuidadosamente dimensionadas. Como parámetros básicos de diseño de estos sensores se tiene:

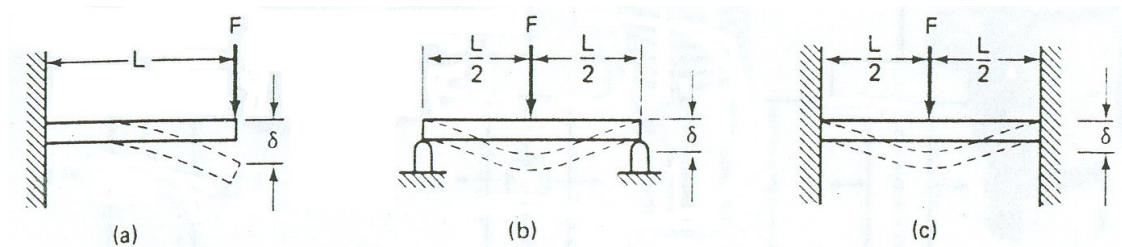
- Tamaño y forma.
- Densidad del material.
- Módulo de elasticidad.
- Sensibilidad a la deformación y a la deflexión.
- Respuesta dinámica.
- Efectos de la carga del transductor sobre el sistema a medir.

Los elementos sensores son ordinariamente de los siguientes tipos:

- Vigas
- Anillos

- Columnas o Diafragmas.

Figura 1. Elementos viga sensores de fuerza: (a) en voladizo; (b) soportado simplemente; (c) restringido



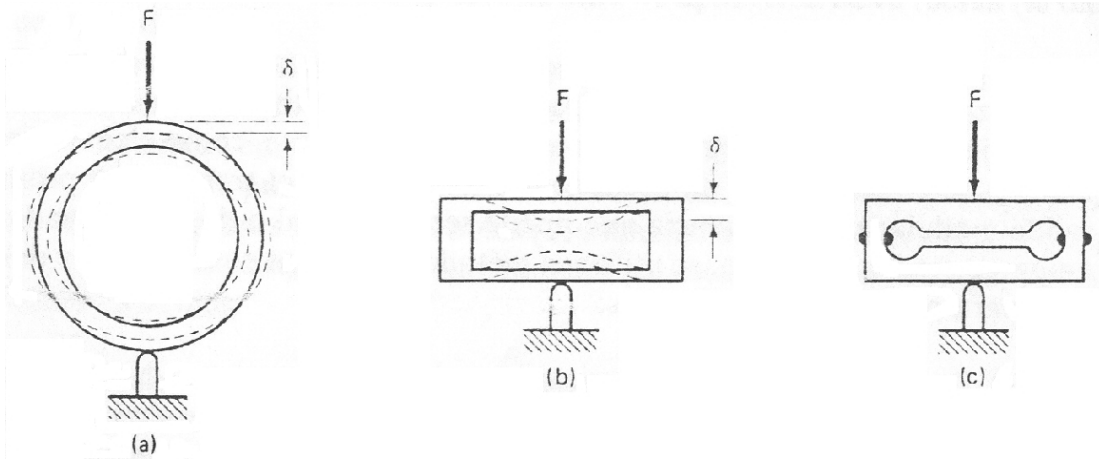
Sensores y analizadores. Harry N. Norton

La figura 1 muestra diversas configuraciones de *vigas de deformación*. La máxima deflexión (δ) en una viga ocurre en el punto de aplicación de la fuerza, excepto en las vigas en voladizo en las que ocurre en el extremo libre de la viga. El punto de máxima deflexión en una viga en voladizo (de sección constante) está en el extremo fijo. Las vigas en voladizo también pueden tener una configuración de robustez constante, con un adelgazamiento respecto de un plano en forma triangular o parabólica con su punto más estrecho en el punto de aplicación de la fuerza y con una sección constante en el otro plano, siendo entonces constante la deformación a lo largo de la parte superior e inferior de la viga.

En una viga soportada de manera simple el punto de máxima deformación es el punto de aplicación de la fuerza. En una viga de movimiento restringido (extremos fijos) la máxima deformación ocurre en ambos extremos fijos (en sentido opuesto) y en el punto de aplicación de la fuerza.

En los *anillos de calibración* (denominados estructuras de calibración, si tienen configuración plana), como se indica en la figura 2, la máxima deflexión ocurre en el punto de aplicación de fuerzas. La máxima deformación se tiene también en el punto de aplicación de fuerzas, aunque deformaciones de igual magnitud se tienen en los puntos situados 90° en ambas direcciones del punto de aplicación, siendo más conveniente sentir la deformación en estos puntos.

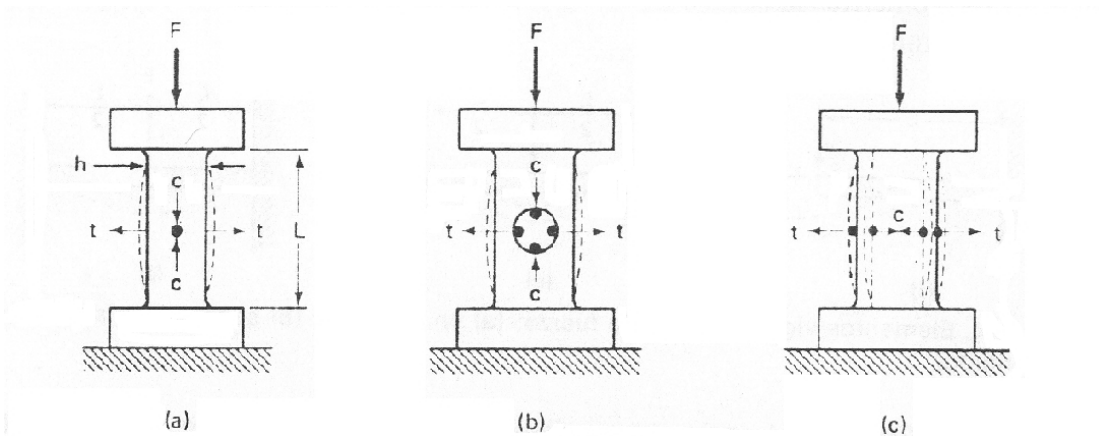
Figura 2. Elementos sensores de fuerza como anillo de prueba: (a) estándar; (b) plano (estructura de prueba); (c) plano con agujeros de concentración de esfuerzos.



Sensores y analizadores. Harry N. Norton

La deflexión queda resaltada en los ensayos con las estructuras de calibración estándar y plana. La deformación (indicada con puntos negros) queda resaltada en la configuración de esfuerzos concentrados. La estructura de calibración estándar tiene normalmente una sección cuadrada o rectangular.

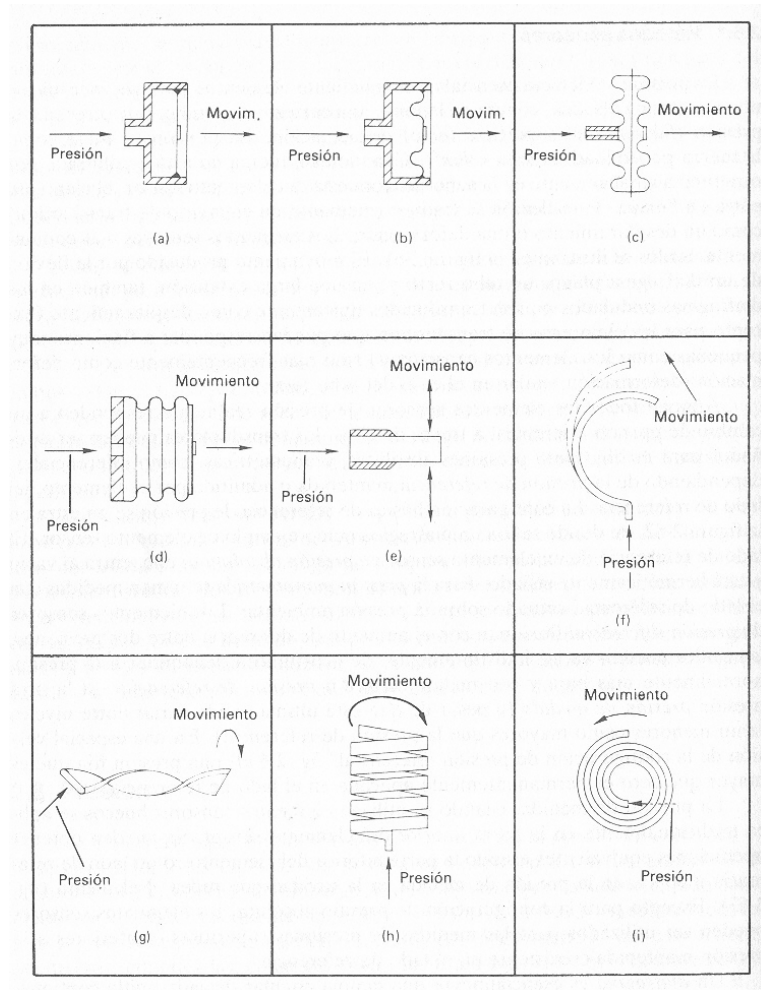
Figura 3. Elementos sensores de fuerza tipo columna: (a) cilindro sólido; (b) rectangular con agujeros de concentración de esfuerzos; (c) cilindro hueco (tubo de deformación).



Sensores y analizadores. Harry N. Norton

Los elementos sensores de fuerza en *columna*, como los mostrados en la figura 3, tienen su punto de máxima deflexión, normalmente, en su centro vertical y la máxima deformación en su centro lateral. Sus características vienen dadas por la relación alto-ancho (L/h) y en el cilindro hueco, por el espesor de la pared. Las fuerzas de Compresión (c) y tensión (t) son detectadas como tensiones (tensiones de arco en el cilindro hueco), y a veces como cambios de características magnéticas o frecuencia natural.

Figura 4. Elementos sensores de presión: (a) diafragma plano; (b) diafragma ondulado; (c) cápsula; (d) fuelle; (e) tubo recto; (f) tubo Bourdon en forma de C; (g) tubo de Bourdon trenzado; (h) tubo de Bourdon helicoidal; (i) tubo de Bourdon espiral.



Sensores y analizadores. Harry N. Norton

Los *diafragmas* (planchas recortadas circularmente) se usan como elementos sensores de fuerza. Los elementos tipo diafragma tienen buenas características de deflexión y buena estabilidad lateral. La máxima deflexión y deformación ocurren en el centro, en donde se aplica la fuerza. Esto se puede observar en la Figura 4.

1.2. TRANSDUCTORES DE FUERZA

1.2.1. Transductores de Fuerza Capacitivos

Unos pocos diseños de transductores de fuerza emplean el principio de transducción capacitiva en los elementos sensores de deflexión. Los electrodos se conectan, típicamente, como elementos controladores de frecuencia en un oscilador de manera que el transductor produce una salida modulada en frecuencia que puede ser sinusoidal o de forma cuadrada. Sin embargo, en algunos diseños, se utiliza el método de fuerzas equilibradas y demodulación para producir una salida c.c.

1.2.2. Transductores de Fuerza por Reluctancia

Elementos transductores por reluctancia, usualmente de tipo TDVL², a veces del tipo de puente de inductancias, se usan como elementos transductores de fuerza convirtiendo la deflexión del elemento sensor en una salida eléctrica.

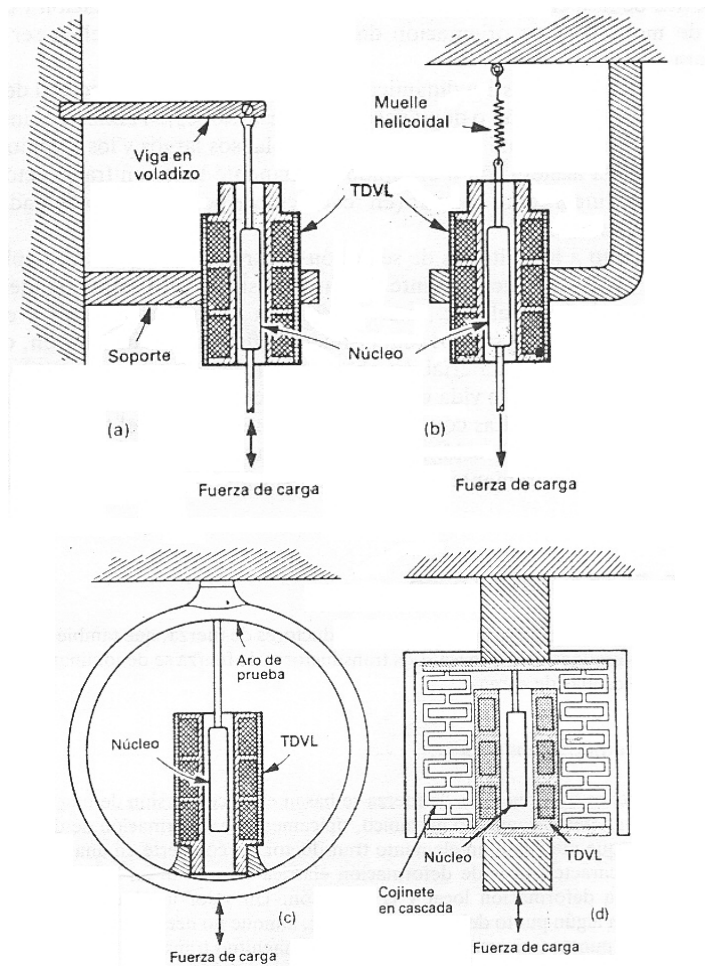
Los elementos del tipo TDVL responden a la aplicación de fuerzas bidireccionales axiales (tensión y compresión) con cambios en la amplitud de la tensión de salida, así como con una inversión de fase cuando la fuerza cambia de dirección. Los elementos sensores y transductores están calibrados de manera que el rango lineal del TDVL corresponda a la deflexión del elemento sensor en un rango específico. En la figura 5 se muestran ejemplos típicos de TDVL usados como transductores de fuerzas.

² Transformador Diferencial Variable Lineal o LVDT en sus siglas en inglés.

Únicamente los muelles de extensión (Fig. 5.b) limitan la medida de fuerzas en rangos unidireccionales (tensión). Los anillos calibradores (Fig. 5.c) y las configuraciones multi-palanca (Fig. 5.d), se usan en transductores de fuerzas comerciales.

Los anillos calibradores ocasionan un tamaño elevado del transductor, también presentan una pobre estabilidad lateral con lo que se requiere una alineación precisa del vector de aplicación de fuerzas con la línea central-vertical.

Figura 5. Transducción de fuerza por reluctancia: Ejemplos de TDVL combinados por un miembro elástico.



Sensores y analizadores. Harry N. Norton

Los transductores de fuerza por reluctancia también se diseñan utilizando magneto-elasticidad en la sección de concentración de esfuerzos de un elemento sensor de sección rectangular, cambiando el acople entre dos arrollamientos debido a las variaciones de permeabilidad dentro del material de la columna, al variar el estado de esfuerzos de la misma. Todos los transductores de fuerza por reluctancia están equipados con convertidores de excitación c.c. a c.a y circuitos convertidores de salida c.a a c.c.

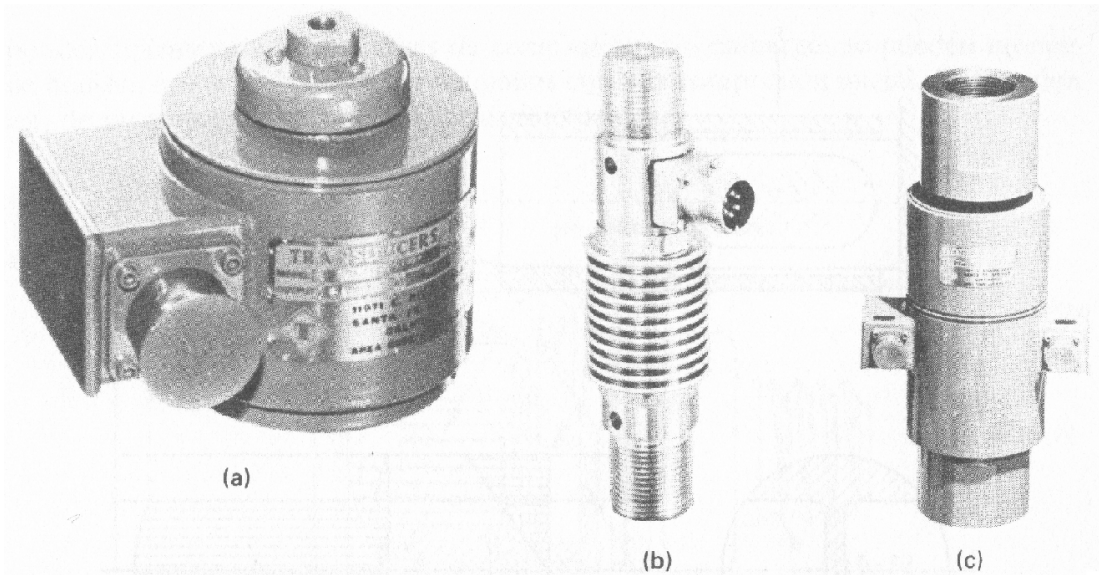
1.2.3 Transductores de Fuerza de Galgas Extensométricas

Estos transductores son los mas utilizados, teniendo en cuenta que muchos usuarios denominan célula de carga a este tipo de transductores. Muchos diseños de este estilo se utilizan en la medida de fuerzas de tensión o compresión o de ambas (universales). Las galgas mas utilizadas son las de hoja metálica e hilo metálico; también se utilizan galgas semiconductoras. Los rangos de medida se extienden desde 10N (1kp, 2.2lbf) a 5MN (500kp, 1'000.000 lbf). Muchas configuraciones de viga, anillos calibradores planos (estructuras calibradoras) y columnas se utilizan como elementos sensores, estos últimos para los rangos elevados.

Muchos modelos incorporan topes limitadores. Se usan filetes machos o armaduras hembra; en sensores de compresión, un tirador de carga que tiene una superficie esférica puede ser atornillado sobre o dentro de una armadura de manera que las fuerzas no necesiten ser aplicadas axialmente, en otras opciones (normalmente integradas a la máquina o ensambladas permanentemente) se incluyen cojinetes axiales y armaduras laterales.

En la figura 6.a se muestra un transductor de fuerza que usa un elemento sensor tipo viga en voladizo doblemente guiada y un puente extensométrico con cuatro elementos activos (la mayoría de los transductores de fuerza de extensométricos usan este último); utilizan topes de sobrecargas y están orientados a sistemas de pesado, incluyendo aquellos en donde se deben medir fuerzas transitorias y de impacto.

Figura 6. Transductores de fuerza con galgas extensométricas típicos: (a) de aplicación general, universal para pesaje electrónico; (b) para fuerzas de tensión; (c) universal, puente dual, para fuerzas hasta de 5 MN.



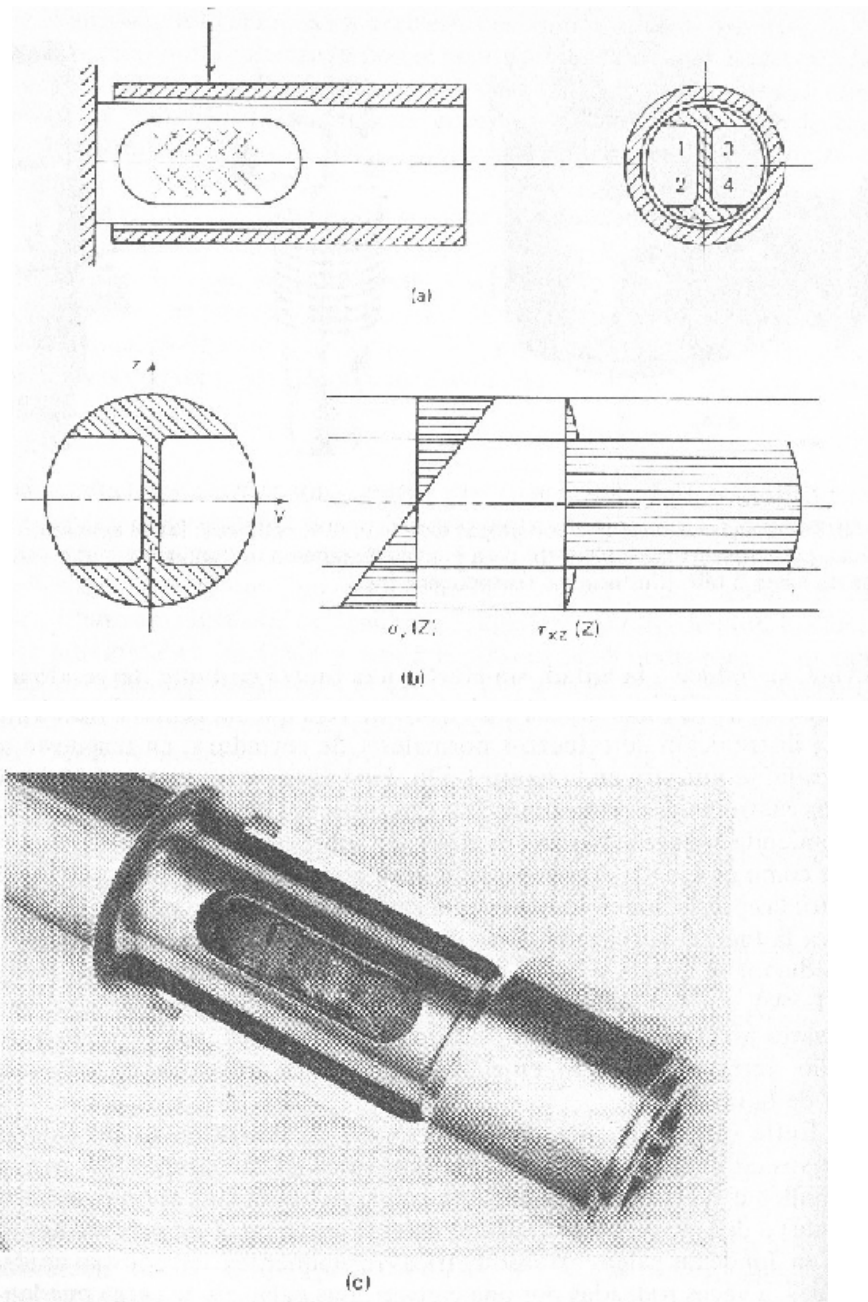
Sensores y analizadores. Harry N. Norton

El transductor de fuerza de tensión de la figura 6.b está orientado a instalaciones que están auto alineadas (Ej. Monitores estáticos, indicadores de sobre carga en cables).

El diseño mostrado en la figura 6.c se caracteriza por una frecuencia natural elevada, como se precisa en el test de cohetes, diseñados para tensiones y compresiones con rangos ente 2kN y 5MN (500 a 1×10^6 lbf).

El elemento sensor se fabrica íntegramente en una única pieza de acero. La unidad mostrada está equipada con dos elementos transductores independientes (puentes duales), como se muestra, en dos receptáculos eléctricos separados. Algunos transductores de fuerza incluyen tres o cuatro puentes extensométricos separados.

Figura 7. Transductor de fuerza con elemento sensor de fuerza cortante:
 (a) diseño básico, mostrando la lámina extra alrededor de la lámina en voladizo y la situación de las cuatro galgas sobre una forma I;
 (b) distribución del esfuerzo normal (σ) y de esfuerzo cortante (τ) en lámina en voladizo en forma de I;
 (c) fotografía del transductor.



Sensores y analizadores. Harry N. Norton

Transductores de diferentes diseños se muestran en la figura 7. El elemento sensor combina los esfuerzos cortantes en una viga en voladizo, de diseño especial. En este diseño el máximo par de torsión, normalmente máximo en el extremo fijo de la viga, se reduce a la mitad, sin afectar a la fuerza cortante, teniendo una viga unida rígidamente al extremo libre de la viga en voladizo (figura 7.a). Las galgas extensométricas están unidas a un trozo de viga recortada en forma de I.

La distribución de esfuerzos normales y de cortadura en respuesta a la fuerza aplicada, se muestra en la figura 7.b. Una vista en corte (Figura 7.c) muestra dos de las cuatro galgas extensométricas (las otras dos en el lado inferior de la viga). Se recomienda aplicar la fuerza directamente sobre las galgas (en vez de en el extremo libre como es usual); el encapsulado lleva unas marcas en línea fina indicando este punto; las prestaciones no quedan mermadas significativamente, si se aplica la fuerza desplazada. Este diseño tiene una inherente buena linealidad.

El transductor se instala sobre el extremo fijo (extremo izquierdo, no mostrado en la figura 7.c), que también contiene el conector eléctrico o permite la salida de cables. Se marca una flecha en el encapsulado del transductor, en el fin de que pueda ser girado, antes de insertarlo, en el punto óptimo de aplicación de la fuerza (dirección de la medida).

En otras versiones de transductores de fuerza de galgas extensométricas tenemos las de *arandelas de fuerza*, transductores anulares especiales para acoplar en casquillos o tuercas empleando una columna hueca con normalmente una ($\frac{1}{4}$ de puente) o dos ($\frac{1}{2}$ de puente) galgas extensométricas. *Una palanca de carga* es una viga en donde las galgas extensométricas (usualmente cuatro) están unidas y encapsuladas, a veces rodeadas por una carcasa. Las palancas de carga pueden montarse por ambos extremos.

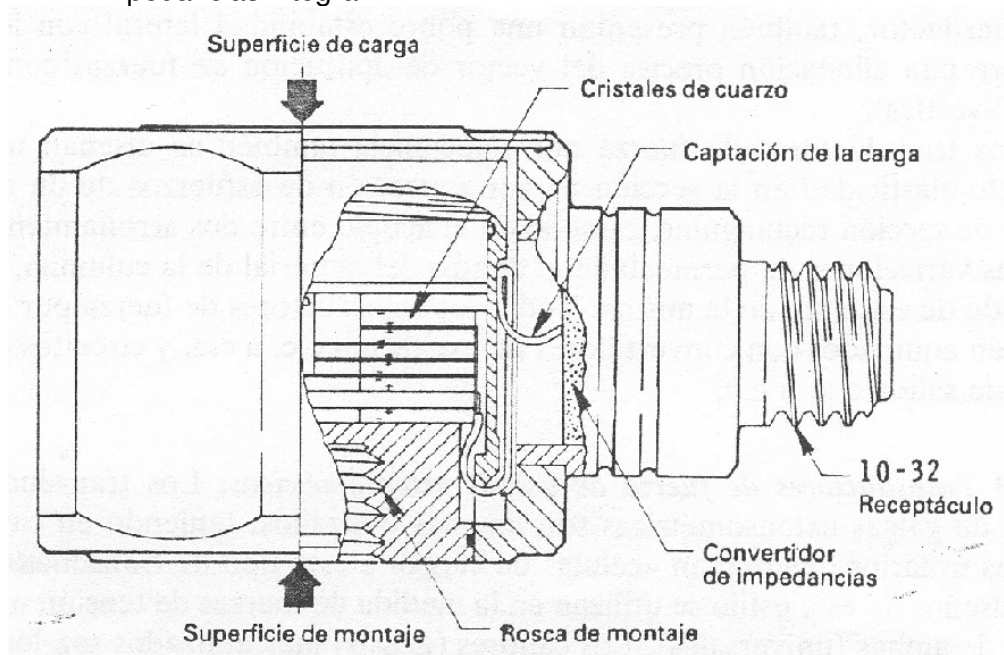
1.2.4 Transductores de Fuerza Piezoeléctricos

Aunque algunas medidas de respuesta casi estáticas pueden obtenerse con transductores piezoeléctricos, su aplicación fundamental es la de medición de

fuerzas con fuertes fluctuaciones (medidas de fuerzas dinámicas), incluyendo las fuerzas de impacto. Estos transductores responden únicamente a las fuerzas de compresión, sin embargo, se pueden montar de manera que se encuentren precargados con una compresión inicial. Responden así, de manera bidireccional a fuerzas fluctuantes.

El transductor mostrado en la figura 8 es de fuerza piezoeléctrico. La fuerza se aplica, mediante una precarga (aplicada con el filete) sobre una pila de cristales de cuarzo, separados por electrodos delgados. Este diseño incluye un circuito que convierte la carga, generada por los cristales con una elevada impedancia, en una tensión con baja impedancia de salida. Los sistemas precargados tienen un rango superior en compresión al de tensión.

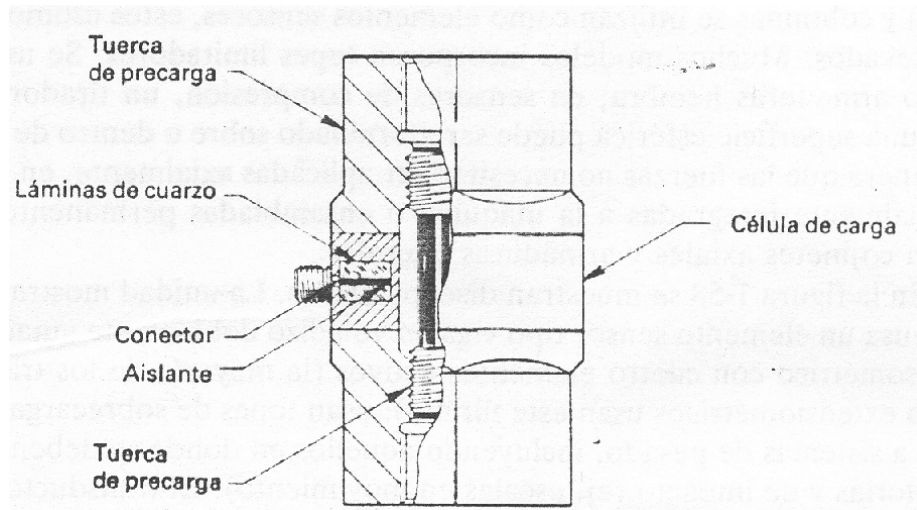
Figura 8. Transductor de fuerza piezoeléctrico con circuito convertidor de impedancias integral.



Sensores y analizadores. Harry N. Norton

Esto también es cierto para muchos diseños de *enlaces de fuerza piezoeléctricos*, como el mostrado en la figura 9, que entrelazan arandelas de fuerza de cuarzo (arandelas de carga) entre dos tuercas.

Figura 9. Célula de carga piezoeléctrica.



Sensores y analizadores. Harry N. Norton

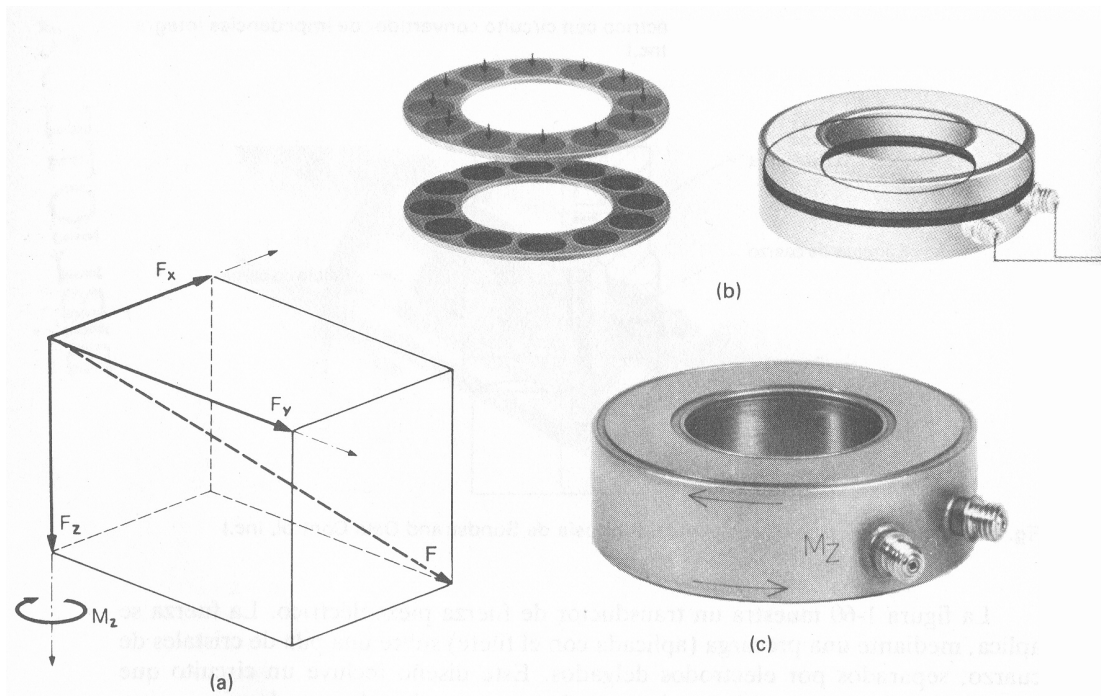
Un remache de cobre-berilio afirma el extremo de las tuercas y precarga las arandelas de fuerza en mediciones de tensión. Los extremos de las tuercas están atornillados (tornillos hembra) para aceptar ajustes de instalación. Los rangos de aplicación se extienden desde 4.5kN (1000 lbf) a 120kN (25000 lbf) en tensión, con rangos de compresión 1.5 veces de los anteriores.

Las arandelas de fuerzas piezoeléctricas son transductores de fuerza de forma anular que contienen uno o más cristales anulares piezoeléctricos colocados entre anillos metálicos. En los transductores de fuerzas piezoeléctricas la combinación de los discos o anillos metálicos y los cristales forman el elemento elástico que responden a las fuerzas.

Muchas arandelas de fuerzas (arandelas de fuerzas, anillos de carga) responden únicamente a fuerzas de compresión. Deben estar precargadas para su utilización como medidores de tensión.

El cuarzo en su forma cristalina como se usa en elementos piezoeléctricos, es anisótropo (tiene propiedades distintas según direcciones diferentes). Dependiendo del eje del cristal según el que se talla la cara, se consiguen discos que son sensibles solo a fuerzas de compresión (efecto piezoeléctrico longitudinal) o a fuerzas cortantes en una dirección específica (efecto piezoeléctrico cortante). Estas características permiten utilizar estos cristales para *transductores de fuerza multicomponente* como se muestran en las figura 10 y 11.

Figura 10. Transducción de fuerza multicomponente y ejemplo de transductor de dos componentes: (a) sistema de coordenadas cartesianas usado como referencia en transductores de fuerza multicomponente; (b) elementos de cuarzo sensibles a compresión (arriba) y sensibles a cortantes (abajo), en anillos concéntricos utilizados para la medición de F_z y M_z ; (c) transductor de fuerza de dos componentes (F_z y M_z).

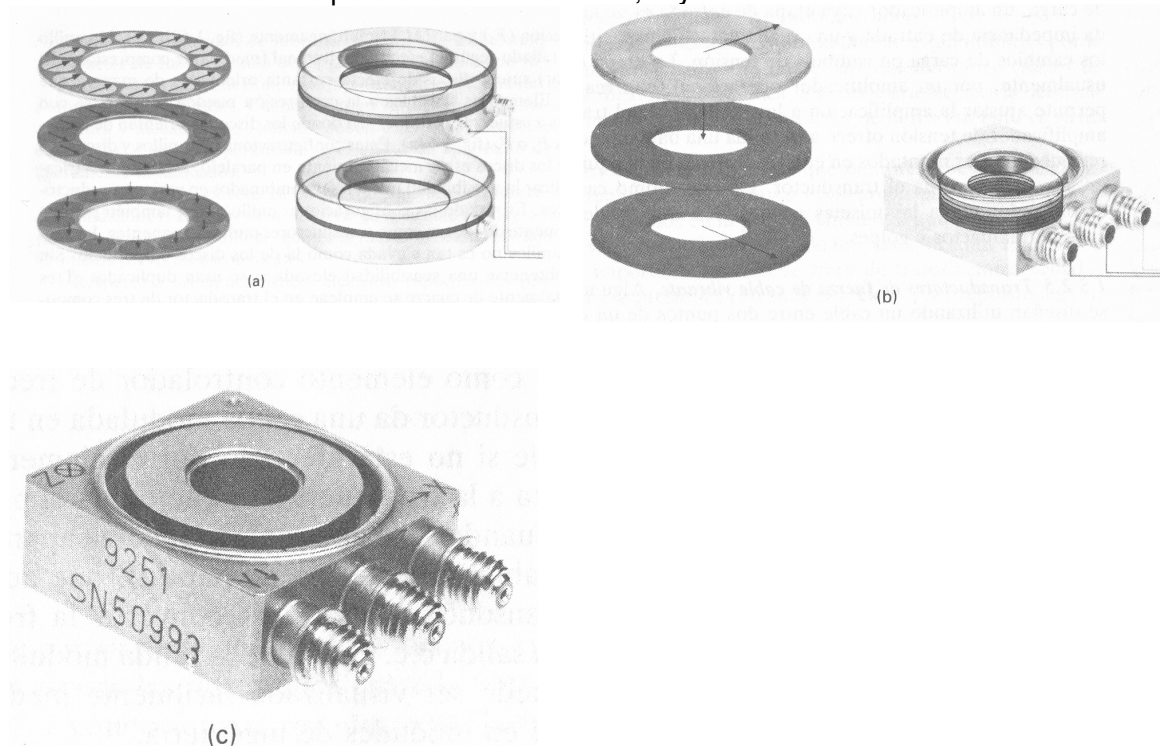


Sensores y analizadores. Harry N. Norton

Con referencia al sistema de coordenadas de la figura 10a, dos anillos que contienen cristales en forma de disco pueden combinarse para medir compresión (F_z) y para (M_z) simultáneamente (figura 10b y 10.c). Un anillo sostiene un cristal

tallado según el efecto longitudinal (medida de compresión). El otro anillo (inferior) sujeta discos de efecto cortante orientados de manera que respondan al par. Elementos sensibles a la compresión pueden combinarse con elementos sensibles a esfuerzos cortantes, en donde los discos se orientan de manera que responden a F_x y F_y (figura 11a).

Figura 11. Transducción de fuerza multicomponente y ejemplo de transductor de tres componentes: (a) elementos de cuarzo en anillo sensibles a esfuerzos cortantes (F_x y F_y) y presión (compresión) formando transductores de dos componentes (F_x y F_y) y un único componente (F_z); (b) Anillos de cuarzo sensibles a F_x (arriba), F_z (en medio) y F_y (abajo) acoplados en parejas en un transductor de tres componentes; (c) transductor de tres componentes con salidas X, Y y Z simultaneas.



Sensores y analizadores. Harry N. Norton

Estas configuraciones de anillos y discos, en donde los anillos y los discos están mecánicamente en paralelo, así como eléctricamente para multiplicar sensibilidad pueden ser combinados en varios transductores de los elementos. En vez de las configuraciones anillo / disco, también pueden usarse anillos totalmente

de cuarzo como transductores multicomponente. La sensibilidad de estos anillos no es tan alta como la de los discos en paralelo. Sin embargo, puede obtenerse una sensibilidad elevada si se usan duplicados. Tres pares de anillos totalmente de cuarzo se emplean en el transductor de tres componentes de la figura 11b y 11c.

A menos que el transductor piezoeléctrico incorpore circuitos convertidores de impedancia (conversión de carga a tensión), deben conectarse a amplificadores de carga, un amplificador cuya etapa de entrada es un amplificador c.c con elevada impedancia de entrada y una realimentación negativa capacitiva que convierte los cambios de carga en cambios de tensión. La etapa de entrada viene seguida, usualmente, por un amplificador operacional, con realimentación negativa que permite ajustar la amplificación a la sensibilidad del transductor.

Finalmente, un amplificador de tensión ofrece a su salida una baja impedancia. Estos amplificadores pueden estar montados en el transductor o en el equipo de recogida de datos o en situación cercana al transductor. En este último caso debe intentarse que el amplificador tenga las mismas condiciones ambientales que el transductor, incluyendo impacto y golpes.

1.2.5 Transductores de Fuerza de Cable Vibrante.

Algunos transductores de fuerza se diseñan utilizando un cable entre dos puntos de un elemento sensor de deflexión. El cable esta siempre en un grado de tensión mecánica y sometido a un campo magnético permanente que ocasiona la vibración a su frecuencia de resonancia al actuar como elemento controlador de frecuencia en un oscilador realimentado. El transductor da una salida modulada en frecuencia. Se le puede añadir un segundo cable si no está afectado por el elemento sensor de deflexión. Este segundo se ajusta a la frecuencia a la que oscila el primero cuando no se le aplica fuerza alguna. Cuando se le aplica alguna fuerza aparece una diferencia de frecuencia en los dos cables (frecuencia de batido), que aumenta al aumentar la fuerza aplicada. Un transductor basado en convertir la frecuencia de batido a tensión proporciona una salida c.c. en vez de la salida

modulada en frecuencia. La frecuencia de salida puede ser visualizada fácilmente mediante un contador, e incluso puede mostrarse en unidades de ingeniería.

1.3 CARACTERÍSTICAS Y PRESTACIONES DE LOS TRANSDUCTORES DE FUERZA

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.

Las fuerzas de conexión, montaje, dimensiones y materiales deben quedar claramente especificados. Cuando se usan varillas compresoras, debe conocerse su curvatura y mecanizado. Los valores de sobrecarga en los transductores de fuerza se especifican bajo dos condiciones:

- El valor de la sobrecarga aplicable sin degradar prestaciones.
- El valor de la sobrecarga última, que es la fuerza máxima aplicable sin que se ocasionen fallos o averías estructurales.

Respecto a las características eléctricas especificadas (que dependen mucho del tipo de transducción y de la circuitería adicional del transductor) debe estar bien especificada la *fluencia de carga* y la *fluencia de recuperación*. La *fluencia de carga* es el cambio a la salida ocurrido en el tiempo bajo una carga cambiante, con todas las otras características constantes. La *fluencia de recuperación* es el cambio a la salida para la magnitud de fuerza cero tras haber retirado las cargas.

Las características dinámicas especificadas normalmente están influidas por la deflexión máxima del elemento sensor en el límite superior del rango (factor de deflexión). El factor de deflexión se especifica, a veces, para facilitar la

determinación de características dinámicas relativas (un factor de deflexión bajo es signo de respuesta rápida).

Entre las características ambientales, una que siempre se debe considerar en los transductores de fuerza es el *error por presión ambiental*. Deformaciones en el encapsulado debidos a cambios en la presión ambiental pueden producir deformaciones en los elementos sensores no indicativos de fuerzas aplicadas. El error de presión ambiental es más importante cuando se trata de transductores sellados herméticamente el exponerse a presiones cercanas al vacío o a sobrepresiones (ej. aplicaciones submarinas).

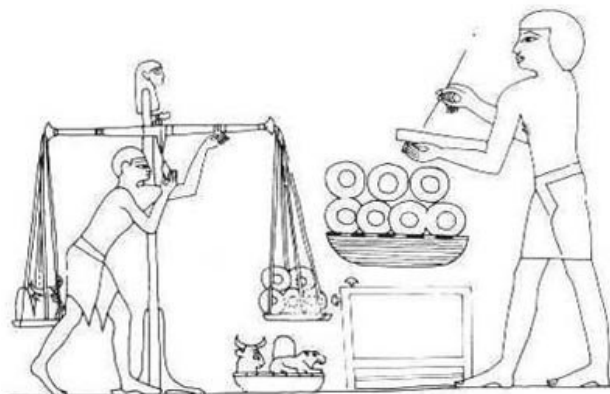
2. BALANZAS

La balanza es un dispositivo mecánico o electrónico empleado en hogares, laboratorios, empresas e industrias para determinar el peso o la masa (debido a la relación que existe entre ambas magnitudes) de un objeto o sustancia; también puede denominarse báscula en algunos casos.

2.1. BALANZAS MECÁNICAS

El mecanismo para pesar más sencillo es la balanza de brazos iguales, empleada por primera vez por los egipcios alrededor del 2500 a.C. Esta balanza consta de una barra, con un plato colgado de cada extremo, que se sostiene en el centro sobre un punto de apoyo. Para emplear esta balanza se coloca un objeto de peso desconocido en uno de los platos, y se van poniendo objetos de peso conocido en el otro plato hasta que la balanza esté equilibrada y la barra quede en posición horizontal. El peso y la masa del objeto son entonces los mismos que los de las pesas del otro plato.

Figura 12. Balanzas mecánicas usadas por los egipcios. Tumba de Rekhmire

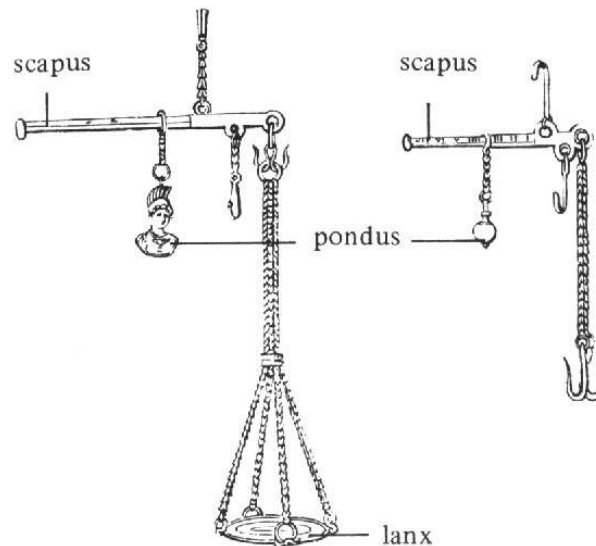


Tomado de Internet.

Hace unos 2.000 años aparecieron las balanzas denominadas romanas, que deben su nombre a haber sido inventadas por los antiguos romanos. Al igual que la balanza de brazos iguales, la romana consta de una barra sostenida en un punto de apoyo. Las mediciones se realizan equilibrando un peso conocido situado a un lado del punto de apoyo con un peso desconocido situado al otro lado.

Sin embargo, al contrario que en la balanza de brazos iguales, el punto de apoyo de la romana no está en el centro; el objeto que se quiere pesar se cuelga del brazo corto, mientras que por el brazo más largo puede deslizarse una pesa (denominada pilón) acercándola o alejándola del punto de apoyo. Una vez colgado el objeto de la romana, se ajusta la posición del pilón hasta que equilibra la carga del brazo corto; la posición de la pesa, que se mide mediante marcas realizadas en el brazo largo, indica el peso del objeto.

Figura 13. Balanza romana



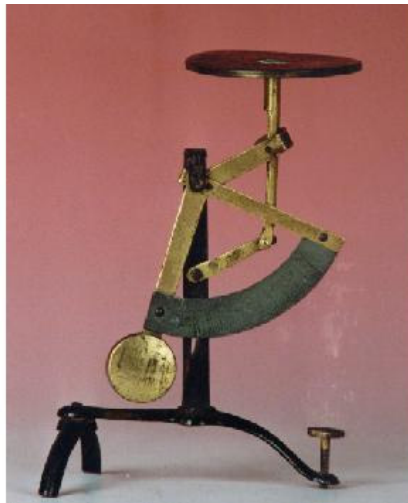
Tomado de Internet.

Algunas balanzas modernas que emplean los mismos principios que la balanza de brazos iguales o la romana pueden efectuar mediciones muy precisas.

Las balanzas de precisión empleadas en laboratorios científicos son capaces de determinar el peso de pequeñas cantidades de material con una precisión de una millonésima de gramo. Estos dispositivos están encerrados en cajas de vidrio o plástico para evitar que las corrientes de aire o las variaciones de temperatura afecten la medida.

Otras balanzas mecánicas empleadas en la actualidad son las balanzas de péndulo y las balanzas de resorte. En una balanza de péndulo, una plataforma está unida a un péndulo pesado. Cuando se coloca un objeto sobre la plataforma, el péndulo se desplaza hacia el lado para equilibrar la carga; una aguja fijada al péndulo indica el peso el objeto.

Figura 14. Balanza de péndulo



Tomado de Internet

En una báscula de resorte, la plataforma está conectada a un resorte que se estira o se comprime para equilibrar la carga colocada sobre la plataforma. Una aguja, cuya posición depende de la extensión o compresión del resorte, indica el peso de la carga. Las básculas de baño suelen ser de este tipo.

Figura 15. Balanza de resorte



Tomado de Internet

2.2 BALANZAS ELECTRONICAS

Las balanzas electrónicas, emplean electricidad para hacer funcionar los componentes especializados para determinar el peso, son más rápidas y por lo general 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.

Un tipo de balanza electrónica bastante común emplea 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 una carga sobre la plataforma la columna y el sensor se comprimen. El consiguiente cambio en la resistencia puede emplearse para determinar el peso del objeto.

Figura 16. Balanza electrónica



Mettler Toledo.

Estas balanzas electrónicas básicas, poseen resoluciones que varían entre 1 gramo y 0.1 gramos, con capacidad entre 1000 y 5000 gramos. Algunas poseen opción de alimentación DC interna mediante baterías de 9 voltios y un adaptador externo de 12 voltios DC.

Poseen un display de cristal líquido en donde se visualiza el peso del objeto. Permiten el ajuste de la *tara**. Tienen la posibilidad de cambio de unidades de medida, entre onzas, gramos y hasta Newtons. La carcasa de estas balanzas es resistente a los impactos, y a las condiciones del medio de trabajo.

Figura 17. Diagrama de Bloques de una Balanza Electrónica.



Elaborado por autores

* Tara: Peso que se rebaja en las mercancías por motivo de los embalajes.

2.3 CARACTERISTICAS ACTUALES

Actualmente las balanzas electrónicas cuentan con los últimos adelantos de la tecnología. Se manejan precisiones desde 1 gramo en balanzas con capacidad de 8100 gramos, hasta 0.1 miligramos en balanzas con capacidad de 20 gramos.

Otras características son:

- Posibilidad de contar objetos
- Pesaje porcentual
- Mas de 14 unidades de conversión de medida
- Rango ajustable de temperatura automático (F.A.C.T)
- Posibilidad de almacenar datos en memoria interna
- Interface RS-232 bidireccional
- Posibilidad de convertir de unidades de peso a dinero

Figura 18 Balanzas de última generación.



Mettler Toledo

2.4 GENERALIDADES DE LAS BALANZAS ELECTRONICAS

Una balanza electrónica esta 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 el plato donde se colocan los objetos a pesar. Esta carcasa debe estar 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 poseen una estructura diseñada para evitar que el aire afecte la medición.

Internamente una balanza electrónica posee un conjunto de componentes que se pueden dividir en las siguientes unidades:

- **Unidad de Medición:** Consta del transductor de peso que se utilice según las especificaciones de la balanza, y del modulo de adecuación de la señal que genera el transductor. Esta unidad deberá 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 modulo que realiza esta tarea. Algunas balanzas tienen la posibilidad de cambiar la unidad de medición y de convertir del valor de peso a dinero.
- **Unidad de Interfaz:** Ofrece al usuario la posibilidad de leer los datos de interés e introducir o modificar datos o configuración del 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 poseen 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 guardar todos los datos de interés por el tiempo que se estime conveniente. Deberá 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.

3. COMPONENTES DEL PROTOTIPO DE BALANZA

La balanza externamente está compuesta por una carcasa en fibra de vidrio y resina poliéster, la cual le da una alta resistencia al impacto y un perfecto acabado en su superficie. Tiene una base en aluminio para disminuir el número de tolerancias por deflexión y error en la lectura de datos. Posee unos soportes graduables en PVC para ajustar y nivelar la balanza. Internamente esta forrada en jumbolón, para proteger los componentes electrónicos de la electrostática.

En la construcción del prototipo de balanza se manejó la filosofía modular, fundamentada en la implementación del sistema por medio de módulos o partes, que permitan un acceso rápido y fácil a los componentes del mismo ya sea para mantenimiento o reparación.

Basados en dicha filosofía, se implementaron cinco módulos organizados de la siguiente manera:

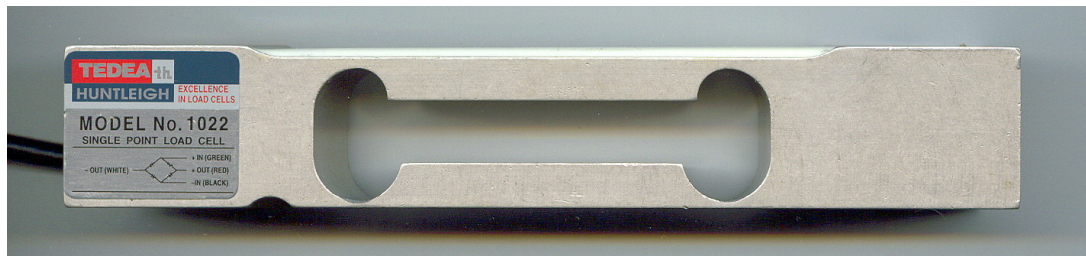
- Módulo 1: Celda de Carga
- Módulo 2: Acondicionador de señal
- Módulo 3: Microcontrolador PIC, conversor A/D, banco de memorias, LCD y teclado
- Módulo 4: Fuente de alimentación
- Módulo 5: Cargador de batería

Debido al diseño de la celda de carga, que debe ocupar físicamente el centro de la balanza, se decidió implementar los módulos 2 y 3 en una sola tarjeta impresa, al igual que los módulos 4 y 5, con el fin de ocupar el menor espacio posible dentro de la carcasa.

3.1. CELDA DE CARGA

Basados en la precisión, 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.

Figura 19. Celda de carga Tedeá Huntleigh modelo 1022



Tedeá Huntleigh

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 en 1 gramo, hacen esta celda de carga ideal para construir balanzas electrónicas. Además posee protección ambiental que cumple los estándares IP66.

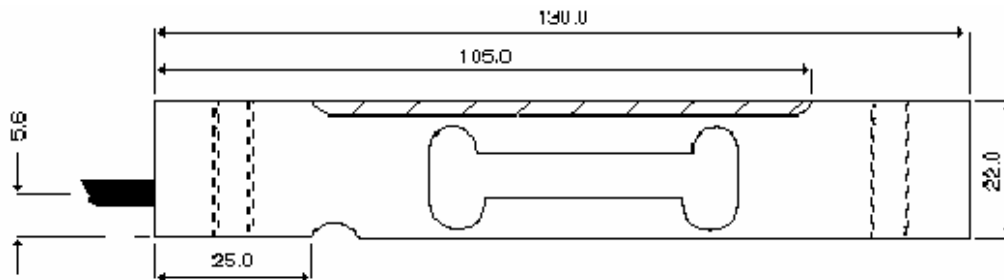
La hoja de datos provista por el fabricante de la celda, indica que tiene las siguientes características:

- Voltaje de salida 1.989 mV/V

⁺ 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.

- Voltaje de excitación 10 voltios.
- Impedancia de entrada 405+/-15 Ω
- Impedancia de salida 350 +/-3 Ω
- Resistencia de aislamiento > 2 x 10⁹ Ω
- Tamaño recomendado de plataforma 350 * 350 mm
- Efecto de la temperatura en cero < 0.0023% de la salida / °C
- Efecto de la temperatura en carga < 0.0010 de la salida / °C
- Retorno a cero < 0.0330 % de la carga
- No repetibilidad < 0.010% R.O
- Error total < 0.020 % de la carga
- Excentricidad 0.0057% de la carga/cm
- Balance de cero 0.59 % de la carga

Figura 20. Dimensiones de la celda de carga Tedeá Huntleigh 1022 (en mm)



Tedeá Huntleigh

El voltaje de salida de 1.989 mV/V, significa que se puede obtener 1.989 milivoltios por cada voltio usado en la polarización de la celda. Por esto se usaron 10 voltios con el fin de obtener 19.89 milivoltios, la mayor salida posible de la celda.

En el anexo A se presenta la hoja de datos para esta celda de carga.

3.2. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

La etapa de acondicionamiento es muy importante debido a que lleva la señal proveniente de la celda de carga, a valores entre 0 y +10 voltios, los cuales corresponden al margen de entrada que maneja el conversor análogo-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 voltios (sin carga) y 20 milivoltios cuando se opera a máxima carga (5000 gramos), es importante amplificar adecuadamente las frecuencias de 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 voltaje proveniente de la celda, a un rango de voltajes entre 0 y 10 voltios.
2. Un filtro pasabajos con frecuencia de corte 5 Hz de segundo orden; para garantizar que solo se amplifica la señal DC proveniente de la celda, y no el ruido que se pudiera introducir de los alrededores.

3.2.1. Amplificación

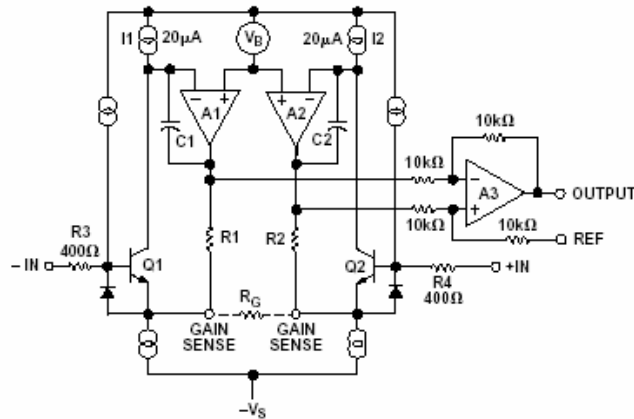
Con este circuito se busca amplificar la señal proveniente de la celda de carga que oscila entre 0 y 20 milivoltios. Para realizar esta tarea se necesitaba un amplificador con una alta relación de rechazo en modo común, que presentara posibilidad de entrada diferencial por el tipo de salida que presenta la celda de carga, que tuviera bajo consumo de corriente y que alcanzara una ganancia de 500 para aprovechar al máximo el rango de entrada (0 a 10 voltios) del conversor análogo – digital.

Por cumplir todas estas características y por ser de fácil adquisición, se utilizó el amplificador de instrumentación AD620 de Analog Devices, cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 21.

A continuación se presentan las características del AD620:

- Amplio rango de voltajes de alimentación (Entre +/- 2.3V y +/-18)
- Bajo consumo de corriente 1.3 mA máximo
- Rango de ganancias de 1 a 1000
- Temperatura de operación: -40 a 85 °C
- 0.28 uV de ruido P-P entre las frecuencias de 0.1 y 10 HZ
- Bajo ruido $9nV / \sqrt{Hz}$ a 1KHz
- Voltaje de offset de entrada de 50µV máximo
- Relación de rechazo en modo común (CMRR) = 100dB a una ganancia de 10

Figura 21. Diagrama de bloques del circuito integrado AD620



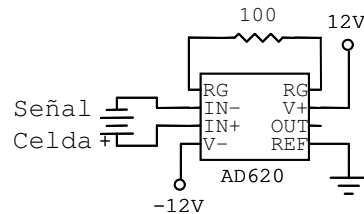
Analog Devices

En el anexo B se presenta la hoja de datos para este circuito integrado.

La expresión matemática para calcular la ganancia del amplificador AD620 esta dada por $G = 1 + \left(\frac{49.4K}{R_g} \right)$, siendo Rg una resistencia externa que se conecta al amplificador.

Utilizando una resistencia externa R_g con un valor de 100Ω , se logra el valor de ganancia mas aproximado a 500, que fue de 495. En la figura 22 se presenta el circuito necesario para obtener esta ganancia.

Figura 22. Circuito amplificador para obtener ganancia de 495



Elaborado por autores

Esta señal a la salida del amplificador tiene un nivel adecuado para ser introducida al filtro pasabajos con frecuencia de corte 5 Hz.

3.2.2 Filtro Pasabajos

Con el fin de garantizar que las señales que van a ser introducidas al conversor A/D son las correctas, se realiza un filtrado a las altas frecuencias, con un filtro pasabajos de frecuencia de corte en 5 Hz de segundo orden. Es de especial cuidado verificar que el filtro también rechace la frecuencia de 25 KHz, que es la frecuencia de operación de los convertidores DC-DC utilizados en la fuente de voltaje.

Para la implementación del filtro se requería un amplificador de precisión de fácil adquisición, con una alta relación de rechazo en modo común, bajo consumo de corriente y un bajo voltaje de offset.

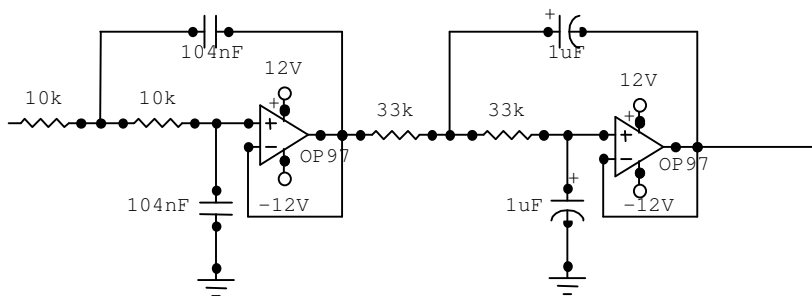
Por cumplir con las especificaciones requeridas, se utilizó el amplificador operacional de precisión OP97 de Analog Devices en empaquetado PDIP.

A continuación se presentan las características del circuito integrado OP97:

- Baja corriente de alimentación: 600 μ A máximo
- Voltaje de offset: 20 μ V máximo
- Baja corriente de polarización = 100 μ A máximo a 25°C
- Alta relación de rechazo en modo común: 114 dB mínimo
- Extenso rango de temperaturas de operación: -40°C a +85°C
- Disponible en empaquetado SOIC y PDIP

En el anexo C se presenta la hoja de datos para este circuito integrado.

Figura 23. Modelo utilizado para la construcción del filtro pasabajos.



Elaborado por autores

Esta señal amplificada a la salida del filtro tiene los niveles adecuados (0 a 10 voltios), para ser introducida al convertor análogo / digital de 16 bits utilizado en la siguiente etapa.

3.3. CONVERTOR A/D, MICROCONTROLADOR PIC, MEMORIA, LCD Y TECLADO

3.3.1. Conversor Análogo – 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 pueda entender estos datos y trabajar con ellos.

El convertor analógico - digital a utilizar 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, dejando libres mayor número de pines que van a ser utilizados después para la conexión de los demás periféricos.

No se utilizaron los convertidores 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.

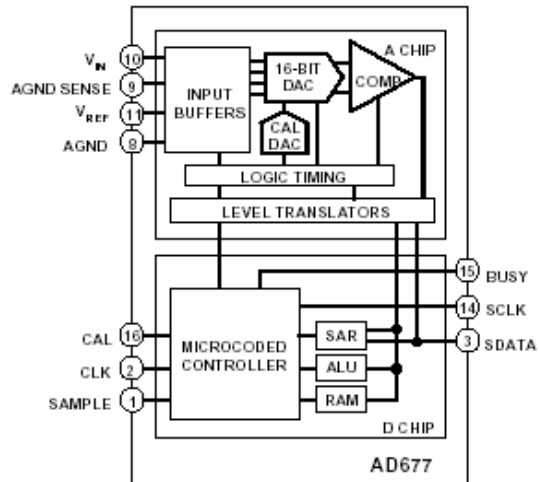
El circuito AD677 está segmentado internamente en dos chips monolíticos, un chip digital de control de Analog Devices fabricado en un proceso DSP CMOS y un convertor A/D análogo fabricado en un proceso BiMOS II. Ambos chips están contenidos en un solo paquete.

A continuación se presentan las características más importantes del convertor serial de 16 bits AD677 de Analog Devices.

- Posee auto calibración
- Función de Simple and hold en el chip
- Salidas y entradas compatibles con TTL
- Salida serial
- 16 bits sin códigos perdidos
- 61 bit LSB INL
- -99 dB de Distorsión armónica total (THD)
- 92 dB S/(N+D)

En el anexo D se presenta la hoja de datos para este circuito integrado

Figura 24. Diagrama de bloques del convertor AD677



Analog Devices

3.3.2. Microcontrolador PIC

Para procesar los datos provenientes del convertor análogo digital, visualizar los resultados en el LCD, interpretar comandos desde el teclado, almacenar los datos en memoria externa y transmitirlos hacia el PC se requería de un microcontrolador con la suficiente cantidad de pines disponibles, velocidad, capacidad y robustez, factores por los cuales se escogió el PIC 16F877-20 en empaquetado PDIP de 40 pines.

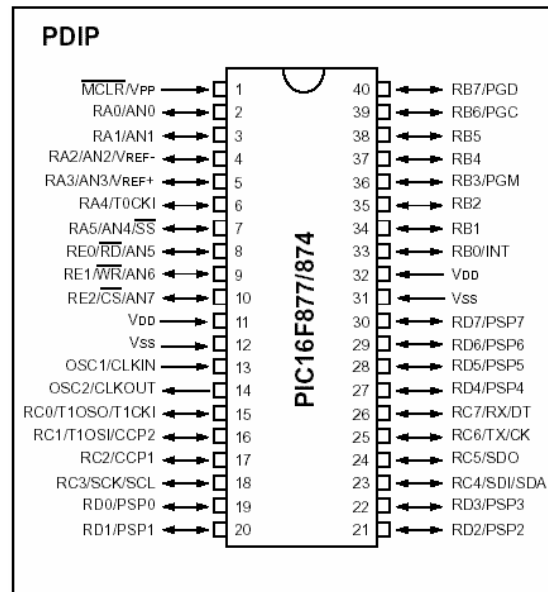
El PIC 16F877-20 es un microcontrolador que opera con un set de instrucciones reducido (RISC) con solo 35 instrucciones. Todas las instrucciones se realizan en un solo ciclo, exceptuando las ramas que se realizan en 2 ciclos. Su velocidad de operación varía según el cristal utilizado, pero puede llegar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

Posee un amplio rango de voltajes para su operación que van desde 2.0 voltios hasta los 5.5 voltios. A pesar de todas estas excelentes características y prestaciones, solo consume 0.6 mA trabajando a 4 MHz con alimentación de 3 voltios. Esta en capacidad para atender interrupciones de hasta 14 fuentes, y posee

8 niveles de pila hardware. Funciona con modos de direccionado directo, indirecto y relativo.

Posee 8 conversores análogo digital internos de 10 bits. En la balanza se requería trabajar con datos de 16 bits, por lo cual estos conversores internos de 10 bits no fueron utilizados y se precisó utilizar un conversor externo de 16 bits.

Figura 25. Esquema de pines del PIC 16F877-20 en empaquetado PDIP



Microchip Technologies

También presenta excelentes condiciones para atender periféricos ya que posee 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 análogo – 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.

En el anexo E se presenta la hoja de datos para este circuito integrado.

3.3.3. Memoria

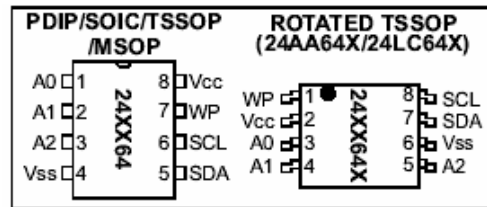
Para almacenar los datos provenientes de la celda de carga, se requería una memoria externa, que pudiera ser grabada una y otra vez, fuera no volátil, no necesitara muchas líneas de control y tuviera capacidad suficiente para almacenar al menos 4KByte de datos.

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

Su diseño permite trabajar con voltajes bajos de hasta 1.8V, 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 permiten 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.

Figura 26. Esquema de pines de la memoria EEPROM



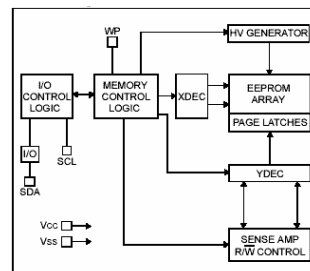
Microchip Technologies

Para suprimir el ruido de entrada de las señales, posee *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 muy alta 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 esta provista de protección a descargas electromagnéticas mayores a los 4000 voltios, y opera en modo seguro dentro del rango de temperaturas de -40°C a +85°C.

En la figura 27 se presenta un diagrama de bloques de la memoria.

Figura 27. Diagrama de Bloques de la memoria EEPROM



Microchip Technologies

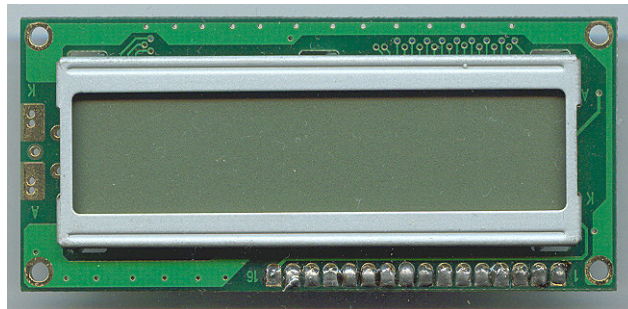
⁺ Un Schmitt trigger es un comparador que se utiliza para evitar oscilaciones en las transiciones de nivel bajo a alto, o de alto a bajo

En el anexo F se presenta la hoja de datos para este circuito integrado.

3.3.4. Display de Cristal Líquido (LCD)

El LCD tiene un aspecto físico como el mostrado en la figura 28. Está constituido por un circuito impreso en el que están integrados los controladores del display y los pines para la conexión del display. Sobre el circuito impreso se encuentra el LCD en sí, rodeado por una estructura metálica que lo protege.

Figura 28. Aspecto físico del LCD



Elaborado por autores

En total se pueden visualizar 2 líneas de 16 caracteres cada una, es decir, $2 \times 16 = 32$ caracteres, como se muestra en la figura 29. A pesar de que el display sólo puede visualizar 16 caracteres por línea, puede almacenar en total 40 por línea. Es el usuario el que especifica qué 16 caracteres son los que se van a visualizar.

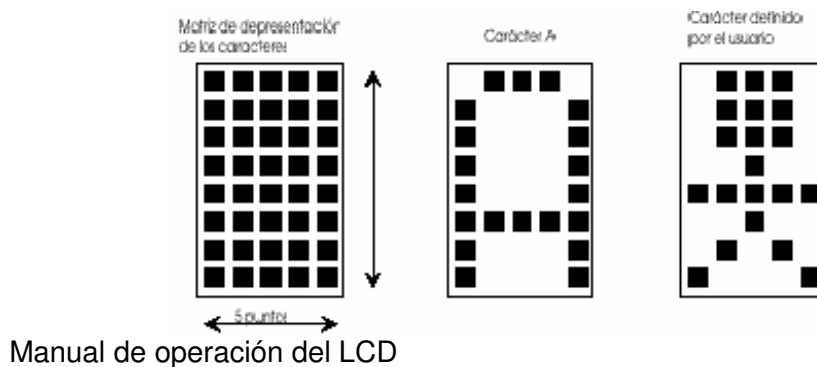
Figura 29. Especificaciones del LCD



Manual de Operación del LCD

La tensión nominal de alimentación es de 5 voltios, con un consumo menor de 5mA. El LCD dispone de una matriz de 5x10 puntos para representar cada carácter. En total se pueden representar 256 caracteres diferentes. 240 caracteres están grabados dentro del LCD y representan las letras mayúsculas, minúsculas, signos de puntuación, números, etc. A continuación se presentan algunos ejemplos de caracteres visualizados en un LCD.

Figura 30. Caracteres visualizados en un LCD

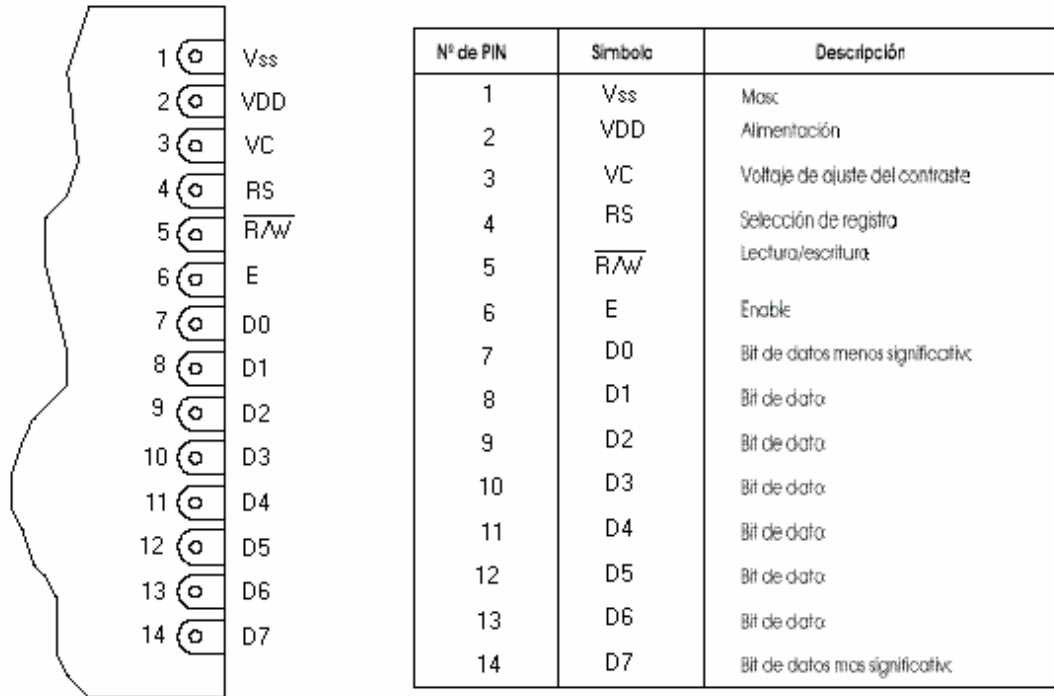


A continuación se presenta un esquema de los pines de conexión que presenta un LCD de 2*16 líneas. Para controlar el contraste hay que introducir por el pin Vo una tensión entre 5 y 0 voltios. La tensión típica es de 0.6 voltios. Normalmente se coloca un potenciómetro para poder ajustar en cada momento el contraste más adecuado.

En la figura 31 aparecen las señales necesarias para el funcionamiento y control del display. Los datos se transmiten por un bus de datos de 8 bits de ancho (El display ofrece la posibilidad de trabajar con este bus multiplexado en dos grupos de 4 bits, pero esto se verá más adelante).

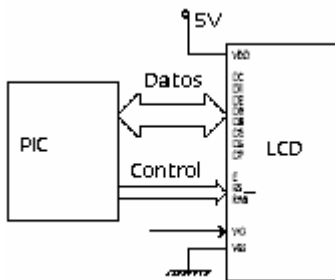
Para el control del display son necesarios 3 bits: una señal de **enable (E)**, una para indicar **lectura/escritura (R/W)** y otra para seleccionar uno de los dos registros internos (**RS**). Por ello, en el caso peor, el sistema de control del display necesitará utilizar $8+3=11$ bits.

Figura 31. Diagrama de pines de conexión del LCD



Manual de operación del LCD

Figura 32. Conexión y control del LCD



Manual de operación del LCD

3.3.4.1. El Bus de Datos

El bus de datos del display se puede configurar para funcionar de dos formas diferentes. Bien como un bus de 8 bits o como un bus multiplexado de 4 bits. De esta última forma se ahorran bits pero se gana en complejidad del microcontrolador,

que tiene que multiplexar y demultiplexar los datos. Al utilizar un bus de 8 bits se hace que la programación del microcontrolador sea más sencilla.

3.3.4.2. El Bus de Control

El bus de control está formado por 3 señales: **RS**, **R/W** y **E**. La señal **E** es la señal de validación de los datos. Cuando no se utiliza el display esta señal debe permanecer a 0. Sólo en las transferencias de información (lecturas o escrituras) es cuando se pone a nivel 1 para validar los datos, pasando después de un tiempo a nivel 0. En la siguiente sección se explican detalladamente las temporizaciones.

La señal **R/W** permite seleccionar si la operación que se va a realizar sobre el display es una lectura o una escritura. Cuando **R/W=1** se realizan lecturas y cuando **R/W=0** escrituras. Lo normal siempre es realizar escrituras, no obstante, el display ofrece la posibilidad de poder leer los contenidos de la memoria CG RAM y DD RAM así como leer el estado interno del display (ocupado o disponible) y el contador de direcciones.

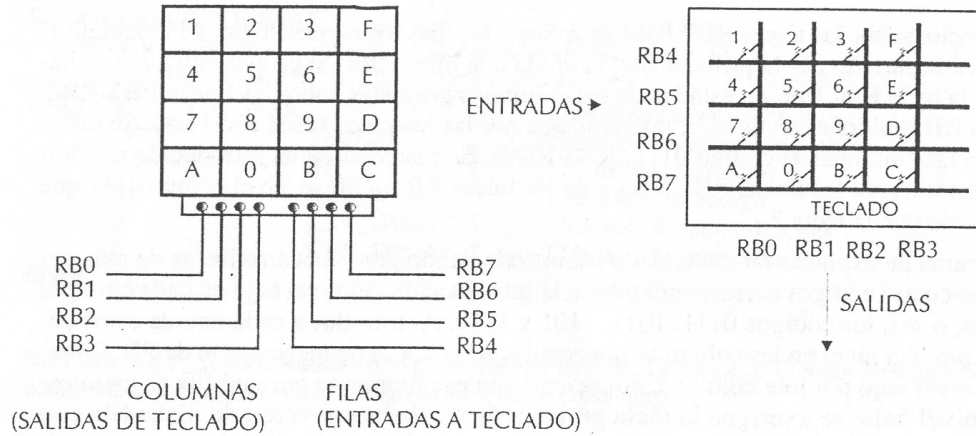
Con **RS** (Register Select) se selecciona el registro interno del display sobre el que se va a leer/escribir. El LCD dispone de dos registros internos: Registro de control y registro de datos. Ambos registros son de lectura y escritura. **RS=0** selecciona el registro de control. **RS=1** el registro de datos.

3.3.5. Teclado

Un periférico muy habitual para introducir información al sistema por parte del usuario es el teclado matricial de 16 teclas. Este teclado de 16 teclas esta conformado por cuatro filas y cuatro columnas posee 8 terminales. Las 8 terminales de E/S del puerto B del microcontrolador serán conectados a estas 8 terminales del teclado.

Cuando se pulsa una tecla queda en contacto una fila con una columna. Si ninguna tecla esta presionada, las filas están desconectadas de las columnas.

Figura 33. Organización del Teclado matricial



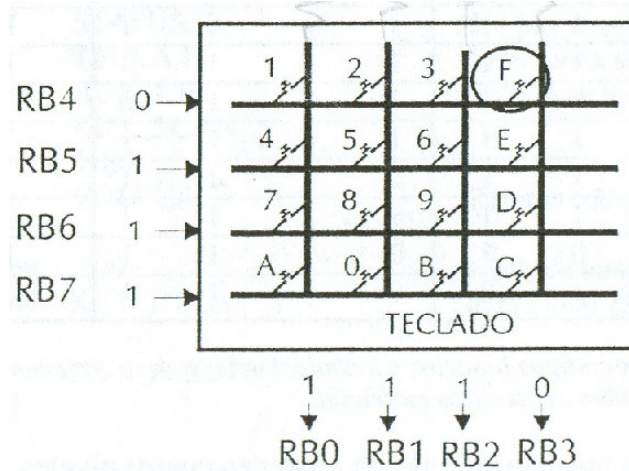
Diseño práctico de Aplicaciones. Segunda Parte, PIC 16F87X

Para explorar el teclado y averiguar en cada momento cual es la tecla que se halla pulsada, se sigue el siguiente método. Se va a trabajar con el nivel lógico alto como nivel inactivo, siendo el nivel bajo al que se considera activo. Por los terminales de las filas del teclado se introducen cuatro niveles lógicos, uno activo (bajo) y los otros tres inactivos (altos). Si existe alguna tecla pulsada en la fila por la que se ha introducido el nivel bajo, dicho nivel saldrá por la columna correspondiente con la que se haga contacto.

En consecuencia, leyendo los estados lógicos de los terminales de las columnas (Rb0-Rb3) se averigua si hay alguna tecla pulsada en la fila por la que se ha introducido el nivel bajo, puesto que si no hay ninguna en todas las filas se leerá un nivel alto inactivo. Procediendo secuencialmente a introducir el nivel bajo por cada una de las cuatro filas y a leer los niveles de salida en las columnas, se podrá determinar la tecla pulsada en cada momento.

El programa de exploración del teclado ira introduciendo por las cuatro líneas de mas peso del Puerto B los cuatro códigos correspondientes a la introducción del nivel bajo en cada caso por una de ellas. Esto significa introducir los códigos (0111 , 1011, 1101 y 1110).

Figura 34. Funcionamiento del teclado matricial



Diseño práctico de Aplicaciones. Segunda Parte, PIC 16F87X

Cuando no hay ninguna tecla pulsada en una fila aparecen cuatro niveles altos en las cuatro columnas, por estar desconectadas al aire y corresponderlas al estado de alta impedancia, que en la lógica TTL equivale a un nivel alto. Para asegurar dicho nivel alto, las líneas de la Puerta B pueden conectarse al positivo de la alimentación mediante unas resistencias de pull-up internas. Esta conexión puede realizarse por software, poniendo a 0 el bit 7 del registro option del microcontrolador.

3.4. FUENTE DE ALIMENTACION

La fuente de alimentación de la balanza electrónica se basa en una batería recargable de 9 voltios, 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 voltios y un cargador para la batería de 9 voltios. Con esto se le da a la balanza la capacidad de funcionar en lugares que no posean instalación eléctrica, y la facilidad de recargar la batería, internamente en la balanza cuando se disponga de red eléctrica.

Una vez establecida la alimentación de la fuente, es necesario conocer los niveles de voltaje que se requieren generar para el correcto funcionamiento de los demás módulos.

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

Debido al uso de voltajes mayores al de la batería de 9 voltios, fue necesario utilizar conversores DC-DC elevadores e inversores.

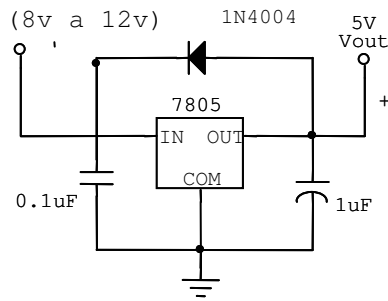
3.4.1. Fuente de 5 Voltios

Para obtener 5 voltios, se toma como entrada el voltaje proveniente del circuito de selección automática del cargador de batería (Ver figura 42) y se introduce a un circuito que utiliza un regulador de voltaje que garantiza a la salida 5 voltios DC. Cabe anotar que el voltaje proveniente de la batería es variable y oscila entre los voltajes mínimo (8 voltios) y máximo (10.2 voltios). El circuito utilizado se presenta en la figura 35.

Para la implementación del circuito en mención, se utilizó el regulador de voltaje LM7805, cuyas características más importantes son:

- Voltajes de entrada máximo 35 voltios
- Temperatura de operación de 0° a 70°C
- Baja corriente de polarización 8mA.
- Corriente de corto circuito hasta de 2.1 A operando a 25°C

Figura 35. Regulador de 5 Voltios



Elaborado por autores

3.4.2. Fuente de +12 y -12 Voltios

Para obtener los voltajes requeridos por los amplificadores de precisión, de instrumentación y el conversor análogo digital, fue necesario utilizar un circuito integrado que pudiera elevar el voltaje proveniente del circuito de selección automática del cargador de batería (ver figura 42) y además generar el voltaje negativo requerido.

Para estas tareas se decidió utilizar un conversor DC-DC basado en condensadores conmutados. Entre las múltiples opciones del mercado se seleccionó el convertidor de voltaje con reguladores LT1054 de *Texas Instruments*.

Este convertidor presenta características superiores a otros convertidores disponibles en el mercado, entre éstas se encuentran su salida de corriente alta y pérdidas de voltaje significativamente mas bajas. Además, posee un esquema adaptativo de manejo conmutado que optimiza la eficiencia sobre un amplio margen de corrientes de salida. Su caída de voltaje total a 100mA de corriente de salida es típicamente de 1.1 V. Ésta se mantiene sobre todo el margen de voltaje de alimentación de 3.5 V a 15V. Su corriente en estado inactivo es típicamente de 2.5 mA.

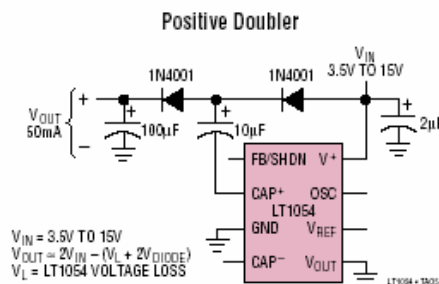
A continuación se presentan las características del LT1054:

- Corriente de salida de 100 mA
- Margen de operación de 3.5 V a 15 V
- Temperatura de operación: -40 a 85 °C
- Potencia disipada: Máxima 75mW, mínima 8.75mW
- Sincronización de oscilador externa

En el anexo G se presenta la hoja de datos para este circuito integrado.

Dependiendo de la forma como se conecte, el convertidor LT1054 puede actuar como: inversor de voltaje, doblador de voltaje negativo, doblador de voltaje positivo, etc. Se observa entonces, que el dispositivo es útil para obtener las tensiones necesarias para la alimentación positiva y negativa de los amplificadores operacionales, de instrumentación y del conversor análogo digital.

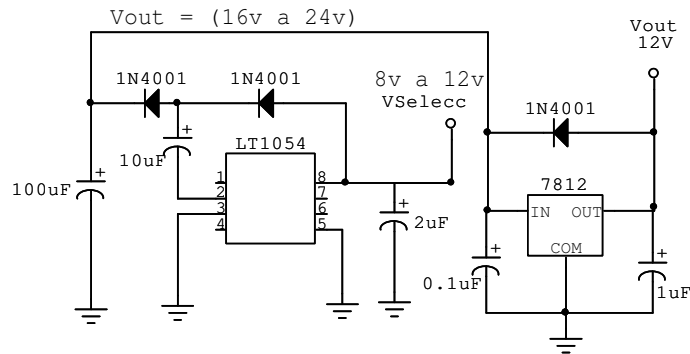
Figura 36. Configuración para elevar un voltaje positivo al doble.



Texas Instruments

Para obtener los 12 voltios se utilizó el circuito integrado LT1054 en la configuración de doblador positivo (Ver figura 36), con el fin de garantizar que siempre haya un voltaje mayor de 12 voltios, aun cuando la batería se encuentre en su mínimo voltaje (8 voltios). Una vez doblado el voltaje proveniente de la batería, se añade un regulador LM7812 para garantizar que el nivel de 12 voltios se mantenga. La configuración utilizada para obtener los 12 voltios puede verse en la figura 37.

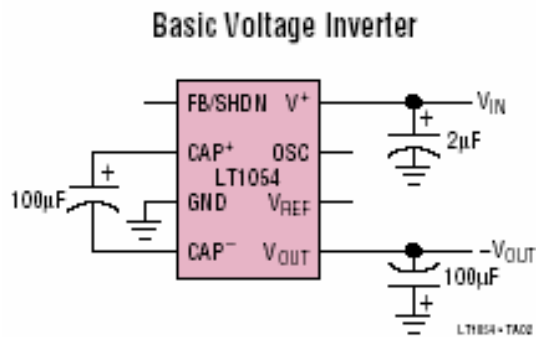
Figura 37. Fuente de 12 voltios.



Elaborado por autores

Para obtener -12 voltios se utilizó un tercer circuito integrado LT1054 en su configuración de inversor básico de voltaje (ver figura.38). El voltaje que se utiliza a la entrada de esta configuración inversora, son los 12 voltios obtenidos y regulados en la fuente de 12 voltios, por lo cual no es necesario utilizar de nuevo un regulador.

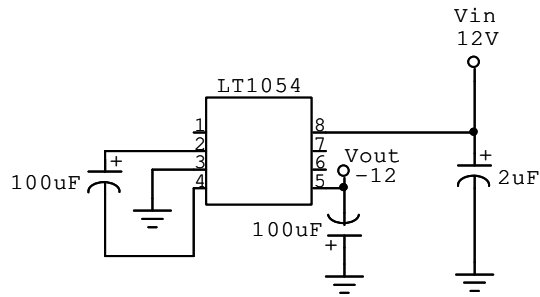
Figura 38. Configuración para invertir un voltaje



Texas Instruments

La configuración utilizada para implementar la fuente de -12V se muestra en la figura 39.

Figura 39. Fuente de -12 Voltios



Elaborado por autores

3.4.3. Fuente de 10 Voltios

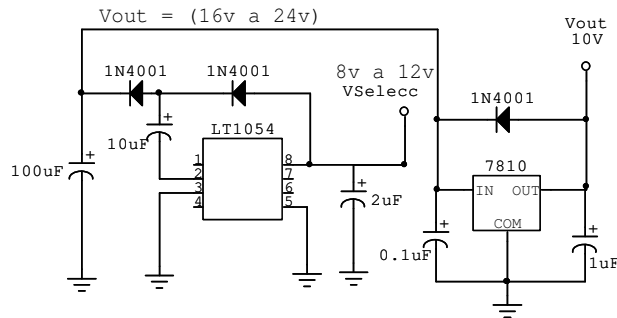
Para obtener un nivel de tensión regulado de 10 voltios se requerían al menos 13 voltios de entrada del regulador. Debido a que para la alimentación de la balanza se usó una batería recargable de 9 voltios; era necesario aumentar este voltaje de alguna manera.

Para aumentar el voltaje se utilizó el circuito integrado LT1054 en configuración de doblador positivo (ver figura 36). De esta manera se obtiene un voltaje mayor a 13 voltios, permitiendo al regulador de voltaje LM7810 utilizado, realizar su trabajo.

Con el fin de no exceder la corriente máxima de 50 mA que arroja esta configuración de doblador positivo, se utilizó un circuito integrado LT1054 adicional al utilizado en la fuente de 5 voltios. En total se utilizaron 3 circuitos integrados LT1054 en la fuente.

El circuito utilizado para construir la fuente de 10 voltios se presenta en la figura 40.

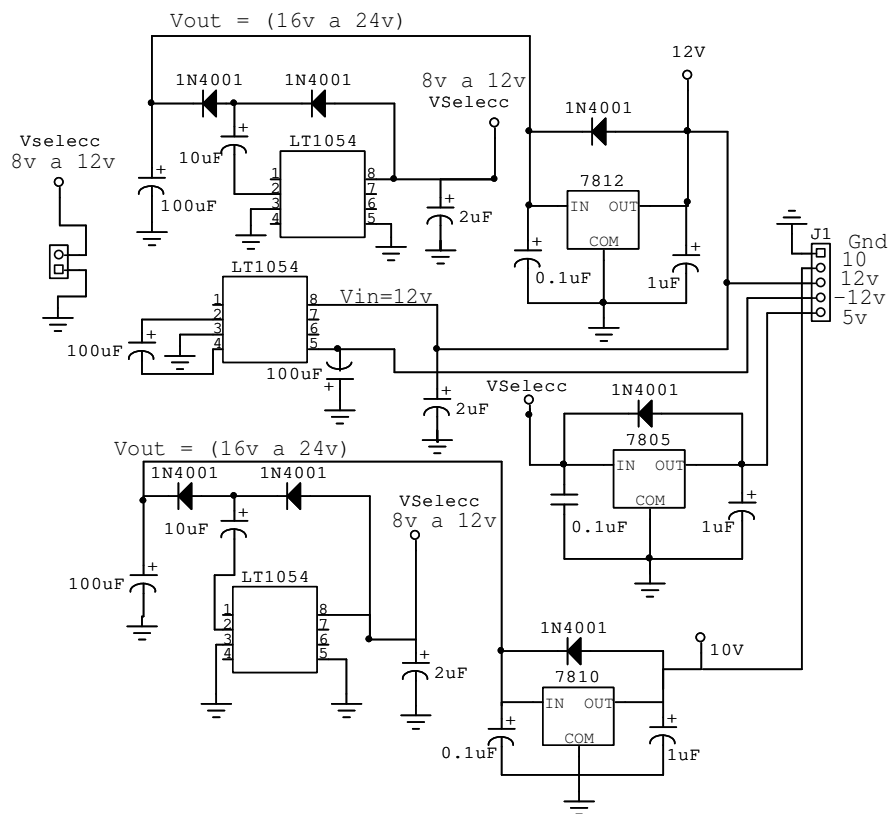
Figura 40. Fuente de 10 Voltios.



Elaborado por autores.

El diagrama esquemático de la fuente completa se presenta a continuación en la figura 41.

Figura 41. Fuente de voltaje BECCS



Elaborado por autores

3.5. CARGADOR DE BATERIA

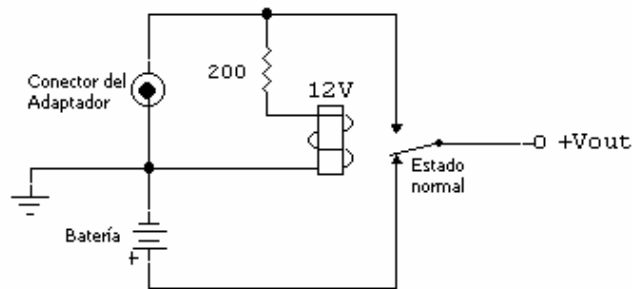
Con el fin de proveer a la balanza de versatilidad para su utilización en ambientes en donde no se cuenta con fluido eléctrico, se dotó a la balanza de la capacidad de operar conectada a la red eléctrica, o sin esta por medio de una batería recargable.

Cuando esta conectado el adaptador de 12 voltios 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 voltios externo, la balanza opera gracias a una batería de 9 voltios recargable que posee internamente. El módulo 5, consta de dos partes fundamentales que son: Un circuito de selección automática de alimentación y el cargador de la batería.

3.5.1 Circuito de Selección Automática

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

Figura 42. Circuito de selección automática



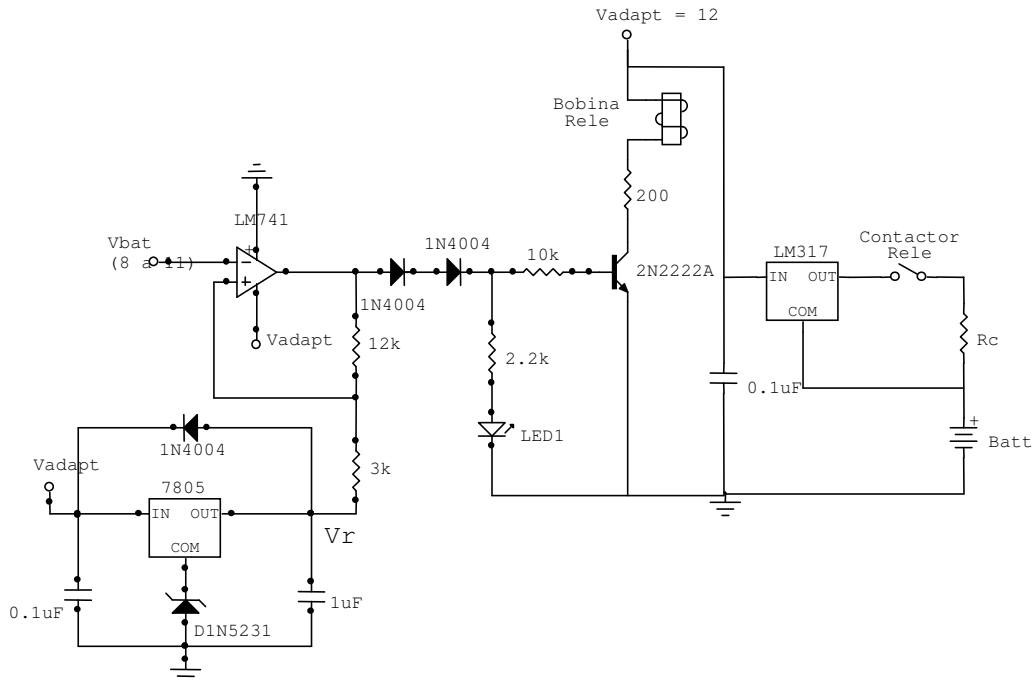
Elaborado por autores

3.5.2 Cargador de Batería

El cargador de batería posee un comparador de nivel alto y bajo. El cargador entra en funcionamiento automáticamente cuando el voltaje de la batería recargable cae por debajo del valor mínimo establecido y deja de funcionar cuando el voltaje 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 voltajes de transición en 8 voltios y 10.2 voltios (voltajes de control de carga) y por tanto, voltaje de histéresis de 2.2 voltios. El disparador de *Schmitt* actúa de tal forma que su salida va a saturación positiva cuando el voltaje de la batería (entrada inversora) cae por debajo de los 8 voltios, y caerá a 0 (saturación negativa) cuando esta tensión sobrepase los 10.2 voltios.

Figura 43. Cargador de batería.



Elaborado por autores

El voltaje de referencia (V_r) y los valores de las resistencias R_1 y R_2 se calcularon a partir de los siguientes parámetros conocidos:

Voltaje de saturación positivo: $V_{pos} = 10.2$ voltios
 Voltaje de saturación negativo: $V_{neg} = 0$ voltios
 Voltaje de histéresis: $V_h = 2.2$ voltios
 Voltaje de transición de V_{pos} a V_{neg} : $V1 = 10.2$ voltios
 Voltaje de transición de V_{neg} a V_{pos} : $V2 = 8$ voltios

A partir del circuito de la figura 43, se puede deducir las siguientes ecuaciones:

$$V_1 = \frac{R2 * Vr + R1 * V_{pos}}{R1 + R2} = \frac{R2 * Vr + R1 * V_{adap}}{R1 + R2}$$

$$V_2 = \frac{R2 * Vr + R1 * V_{neg}}{R1 + R2} = \frac{R2 * Vr}{R1 + R2}$$

$$V_H = V1 - V2 = \frac{R1 * V_{pos}}{R1 + R2}$$

De las cuales se obtuvieron los siguientes valores: $R1 = 3K\Omega$, $R2 = 12K\Omega$, $Vr = 10$ voltios.

El voltaje de referencia $Vr = 10$ voltios, se obtuvo a partir de un regulador LM7805, con un diodo zener D1N5231 en su terminal común para adicionar 5 voltios a la salida regulada de 5 voltios y así obtener el voltaje requerido.

El transistor NPN 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 $V_{\text{sat}} = 0.3\text{V}$, 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 43, en donde el terminal común del regulador realimenta el sistema con la tensión de la batería asegurando un voltaje en el terminal de salida del regulador que está 1.2 voltios por encima del voltaje de la batería. Es de anotar que la resistencia RC debe ser capaz de soportar 26.5mA a una tensión de 1.2 Voltios.

Para proporcionar la corriente de 26.5 mA se utilizó una resistencia Rc con valor de 47Ω de $\frac{1}{2}$ W.

4. PRUEBAS DEL PROTOTIPO

4.1. CARACTERIZACION DE LA CELDA DE CARGA

Una vez determinados las especificaciones del proyecto, tales como precisión y peso máximo, se procedió a la compra de una celda de carga con compensación de plataforma marca Tedeo-Huntleigh referencia 1022, la cual fue sometida a pruebas para verificar de su correcto funcionamiento.

Inicialmente se polarizó la celda con 10 Voltios DC, y a su salida se conectó un osciloscopio Fluke 105, pero teniendo en cuenta que la celda tiene una salida máxima de 19.89 milivoltios con un peso de 5000 gramos; se decidió amplificar esta señal de salida para tener un nivel mas alto y confiable de voltaje y así poder realizar el análisis que permitiera caracterizar la celda.

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 (Ver figura 44). La pesa de 10 gramos estaba bastante deteriorada, por lo cual no fue usada para las pruebas. Con este kit de pesas se realizaron todas las pruebas a la celda de carga y al prototipo.

Inicialmente no se contaba con una estructura en la cual fijar la celda, por lo cual se utilizó una prensa mecánica para realizar la primera prueba. Posteriormente se adquirió la carcasa que posee una base metálica en la cual atornillar la celda de carga para realizar la segunda prueba.

Figura 44. Kit de Pesas, Laboratorio de Hormigón UIS



Tomada por autores.

Para la primera prueba la celda estaba libre de peso y se utilizó el modulo 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, obteniendo los siguientes valores:

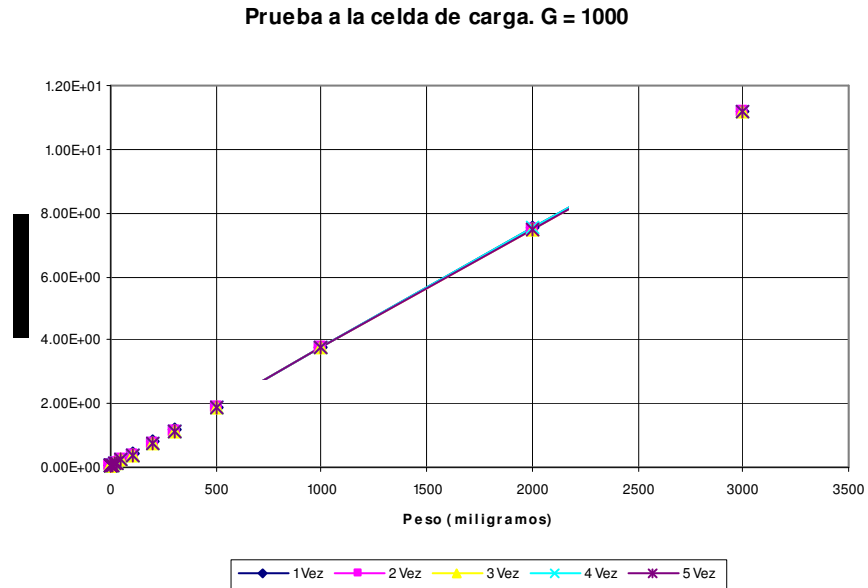
Tabla 1. Comportamiento de la celda de carga entre 0 y 3000 gramos

| | 1era Vez | 2da Vez | 3 era Vez | 4 Vez | 5ta Vez |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso (g) | Voltaje (V) | Voltaje (V) | Voltaje (V) | Voltaje (V) | Voltaje (V) |
| 0 | 4.53E-02 | 3.72E-02 | 3.50E-02 | 3.26E-02 | 3.41E-02 |
| 1 | 4.95E-02 | 4.11E-02 | 3.93E-02 | 3.79E-02 | 3.91E-02 |
| 2 | 5.30E-02 | 4.43E-02 | 4.26E-02 | 4.26E-02 | 4.14E-02 |
| 3 | 5.69E-02 | 4.81E-02 | 4.60E-02 | 4.56E-02 | 4.57E-02 |
| 5 | 6.38E-02 | 5.57E-02 | 5.37E-02 | 5.36E-02 | 5.33E-02 |
| 20 | 1.19E-01 | 1.11E-01 | 1.09E-01 | 1.09E-01 | 1.10E-01 |
| 30 | 1.57E-01 | 1.48E-01 | 1.46E-01 | 1.46E-01 | 1.47E-01 |
| 50 | 2.32E-01 | 2.22E-01 | 2.21E-01 | 2.21E-01 | 2.21E-01 |
| 100 | 4.14E-01 | 4.05E-01 | 4.04E-01 | 4.05E-01 | 4.04E-01 |
| 200 | 7.93E-01 | 7.85E-01 | 7.84E-01 | 7.85E-01 | 7.83E-01 |
| 300 | 1.164 | 1.157 | 1.154 | 1.157 | 1.155 |
| 500 | 1.911 | 1.902 | 1.901 | 1.905 | 1.900 |
| 1000 | 3.778 | 3.774 | 3.772 | 3.777 | 3.771 |
| 2000 | 7.51 | 7.48 | 7.50 | 7.51 | 7.46 |
| 3000 | 11.21 | 11.19 | 11.21 | 11.2 | 11.16 |

Elaborada por autores

Con estos valores obtenidos se realizó la respectiva gráfica en Excel con el fin de observar la tendencia de la celda. Esto puede observarse en la figura 45

Figura 45. Comportamiento de la celda de carga entre 0 y 3000 gramos



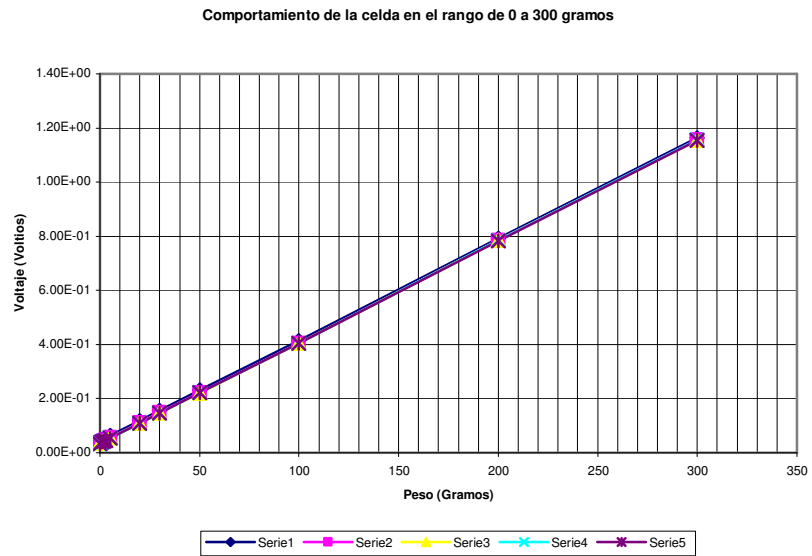
Elaborada por autores

Con los datos de la tabla 1 se decidió graficar en el rango de 0 a 300 gramos y en el rango de 0 a 50 gramos, con el fin de observar la tendencia de la celda. Las graficas obtenidas se muestran en las figuras 46 y 47.

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 un voltaje a la salida de 20 voltios, lo cual sobrepasa los 12 voltios pico de los amplificadores.

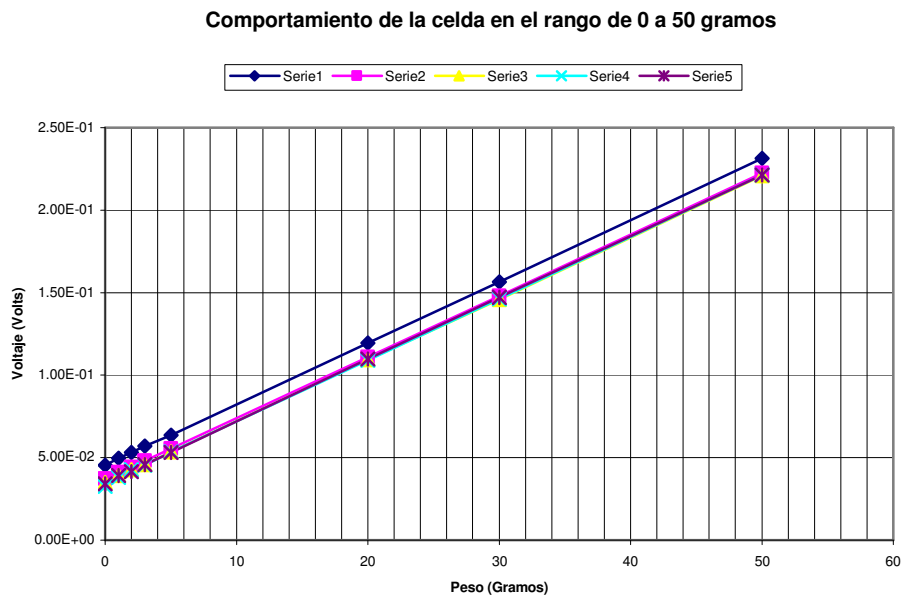
Debido a que las especificaciones del proyecto exigen una balanza con capacidad de 5000 gramos, es necesario reducir la ganancia del módulo de amplificación al valor de 500.

Figura 46. Comportamiento de la celda de carga entre 0 y 300 gramos



Elaborada por autores

Figura 47. Comportamiento de la celda de carga entre 0 y 50 gramos



Elaborada por autores

En la segunda prueba realizada a la celda de carga, se utilizó el módulo de acondicionamiento de señal con una ganancia de 495 (la mas aproximada a 500 que se pudo lograr), debidamente polarizado a 12 y -12 voltios DC con una fuente de laboratorio debido a que no se contaba aun con la fuente final del prototipo.

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de voltaje obtenidos con la celda y el acondicionador

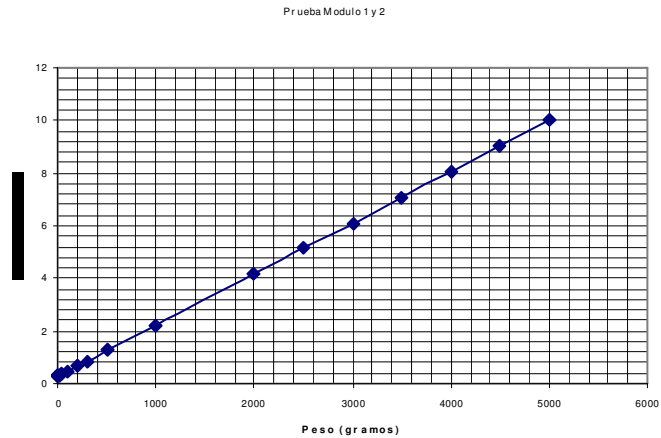
| Peso | Voltaje | Peso | Voltaje |
|-------------|----------------|-------------|----------------|
| 0 | 0,284 | 300 | 0,87 |
| 1 | 0,286 | 500 | 1,261 |
| 2 | 0,288 | 1000 | 2,23 |
| 3 | 0,29 | 2000 | 4,18 |
| 4 | 0,292 | 2500 | 5,16 |
| 5 | 0,294 | 3000 | 6,11 |
| 20 | 0,323 | 3500 | 7,09 |
| 50 |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

Elaborada por autores

Cabe destacar que la celda ya no estaba libre de peso, debido a que estaba acoplada a la extensión de aluminio donde se atornilla el plato. A este peso también se suma el de los tornillos de acople de la extensión con la celda. Una vez obtenidos estos valores, se procedió a graficarlos en el programa Excel, la gráfica obtenida puede observarse en la figura 48.

En la figura 48 se puede observar una tendencia lineal de la celda de carga frente a pesos pequeños (de gramo en gramo), lo cual es satisfactorio y de acuerdo a la hoja de datos provista por el fabricante.

Figura 48. Gráfica de voltaje contra peso obtenida

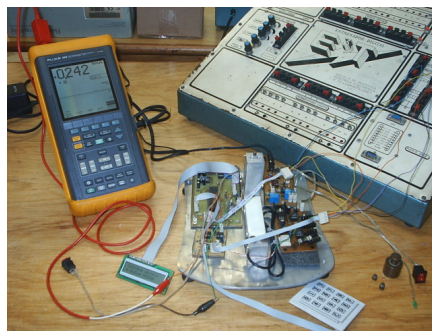


Elaborada por autores

4.2. PRUEBAS AL PROTOTIPO

Una vez probada la celda con el módulo de acondicionamiento, se procedió a conectar la salida al módulo del microcontrolador, con el fin de calcular la pendiente de calibración de la balanza. La alimentación de estas 2 tarjetas se realizó con fuentes del laboratorio de sistemas digitales de la escuela de ingeniería eléctrica y electrónica, debido a que la fuente del prototipo no estaba totalmente construida por la falta de los convertidores DC-DC. El montaje puede observarse en la figura 49.

Figura 49. Montaje utilizado para realizar las pruebas al prototipo



Tomada por autores

La primera prueba del prototipo se realizó introduciéndole al software del microcontrolador una constante de 1, para obtener el valor a la salida del conversor análogo – digital y visualizarlo en el LCD. Los datos obtenidos se pueden observar en la tabla 3.

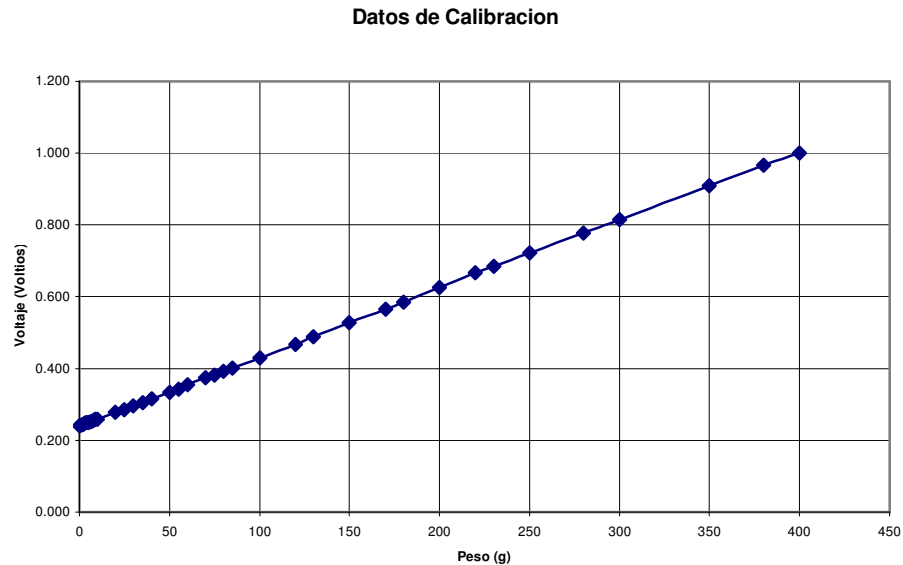
Tabla 3. Datos de calibración

| g | Voltaje [V] | PIC⁺⁺ | G | Voltaje [V] | PIC |
|----------|--------------------|-------------------------|----------|--------------------|------------|
| 0 | 0,24 | 7 | 100 | 0,43 | 644 |
| 1 | 0,243 | 14 | 120 | 0,468 | 772 |
| 2 | 0,245 | 21 | 130 | 0,488 | 836 |
| 3 | 0,247 | 28 | 150 | 0,527 | 964 |
| 4 | 0,249 | 34 | 170 | 0,566 | 1092 |
| 5 | 0,25 | 40 | 180 | 0,585 | 1158 |
| 6 | 0,251 | 46 | 200 | 0,626 | 1293 |
| 7 | 0,254 | 53 | 220 | 0,666 | 1421 |
| 8 | 0,256 | 59 | 230 | 0,685 | 1484 |
| 9 | 0,258 | 66 | 250 | 0,722 | 1613 |
| 10 | 0,259 | 71 | 280 | 0,778 | 1805 |
| 20 | 0,278 | 136 | 300 | 0,814 | 1934 |
| 25 | 0,286 | 166 | 350 | 0,909 | 2254 |
| 30 | 0,296 | 199 | 380 | 0,967 | 2445 |
| 35 | 0,305 | 232 | 400 | 1 | 2568 |
| 40 | 0,315 | 264 | 450 | 1,095 | 2889 |
| 50 | 0,333 | 328 | 500 | 1,191 | 3219 |
| 55 | 0,343 | 361 | 550 | 1,285 | 3540 |
| 60 | 0,354 | 392 | 600 | 1,379 | 3856 |
| 70 | 0,374 | 457 | 650 | 1,477 | 4176 |
| 75 | 0,382 | 489 | 700 | 1,574 | 4504 |
| 80 | 0,392 | 520 | 750 | 1,674 | 4825 |
| 85 | 0,402 | 552 | | | |

Elaborado por autores

⁺⁺ Dato decimal obtenido por el conversor A/D y visualizado en el LCD

Figura 50 Datos de calibración



Elaborada por autores

En la figura 50 se observa que la salida de la celda es lineal a tramos, y por lo tanto cada tramo tendrá una pendiente ligeramente diferente. Para calcular estas pendientes, es necesario realizar varias mediciones con diferentes pesos.

La constante experimental de calibración que más se ajusta a los rangos de medida utilizados es 0.155. Esta constante se obtiene al dividir la columna de gramos entre la columna de datos obtenidos por el PIC.

Otra prueba realizada consistió en introducir al software del microcontrolador la constante obtenida experimentalmente de 0.155 para todo el rango, a pesar de saber que la celda es lineal a tramos. Esta prueba se realizó utilizando la fuente de voltaje construida para el prototipo de la balanza. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Datos obtenidos con una constante para todo el rango

| g | PIC^{*+} | g | PIC |
|----------|-------------------------|----------|------------|
| 0 | 2 | 100 | 101 |
| 1 | 3 | 120 | 120 |
| 2 | 4 | 130 | 130 |
| 3 | 5 | 150 | 150 |
| 4 | 6 | 170 | 170 |
| 5 | 7 | 180 | 180 |
| 6 | 8 | 200 | 201 |
| 7 | 9 | 220 | 221 |
| 8 | 10 | 230 | 231 |
| 9 | 11 | 250 | 251 |
| 10 | 12 | 280 | 281 |
| 20 | 22 | 300 | 300 |
| 25 | 27 | 350 | 350 |
| 30 | 32 | 380 | 380 |
| 35 | 37 | 400 | 399 |
| 40 | 42 | 450 | 349 |
| 50 | 52 | 500 | 500 |
| 55 | 57 | 550 | 550 |
| 60 | 62 | 600 | 599 |
| 70 | 71 | 650 | 648 |
| 75 | 76 | 700 | 699 |
| 80 | 81 | 750 | 749 |
| 85 | 86 | 800 | 798 |

Elaborada por autores

La diferencia observada entre la columna g y PIC se debe a que se utilizó una única pendiente para todo el rango de valores de peso.

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.

*+ Datos decimales obtenidos del conversor multiplicados por la constante experimental de 0.155

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 voltaje obtenidos al pesar 5000 gramos exceden el máximo de 10 voltios permitido por la entrada del conversor análogo – digital.[♦]

4.3. PRUEBAS A LA FUENTE

Una vez construida la fuente de alimentación, se procedió a conectarla con el resto de los módulos, con el fin de observar su correcto funcionamiento.

Se observó 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 los voltajes generados por la fuente mantienen los niveles adecuados cuando se tiene el prototipo en operación

- La fuente de 5 voltios genera 4.96 voltios
- La fuente de 12 voltios genera 11.98 voltios.
- La fuente de –12 voltios genera -11.56 voltios.
- La fuente de 10 voltios genera 9.87 voltios.

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

Para realizar el acople de la fuente con el modulo del microcontrolador, se tuvo que utilizar condensadores de bypass de 47uF para eliminar picos de voltaje que pudieran afectar al conversor análogo – digital.

[♦] A 5000 gramos la salida de voltaje de la celda es de 19.89 milivoltios

Cualquier ruido que pueda sobrepasar a los reguladores será filtrado por el uso de 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 análogo - digital utilizado. Un camino con impedancia de 0.5Ω con una corriente fluyendo de 1.22mA, puede desarrollar un voltaje de 0.6mV, lo cual es 4 bits menos significativos en un nivel de 16 bits para una escala de 10 voltios.

4.4. PRUEBAS AL CARGADOR

La prueba realizada al cargador de batería, consistió en medir el tiempo total de carga. La batería recargable utilizada sugiere que sea cargada lentamente a 12 mA en 16 horas.

Siguiendo las instrucciones del fabricante, se diseñó y construyó un cargador de batería de carga rápida que inyecta 26.5 mA constantemente. De esta manera se logra reducir el tiempo de carga considerablemente a 4 horas y 10 minutos, tiempo medido experimentalmente.

Los niveles de voltaje para el encendido y apagado del cargador se verificaron y comprobaron.

- Enciende a 8.2 voltios.
- Apaga a 10.43 voltios.

5. GRÁFICAS DE CONTROL

5.1 DEFINICION

Una gráfica de control consiste en una línea central, un par de límites de control, uno por encima y otro por debajo, en unos valores característicos registrados en la grafica de control se representa el estado del proceso. Si todos los valores ocurren dentro de los límites de control, se dice que el proceso está en estado controlado. Si ocurre alguna tendencia especial por fuera de los límites se dice que el proceso esta fuera de control.

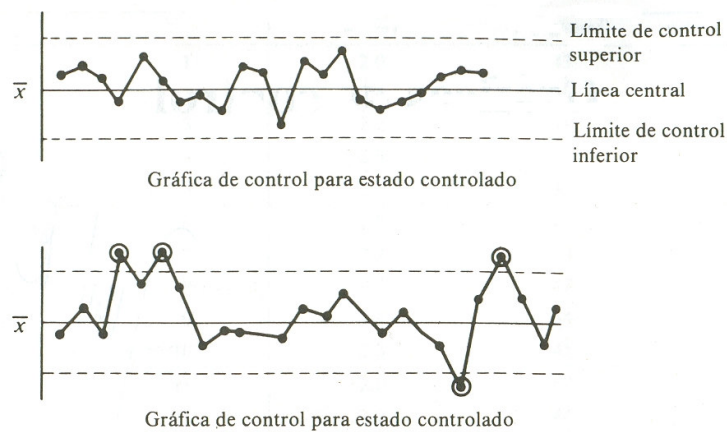
Las gráficas de control se hacen con el fin de monitorear el comportamiento de una variable con el fin de tomar medidas que la lleven a las especificaciones aceptadas previamente; distinguiendo las variaciones debidas a causas asignables de aquellas debidas a causas al azar. La figura 51 muestra algunos ejemplos de graficas de control.

La calidad de un producto manufacturado por medio de un proceso sufre ciertas variaciones, las cuales tienen causas que se pueden clasificar en:

- Causas debidas al azar: estas son inevitables en el proceso, además no es práctico eliminar el azar técnicamente y en forma económica.
- Causas asignables: significa que hay factores significativos que se pueden investigar. Es evitable y no se pueden pasar por alto.

Para realizar una gráfica de control es necesario estimar la variación debida al azar. Para esto se dividen los datos en subgrupos dentro de los cuales se mantienen factores constantes, de modo que la variación dentro del subgrupo pueda considerarse aproximadamente la misma que la variación por causas debidas al azar.

Figura 51. Ejemplos de graficas de control



Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

5.2. TIPOS DE GRÁFICAS DE CONTROL

Hay varias clases de gráficas de control, dependiendo de su propósito y de las características de la variable. Las gráficas de control se han dividido en dos tipos, una para valores continuos y otra para valores discretos, como se muestra en la tabla 5

Tabla 5. Tipos de graficas de control

| Valor característico | Nombre |
|-----------------------------|--|
| Valor continuo | Gráfica $\bar{x} - R$ (Valor promedio y rango) |
| | Gráfica x (Variable de medida) |
| Valor discreto | Gráfica pn (Número de unidades defect.) |
| | Gráfica p (Fracción de unidades defect.) |
| | Gráfica c (Número de defectos) |
| | Gráfica u (Número de defectos x unidad) |

Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

5.2.1 Gráfica \bar{x}, R, S :

Se usa para controlar y analizar un proceso en el cual la característica de calidad del producto que se está midiendo toma valores continuos, como por ejemplo la longitud, el peso o la concentración. \bar{x} representa el valor promedio de un subgrupo y R el rango del subgrupo, el cual se usa para controlar la variación. Cuando el tamaño del subgrupo es mayor a 10, se usa la gráfica S en vez de la gráfica R.

5.2.2 Gráfica \bar{x}

Se utiliza cuando los datos de un proceso se registran durante intervalos largos de tiempo o cuando los subgrupos de datos no son efectivos, entonces se grafica cada dato por separado. Debido a que no se puede calcular un valor de rango, se utiliza un rango móvil llamado R_s .

5.2.3. Gráfica pn , Gráfica p

Se usan cuando la característica de calidad se representa por el número de unidades defectuosas o la fracción defectuosa. Cuando se utiliza una muestra de tamaño constante se usa una gráfica pn , mientras que si la muestra es de tamaño variable se usa una gráfica p .

5.2.4. Gráfica c , Gráfica u

Estas se usan para controlar y analizar un proceso por los defectos de un producto, como por ejemplo rayones en placa de metal, tejido desigual en telas, etc.

Cuando las dimensiones del producto son constantes se usa una gráfica c , mientras que si las dimensiones son variables se usa una gráfica u .

5.3. COMO ELABORAR UNA GRÁFICA DE CONTROL

Según los tipos de gráficas de control, tenemos que la utilizada para procesos de medición de pesos son las gráficas \bar{x}, R, S . Como los tamaños de subgrupos utilizados en la asignatura control de calidad son menores a 10, se explicará el método para poder realizar las graficas \bar{x}, R .

5.3.1. Recoger los Datos:

Se recogen aproximadamente 100 datos, los cuales se dividen en 20 ó 25 subgrupos, haciendo que sean uniformes. Cuando no hay razones técnicas para hacer los subgrupos se dividen en el orden en que se obtuvieron, el tamaño de un subgrupo es generalmente entre 2 y 10 datos, este valor es llamado n .

5.3.2. Calcular los Promedios \bar{x}

Se calcula el promedio de cada subgrupo, por lo general el resultado se calcula con una cifra decimal más que aquellas de los datos originales.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

5.3.3. Calcular $\bar{\bar{x}}$

Se calcula $\bar{\bar{x}}$ que es el promedio de los promedios de cada subgrupo hallados en el paso anterior. Con dos cifras decimales más que los datos originales.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k}$$

5.3.4. Calcular R

Se calcula el rango de cada subgrupo, restando el valor mínimo del valor máximo de los datos en el subgrupo.

5.3.5. Calcular \bar{R}

Se calcula el promedio del rango, con el mismo número de cifras que \bar{x} .

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

5.3.6. Calcular las Líneas de Control

Calculo de cada una de las líneas de control para la gráfica \bar{x} y la gráfica R , por medio de las siguientes formulas:

Gráfica \bar{x}

| | |
|--------------------------|-------------------------------|
| Línea central: | $LC = \bar{x}$ |
| Límite control superior: | $LCs = \bar{x} + A_2 \bar{R}$ |
| Límite control inferior: | $LCi = \bar{x} - A_2 \bar{R}$ |

Gráfica R

| | |
|--------------------------|---------------------|
| Línea central: | $LC = \bar{R}$ |
| Límite control superior: | $LCs = D_4 \bar{R}$ |
| Límite control inferior: | $LCi = D_3 \bar{R}$ |

Cuando n es menor que 6 no se tiene en cuenta LCi.

Los parámetros A_2, D_4, D_3 son determinados por el tamaño de subgrupo, como se muestra en la tabla 6

Tabla 6. Determinación de parámetros A_2, D_4, D_3

| Tamaño del subgrupo n | Gráfica \bar{x} | Gráfica R | |
|-------------------------|-------------------|-------------|-------|
| | A_2 | D_3 | D_4 |
| 2 | 1.880 | --- | 3.267 |
| 3 | 1.023 | --- | 2.575 |
| 4 | 0.729 | --- | 2.282 |
| 5 | 0.577 | --- | 2.115 |
| 6 | 0.483 | --- | 2.004 |
| 7 | 0.419 | 0.076 | 1.924 |
| 8 | 0.373 | 0.136 | 1.864 |
| 9 | 0.337 | 0.184 | 1.816 |
| 10 | 0.308 | 0.223 | 1.777 |

Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

5.3.7. Dibujar las Líneas de Control

Primero se marca el eje vertical de la izquierda con los valores \bar{x} y R , el eje horizontal con el número de subgrupos. Para el eje vertical se escoge una escala de forma que el límite superior e inferior estén a una distancia de 20 a 30 mm. La línea central se hace sólida, mientras que los límites son punteados.

5.3.8. Localizar los Puntos

Se registran los valores de \bar{x} y de R de cada subgrupo sobre la misma línea vertical en el orden del número del subgrupo. La distancia entre los subgrupos es de aproximadamente, 2 a 5 mm. Para diferenciar las gráficas se utilizan marcas distintas, si los valores se salen de los límites se encierran en un círculo.

5.3.9. Registrar los Datos que Puedan ser de Utilidad

Escribir el tamaño del subgrupo (n) en el extremo superior izquierdo de la gráfica. Incluir también otro aspecto relevante para el proceso, tal como los nombres del proceso y del producto, el período, el método de medición, las condiciones de trabajo, el turno, etc.

5.3.10 Ejemplo de una Gráfica de Control $\bar{x} - R$.

Tabla 7 Ejemplo de una grafica de control

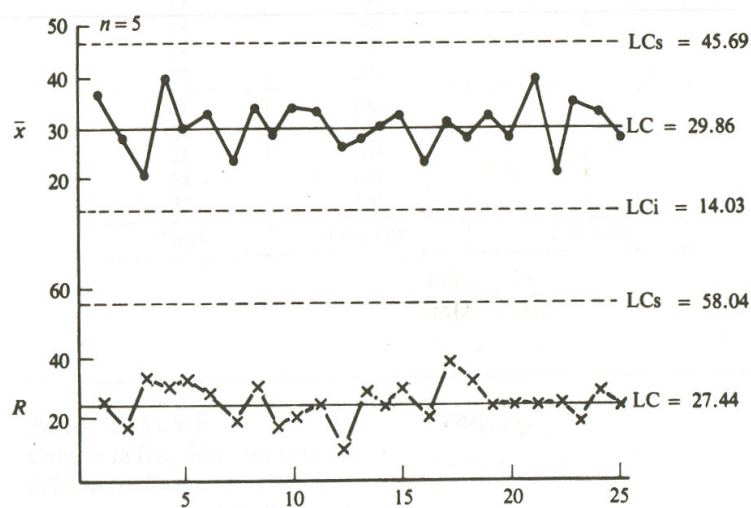
| Subgrupo Nº | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | $\sum X$ | \bar{x} | R |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------|-----|
| 1 | 47 | 32 | 44 | 35 | 20 | 178 | 35.6 | 27 |
| 2 | 19 | 37 | 31 | 25 | 34 | 146 | 29.2 | 18 |
| 3 | 19 | 11 | 16 | 11 | 44 | 101 | 20.2 | 33 |
| 4 | 29 | 29 | 42 | 59 | 38 | 197 | 39.4 | 30 |
| 5 | 28 | 12 | 45 | 36 | 25 | 146 | 29.2 | 33 |
| 6 | 40 | 35 | 11 | 38 | 33 | 157 | 31.4 | 29 |
| 7 | 15 | 30 | 12 | 33 | 26 | 116 | 23.2 | 21 |
| 8 | 35 | 44 | 32 | 11 | 38 | 160 | 32.0 | 33 |
| 9 | 27 | 37 | 26 | 20 | 35 | 145 | 29.0 | 17 |
| 10 | 23 | 45 | 26 | 37 | 32 | 163 | 32.6 | 22 |
| 11 | 28 | 44 | 40 | 31 | 18 | 161 | 32.2 | 26 |
| 12 | 31 | 25 | 24 | 32 | 22 | 134 | 26.8 | 10 |
| 13 | 22 | 37 | 19 | 47 | 14 | 139 | 27.8 | 33 |
| 14 | 37 | 32 | 12 | 38 | 30 | 149 | 29.8 | 26 |
| 15 | 25 | 40 | 24 | 50 | 19 | 158 | 31.6 | 31 |
| 16 | 7 | 31 | 23 | 18 | 32 | 111 | 22.2 | 25 |
| 17 | 38 | 0 | 41 | 40 | 37 | 156 | 31.2 | 41 |
| 18 | 35 | 12 | 29 | 48 | 20 | 144 | 28.8 | 36 |
| 19 | 31 | 20 | 35 | 24 | 47 | 157 | 31.4 | 27 |
| 20 | 12 | 27 | 38 | 40 | 31 | 148 | 29.6 | 28 |
| 21 | 52 | 42 | 52 | 24 | 25 | 195 | 39.0 | 28 |
| 22 | 20 | 31 | 15 | 3 | 28 | 97 | 19.4 | 28 |
| 23 | 29 | 47 | 41 | 32 | 22 | 171 | 34.2 | 25 |
| 24 | 28 | 27 | 22 | 32 | 54 | 163 | 32.6 | 32 |
| 25 | 42 | 34 | 15 | 29 | 21 | 141 | 28.2 | 27 |

Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

Gráfica \bar{x} Línea central: $LC = \bar{\bar{x}} = 29.86$
 Límite control superior: $LCs = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 45.69$
 Límite control inferior: $LCi = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 14.03$

Gráfica R Línea central: $LC = \bar{\bar{R}} = 27.44$
 Límite control superior: $LCs = D_4 \bar{R} = 58.04$
 Límite control inferior: $LCi = D_3 \bar{R} = (\text{No se considera: } n < 6)$

Figura 52. Gráfica $\bar{x} \wedge R$ para el ejemplo anterior



Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

5.4. COMO LEER UNA GRÁFICA DE CONTROL

Para controlar un proceso se debe conocer el estado del proceso, esto se logra al leer la gráfica de control. Cuando se encuentra algo anormal en el proceso se toman las acciones apropiadas.

El estado controlado del proceso es cuando el proceso es estable, es decir, el promedio y la variación del proceso no cambian. Si un proceso está o no controlado se juzga según los siguientes criterios a partir de la gráfica de control.

5.4.1. Fuera de los Límites de Control

Puntos que están por fuera de los límites de control.

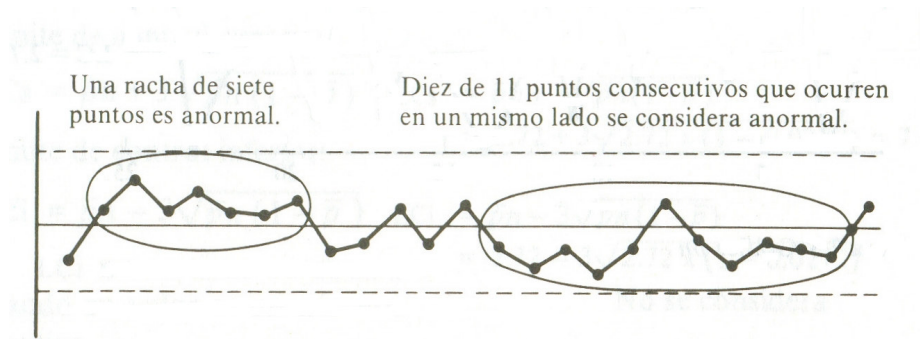
5.4.2. Racha

La racha es el estado en el cual los puntos ocurren continuamente en un lado de la línea central y el número de puntos se llama longitud de la racha. Cuando la

longitud tiene siete puntos, se considera una racha normal. Aun si la longitud de la racha está por debajo de 6 se considera anormal para los siguientes casos:

- a. Al menos 10 de 11 puntos consecutivos ocurren en un mismo lado de la línea central.
- b. Al menos 12 de 14 puntos consecutivos ocurren en un mismo lado de la línea central.
- c. Al menos 16 de 20 puntos consecutivos ocurren en un mismo lado de la línea central.

Figura 53. Racha

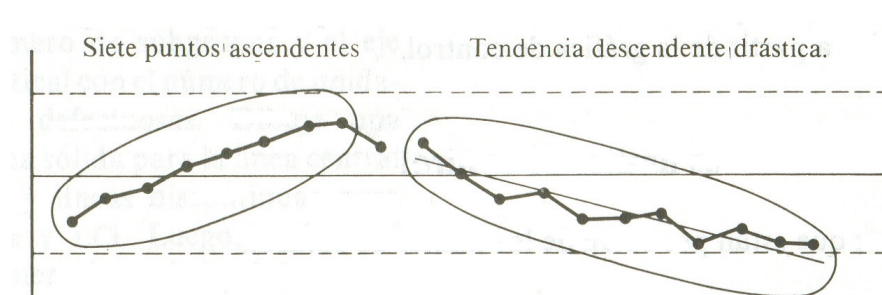


Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

5.4.3. Tendencia

Si los puntos forman una curva continua ascendente o descendente, se dice que hay una tendencia. En la figura 54 se observa un ejemplo de tendencia.

Figura 54. Tendencia



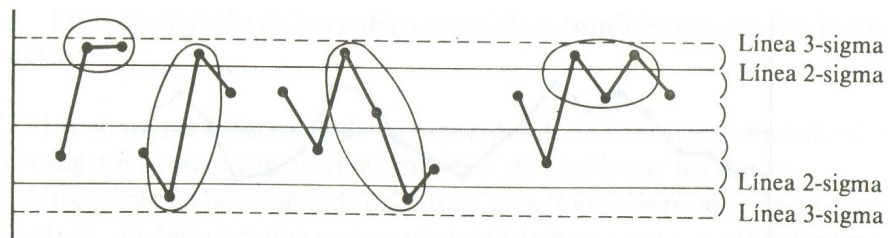
Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

5.4.4. Acercamiento a los Límites de Control

Se tienen en cuenta los puntos que se acerquen a los límites de control de 3 sigma**, si 2 de 3 puntos ocurren por fuera de las líneas de 2 sigma, el caso se considera anormal.

Donde la desviación estándar es la variación debida al azar.

Figura 55. Acercamiento a los límites de control

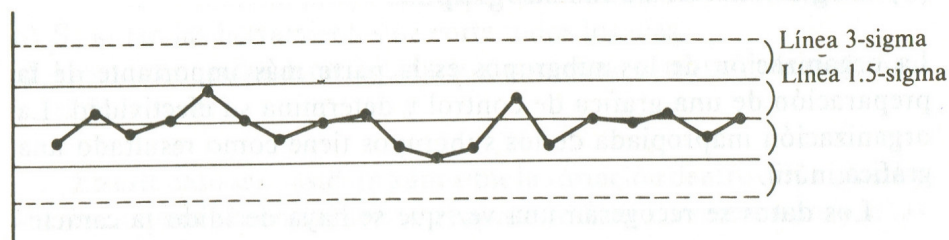


Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

5.4.5. Acercamiento a la Línea Central

Cuando la mayoría de los puntos se encuentran dentro de las líneas de 1.5 sigma, es decir, dentro de los bisectores de la línea central y de cada uno de los límites de control, es por que los subgrupos se organizaron de forma inapropiada y los límites de control son demasiado amplios. La manera de solucionarlo es cambiar la manera de hacer los subgrupos.

Figura 56. Acercamiento a la línea central



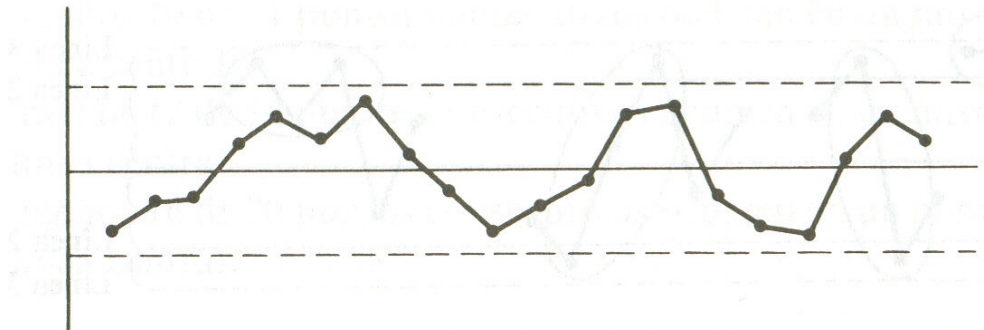
Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

*** Límites de 3 sigma: valor promedio \pm (3 x desviación estándar).

5.4.6. Periodicidad

Es anormal que la curva muestre repetidamente una tendencia ascendente o descendente para casi el mismo intervalo.

Figura 57. Periodicidad



Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Hitoshi Kume

5.5 ANÁLISIS DEL PROCESO USANDO LAS GRÁFICAS DE CONTROL

El objetivo del análisis del proceso puede definirse como la identificación de causas específicas asignables de la variación de una característica de la calidad de un proceso. Después de encontrar esas causas asignables por medio del análisis del proceso es necesario realizar una serie de acciones correctivas en relación con las causas asignables.

5.5.1. Organización de los Subgrupos

La organización de los subgrupos es la parte más importante de la preparación de una gráfica de control y determina su efectividad. La organización inapropiada de los subgrupos tiene como resultado una gráfica inútil.

Los gráficos se recogerán una vez se haya decidido la característica de calidad de un proceso que se vaya a analizar. La variación en una característica de calidad en un proceso se debe a varias causas. Por eso, antes de organizar los subgrupos, es necesario considerar la variación que se ha de eliminar, y tratar luego de agrupar los datos de tal manera que la variación debida a factores permisibles constituya la variación dentro del subgrupo. Para este fin:

- a. La operación debe realizarse casi en las mismas condiciones (Desde el punto de vista técnico).
- b. Los datos recogidos a lo largo de un periodo de tiempo relativamente corto deben agruparse.

En la formación de los subgrupos deben considerarse los siguientes puntos:

- a. Hay maneras diferentes de agrupar. Se debe cambiar el tamaño del subgrupo y ensayar diversas maneras de combinar los datos.
- b. Un cambio en la manera de organizar los subgrupos producirá un cambio en los factores que constituyen la variación dentro del subgrupo.

No puede usarse efectivamente una gráfica de control sin conocer los componentes de la variación dentro del subgrupo.

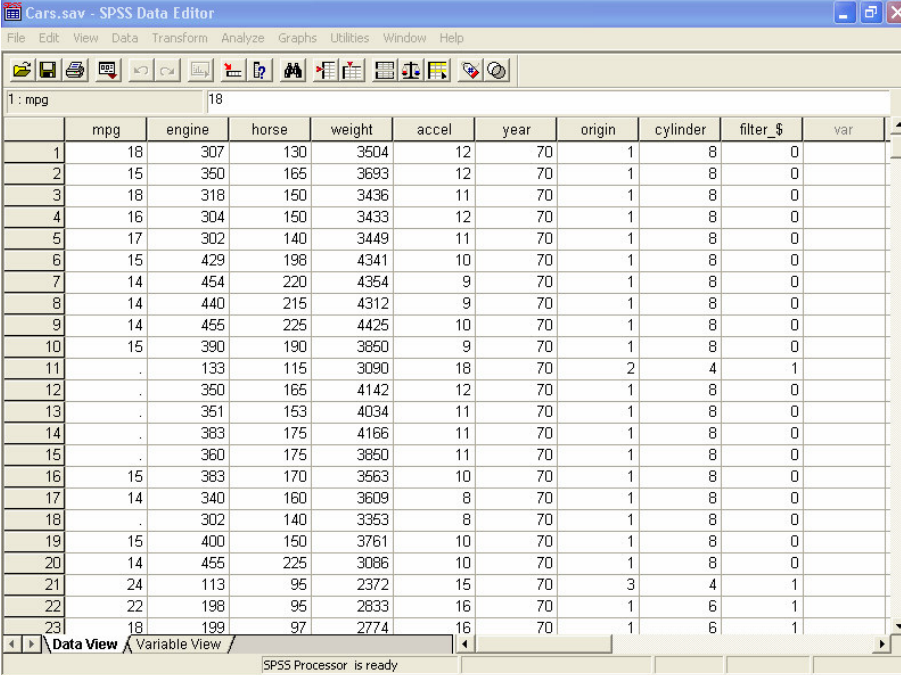
5.6. GRÁFICAS DE CONTROL CON EL SOFTWARE SPSS

Con el fin de dar un ejemplo de la realización de una gráfica de control con un software especializado en estadística, se escogió el SPSS versión 11.0.0 desarrollado por *LEAD TECHNOLOGIES INC*. El SPSS realiza gráficos de manera sencilla, y funciona similar al Microsoft Excel en cuanto a la organización de los datos en columnas.

Para realizar los gráficos de control, hay que introducir los datos en columnas como en el ejemplo mostrado en la figura 58, oprimir el menú *Graphs*, y la

opción Control. Ahí se despliega el menú control *charts*, que permite seleccionar el tipo de grafico de control deseado.

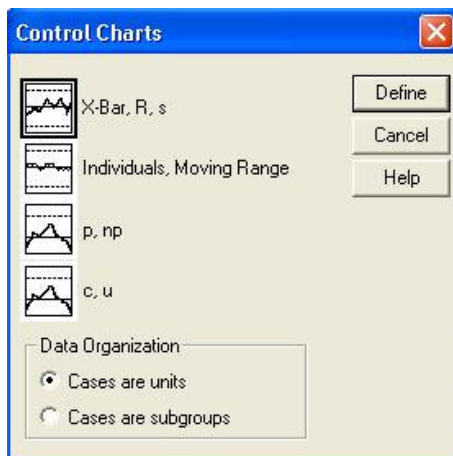
Figura 58. Hoja de cálculo en SPSS



| | mpg | engine | horse | weight | accel | year | origin | cylinder | filter_\$ | var |
|----|-----|--------|-------|--------|-------|------|--------|----------|-----------|-----|
| 1 | 18 | 307 | 130 | 3504 | 12 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 2 | 15 | 350 | 165 | 3693 | 12 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 3 | 18 | 318 | 150 | 3436 | 11 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 4 | 16 | 304 | 150 | 3433 | 12 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 5 | 17 | 302 | 140 | 3449 | 11 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 6 | 15 | 429 | 198 | 4341 | 10 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 7 | 14 | 454 | 220 | 4354 | 9 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 8 | 14 | 440 | 215 | 4312 | 9 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 9 | 14 | 455 | 225 | 4425 | 10 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 10 | 15 | 390 | 190 | 3850 | 9 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 11 | . | 133 | 115 | 3090 | 18 | 70 | 2 | 4 | 1 | |
| 12 | . | 350 | 165 | 4142 | 12 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 13 | . | 351 | 153 | 4034 | 11 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 14 | . | 383 | 175 | 4166 | 11 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 15 | . | 360 | 175 | 3850 | 11 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 16 | 15 | 383 | 170 | 3563 | 10 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 17 | 14 | 340 | 160 | 3609 | 8 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 18 | . | 302 | 140 | 3353 | 8 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 19 | 15 | 400 | 150 | 3761 | 10 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 20 | 14 | 455 | 225 | 3086 | 10 | 70 | 1 | 8 | 0 | |
| 21 | 24 | 113 | 95 | 2372 | 15 | 70 | 3 | 4 | 1 | |
| 22 | 22 | 198 | 95 | 2833 | 16 | 70 | 1 | 6 | 1 | |
| 23 | 18 | 199 | 97 | 2774 | 16 | 70 | 1 | 6 | 1 | |

Tomado de ejemplo proporcionado por el software SPSS.

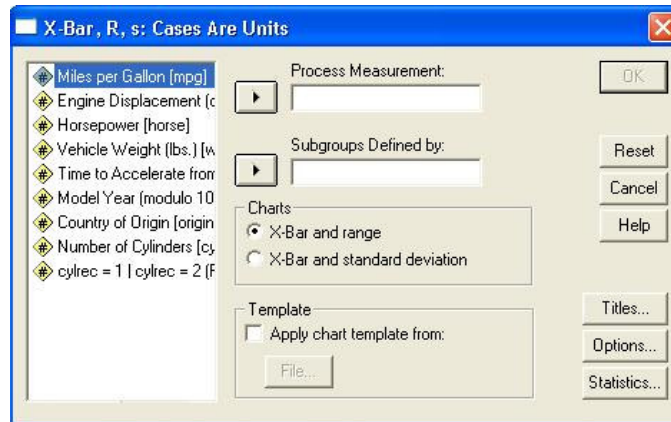
Figura 59. Menú control charts



Tomado de SPSS

Una vez seleccionado el tipo de gráfico de control deseado, se hace clic en el botón define, y aparece un menú con las variables disponibles para analizar. En el recuadro “subgroups defined by” se coloca la variable que va sobre el eje X. En el recuadro “process Measurement” se debe colocar la variable dependiente.

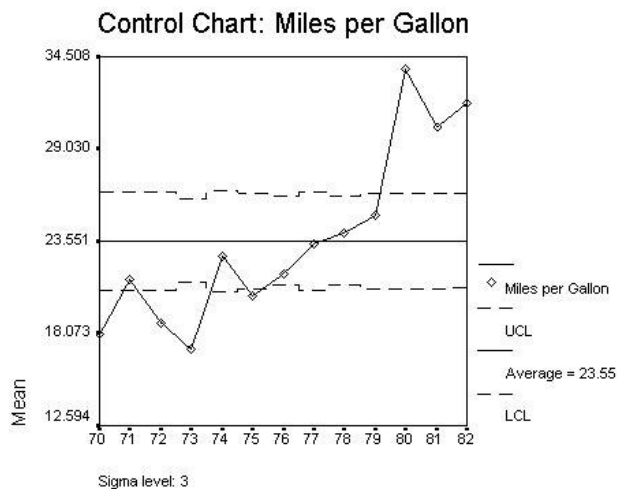
Figura 60. Seleccionar variables para análisis



Tomado de SPSS

Este es la grafica de control obtenido luego de haber ingresado como variable dependiente “miles per gallon” y en la variable independiente “model by year”.

Figura 61. Grafico de control realizado con SPSS



Elaborado por autores

6. SOFTWARE UTILIZADO

A continuación se hará una breve descripción del algoritmo que utiliza el prototipo para su operación. En la figura 62 puede observarse el diagrama de flujo respectivo.

Una vez se enciende la balanza, se despliegan en pantalla los mensajes de bienvenida y se le pide al usuario que coloque la tara a utilizar sobre el plato de la balanza, y oprima el botón de tara. Esto con el fin de indicar al microcontrolador cual es el nivel de referencia para las posteriores mediciones.

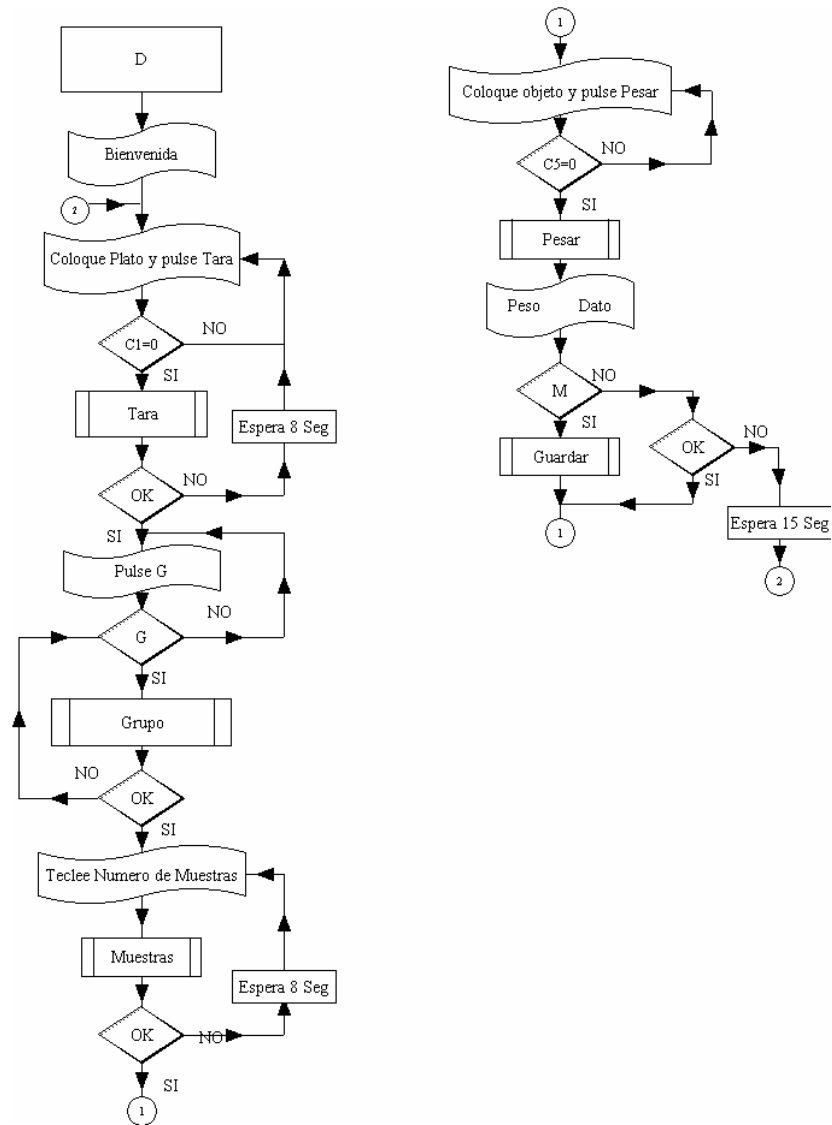
Una vez el microcontrolador ha establecido este nivel de referencia, despliega un mensaje para indicar que ya esta listo para pesar, y debe pulsarse la tecla OK. Si transcurren 8 segundos y no se pulsa esta tecla OK, la balanza entenderá que la tara fue mal establecida y esperará que el usuario pulse de nuevo la tecla tara y realice el mismo procedimiento anterior.

Establecida correctamente la tara, se le pide al usuario que pulse la tecla G, con el fin de indicarle a la balanza, el grupo que esta trabajando con ella. Solo se habilita el teclado numérico y las teclas A y B, con el fin que el usuario no pulse teclas erróneas.

Establecido el grupo de trabajo, la balanza debe conocer el numero de muestras que se van a tomar, para indicarle al usuario la cantidad de datos que lleva durante el proceso de medición. Si se indica el número de muestras y no se pulsa la tecla OK, la balanza vuelve a solicitar el número de muestras. Esto con el fin de corregir errores de digitación, sin tener que reiniciar todo el proceso que se ha llevado a cabo. El tiempo de espera que la balanza realiza antes de volver a solicitar el número de muestras es de 8 segundos.

Una vez se ha hecho todo el procedimiento anterior, la balanza ya esta lista para pesar, y despliega un mensaje indicando que coloque el objeto a pesar y pulse la tecla PESAR. Si se desea guardar el dato en memoria, se pulsa la tecla M, el dato es almacenado correctamente en memoria y el contador de muestras es incrementado en 1. Si simplemente se pulsa OK, el contador no es incrementado y la balanza no almacena ningún dato y solicita que coloquen de nuevo el peso y pulsen PESAR. Si no se pulsa ninguna tecla por 15 segundos la balanza se reinicia.

Figura 62. Diagrama de flujo del prototipo



Elaborado por autores

Todas estas rutinas y subrutinas son implementadas mediante MPLAB para ser posteriormente grabadas al microcontrolador.

6.1 SOFTWARE PARA DESCARGAR DATOS DEL PROTOTIPO

Para realizar funciones como descargar los datos que han sido almacenados en la memoria EEPROM de la balanza y para borrar la memoria, es preciso crear un software para el PC que realice estas tareas.

Se pensó inicialmente en usar el conocimiento adquirido en el Software Labview pero por 2 razones fuertes se desistió de la idea. La primera es que la licencia de uso para este software es bastante costosa, y segundo, y la más importante es que si bien Labview permite la adquisición de datos, fue concebida como una poderosa herramienta de control de procesos por PC. Debido a que en esta aplicación no se iba a controlar ningún proceso ni ninguna variable, sino simplemente a descargar datos almacenados en una memoria EEPROM hacia un PC por interfaz RS-232; se prefirió un software menos especializado y cuya licencia no fuese costosa.

Se prefirió por esto usar 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 software que va a ser realizado debe enviar un código para causar una interrupción en el microcontrolador y que este empiece a realizar la tarea que se necesita. Debe tener también una opción que permita seleccionar el puerto serial correcto. Después de finalizado su uso, debe brindar la opción al usuario de borrar los datos almacenados en la memoria EEPROM de la balanza, para su posterior uso.

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

Figura 63. Módulo de comunicaciones seriales MSCOMM



Microsoft Visual Basic 6.0

El componente MSCOMM viene integrado al Microsoft Visual Basic 6.0; permite configurar las opciones del puerto serie del PC. Algunas de las funciones del MSCOMM son:

- Configura y retorna el numero del puerto serie a utilizar
- Configura la rata de baudios, la paridad, los bits de datos y bits de parada.
- Configura que un puerto este abierto o cerrado.
- Escribe cadenas de caracteres para el buffer de transmisión.
- Remueve las cadenas de bits que han llegado al buffer de recepción.

Este componente posee muchas mas opciones para la transmisión y recepción de datos, que no fueron necesarios para el desarrollo del software para la balanza. Una vez seleccionado el componente MSCOMM y pegado en el formulario, se diseñó el menú principal del programa, con las diferentes funciones que debe realizar el software. El menú principal es como el mostrado en la figura 64.

El software de adquisición de datos del prototipo debe ser utilizado de manera secuencial para su correcto funcionamiento. Si el usuario omite un paso necesario, el software desplegará un mensaje de texto informándole su proceder erróneo.

Debido a que en los alcances del proyecto esta el de brindar los datos almacenados en memoria del prototipo al PC, en un formato reconocible por el programa EXCEL o por SPSS. Estos datos descargados de la balanza se almacenan en un archivo de texto que el usuario crea y se deben introducir manualmente al software donde se van a analizar.

Figura 64. Menú principal del software



Microsoft Visual Basic 6.0.

6.1.1. Botón Detectar Puerto

Con este botón, el usuario selecciona el puerto serial que va a ser utilizado para conectar a la balanza. La mayoría de computadores poseen 2 puertos COMM seriales, siendo estas las 2 únicas opciones de selección. Después que se selecciona el número deseado, el usuario habilita el puerto y este queda listo para recibir o transmitir.

6.1.2. Botón Crear Archivo

Con este botón se especifica la dirección donde se van a almacenar los datos provenientes de la balanza y se crea el archivo. El archivo creado tiene la extensión .txt ya que es un archivo de texto.

6.1.3. Botón Descargar Datos

Se abre el archivo creado en el paso anterior, y se transfieren los datos de la balanza hacia el PC. Esta transferencia se inicia al enviar un byte hacia la balanza, el cual interrumpe al microcontrolador, y este inicia la transferencia de datos. Una vez los datos han sido transferidos al PC, el microcontrolador envía un código que el software interpreta como fin de transferencia y procede a seguir con la ejecución normal del programa.

6.1.4. Botón Borrar Memoria

Se encarga de borrar toda la memoria y dejarla lista para su uso posterior. Hay que tener en cuenta que esta borrada es definitiva y una vez borrados los datos es imposible recuperarlos. El tiempo que toma borrar toda memoria EEPROM de 8 KB del prototipo es de 90 segundos.

6.1.5 Botón Ayuda

Abre un archivo de ayuda con la aplicación notepad de Windows. Este archivo de ayuda posee una guía detallada del funcionamiento del software.

6.1.6 Botón Salir

Finaliza la ejecución del programa, y salta a la ventana principal. Si el puerto com estaba abierto, este botón se asegurará de cerrarlo.

Una vez se tienen los datos en el PC, se procede al análisis, mediante el uso de los gráficos de control. Esta es una herramienta que se utiliza en el control de calidad de los procesos de la industria y permite encontrar fallas en la producción y tomar medidas correctivas.

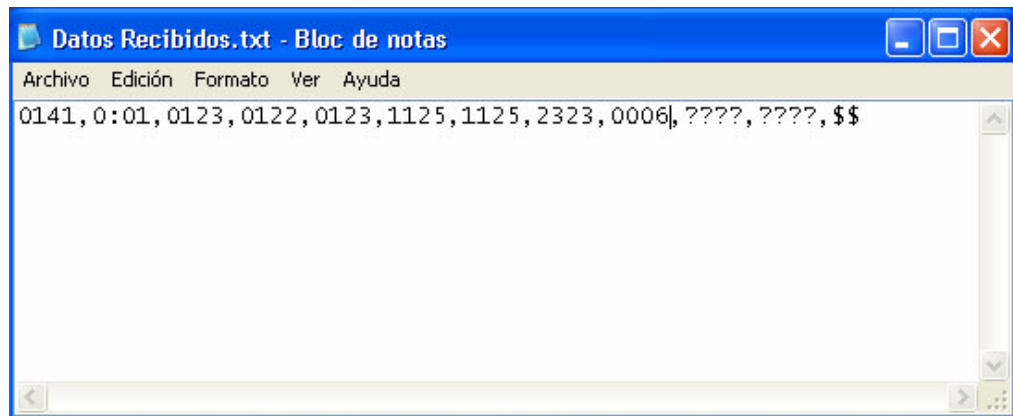
6.2 PRUEBAS REALIZADAS AL SOFTWARE

Una vez realizado el software se realizaron pruebas con el fin de verificar que los datos son transferidos correctamente, y no se pierden bits.

Para utilizar el software se abre un puerto serial y se configura para transmisión a 9600 bps, con 1 bit de parada, 8 bits de datos y sin utilizar bit de paridad. Para almacenar los datos, debe crearse un archivo de extensión .txt,

Para descargar los datos se carga el buffer de salida del PC con el código ASCII “\$” con el fin de provocar en el PIC una interrupción y el inicio de la rutina de la descarga de datos. Cuando todos los datos son descargados al PC, el PIC envía el código ASCII “\$\$” para indicarle al software que la descarga ha finalizado. Los datos recibidos son almacenados en un archivo de extensión .txt como se muestra en la figura 65.

Figura 65. Datos recibidos



Elaborado por autores

En este ejemplo el primer dato (0141) indica la tara especificada por el usuario, el segundo dato (0:01) indica el grupo de trabajo, en este caso (0:01) equivale al grupo de trabajo A-01*.

* La letra A se muestra como (0:) y la letra B se muestra como (0;)

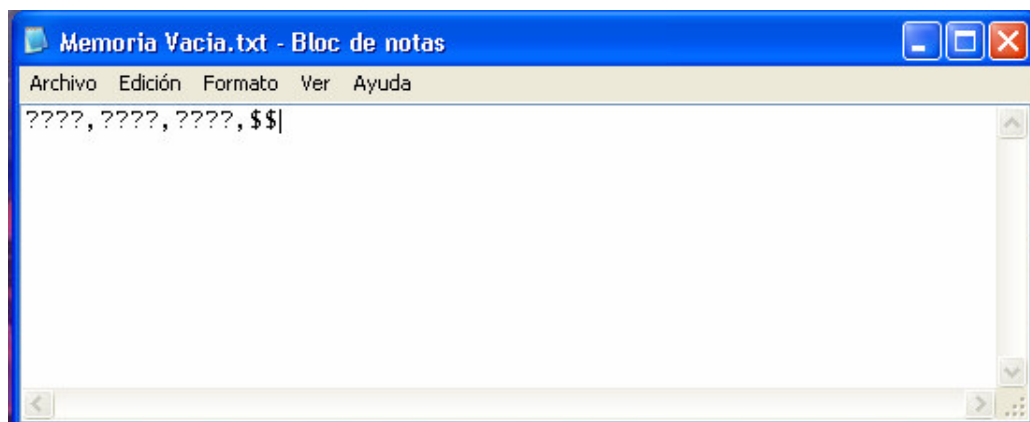
A partir del tercer dato son valores pesados con el prototipo. El séptimo dato recibido en este ejemplo es el contador del número de muestras almacenadas en la memoria. Se muestra un 6 porque el usuario indico al prototipo este número.

Los 3 últimos datos recibidos son para indicarle al software el fin de la transferencia y se visualizan como 8 símbolos “?” y el código ASCII \$\$.

Para borrar los datos, hay que detectar y mantener el puerto de comunicaciones abierto y presionar el botón BORRAR MEMORIA. Una vez es pulsado, el programa confirma la decisión del usuario. Si se oprime en este punto NO o CANCELAR, los datos permanecen en la memoria de la balanza. En caso de oprimir SI, se carga el buffer de salida del PC con el código ASCII “R” y se envía al PIC con el fin de causar una interrupción y ejecutar la rutina de borrar memoria. Cuando el PIC termina de realizar la rutina de borrar memoria, envía al PC el código ASCII “RR” para indicar que la memoria ha sido borrada en su totalidad. El software no permite borrados parciales de memoria. La operación de borrar memoria toma 90 segundos, para la memoria utilizada de 8 KBytes. Este tiempo se verificó varias veces.

Cuando se borra la memoria y se realiza la descarga de datos con la memoria vacía, se obtiene un archivo como el presentado en la figura 66.

Figura 66. Memoria vacía



Elaborado por autores

7. 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 comprobaron las características de la celda de carga *Tedea Huntleigh 1022* utilizada tales como capacidad y resolución.
- Se diseñó y construyó un módulo para acondicionar la señal de salida de la celda de carga de tal manera que pudiera ser introducida correctamente al conversor análogo - digital.
- Se adquirió la señal proveniente del acondicionador por medio de un conversor análogo - digital de 16 bits serial.
- Se visualizó el peso y el grupo de trabajo en un display de cristal líquido (LCD).
- El prototipo construido está en capacidad de almacenar los datos obtenidos en una memoria EEPROM interna.
- Se configuró y programó el microcontrolador PIC 16F877-20 para realizar el control de la adquisición, almacenamiento, visualización y transferencia de datos.
- El prototipo construido esta 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 esta en capacidad de borrar esta memoria si así se desea.

- Se desarrolló un software en Visual Basic 6.0 que recibe y convierte los datos provenientes de la memoria EEPROM de la balanza, a un formato que puede ser utilizado por un software especializado en probabilidad y estadística para la posterior realización de las gráficas de control.
- Se conformó una estructura compacta y modular para implementar el conjunto del prototipo de balanza electrónica con comunicación serial BECCS.
- Con el desarrollo de este proyecto se ha contribuido a dotar un laboratorio que no contaba con el equipo necesario para la práctica. Queda demostrado que la UIS esta en capacidad de fabricar balanzas electrónicas, por esto esperamos que a futuro sea prioridad fabricar estos equipos que adquirirlos en el mercado.

RECOMENDACIONES

- Para futuros diseños de balanzas electrónicas se recomienda analizar exhaustivamente todas las formas, modelos, tamaños y marcas de transductores de peso que hay en el mercado. Esto con el fin de comprar el transductor más apropiado para el diseño que se requiere en particular, y no tener que adaptar el diseño de la balanza a un transductor en particular.
- Para la fuente de voltaje, los convertidores DC-DC de condensador conmutado son una excelente alternativa a la hora de invertir y elevar voltajes, pero hay que tener en cuenta que se debe disponer de mínimo 3 meses para contar con ellos, debido a que es necesario importarlos.
- Con el fin de evitar que se introduzca error al sistema, se recomienda realizar un correcto aislamiento de la señal proveniente del transductor, en especial no retirar el aislamiento y blindaje original que poseen estos cables. Además se debe tener en cuenta las especificaciones técnicas que brinda el fabricante de los circuitos integrados, en cuanto a la realización de los circuitos impresos de las tarjetas de acondicionamiento de señal y adquisición de datos al microcontrolador. De estos cuidados iniciales pueden evitarse muchos errores en las etapas finales.
- A la hora de transferir un prototipo construido en protoboard a un circuito impreso, se recomienda examinar cuidadosamente los *datasheets* de los circuitos integrados utilizados, especialmente los convertidores análogo – digitales. Cada fabricante recomienda el tamaño de las pistas del impreso, el uso de condensadores de *bypass* o filtros RC, y varias formas de hacer el acoplamiento de tierras, que teniéndolas en cuenta, al final significarán un correcto funcionamiento de todo el circuito.

- A la hora de realizar el software para la captura de los datos en la memoria de la balanza, se recomienda inspeccionar primero si se cuenta con la licencia de uso en el departamento donde se va a utilizar. La mayoría de las veces estas licencias son bastante costosas en relación con el proyecto mismo.
- Con este proyecto se comprobó la importancia de la línea de investigación en instrumentación de la Ingeniería Electrónica. Por esto se recomienda que la escuela siga interactuando con otras escuelas de la universidad y continúe sus esfuerzos por mejorar esta área y motivar a los estudiantes a trabajar en ella, ya que esto es fundamental para la industria y está presente en cualquier tipo de proceso.

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. ANGULO USATEGUI, José. M^a. MARTÍN CUENCA, Eugenio. ANGULO MARTÍNEZ, Ignacio; Microcontroladores PIC, la solución en un chip; Editorial Paraninfo. España 1997.
4. ANGULO USATEGUI, José. M^a. 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 Microelectronicos, 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.

DOCUMENTOS DE INTERNET

Microchip Technologies, *Datasheets*. <http://www.microchip.com/1010/index.htm>

Tedea Huntleigh, *Datasheets*. <http://www.thila.com/>

National Semiconductor, *Datasheets*: <http://www.national.com/>

Serial Communications And Visual Basic: <http://www.ontrak.net/visual.htm>

Analog Devices, *Datasheets*. <http://www.analog.com>

ANEXOS

ANEXO A. Celda de carga Tedeá Huntleigh 1022.

Model 1022

Single Point Load Cells



Features

- Capacities: 3 - 100 kg (6.61 - 220 lbs)
- Only 22mm (.09 inch) high
- Aluminum Construction
- Single point 350mm x 350mm (13.78 inch x 13.78 inch) platform
- IP66 protection
- OIML R60 (Cert. TC 2792) and NTEP (Cert. 4430(a) -03) approved
- Class I, II, III Division 1 - FM (Factory Mutual)
- EEx ia IIC T4 - PTB

Model 1022 is a low profile single point load cell designed for direct mounting of low cost weighing platforms.

Its small physical size, combined with high accuracy and aluminum construction, makes this load cell ideally suited for retail, bench and counting scales where savings in parts and labor due to simpler scale construction can be made.

Available in a range of capacities, from 3 to 100kg and approved to OIML, R60 (4000d) or NTEP 5000d, single). Environmental protection to IP66 is provided as standard.



EXCELLENCE IN LOAD CELLS

Contact Info

E-mail
sales@tedea-huntleigh.com
Website
www.tedeahuntleigh.com

20630 PLUMMER ST
CHATSWORTH CA 91311USA

TEL: 800.626.2616
FAX: 818.701.2799

Europe
Tedeá-Huntleigh
Europe Ltd.
37 Portmanmoor
Road
Cardiff
CF24 SHE

International
Tedeá-Huntleigh Inter-
national Ltd.
5 Hozoran St.
New Industrial Zone
P.O. Box 8381, Netanya
42506

China
Beijing Tedeá-Huntleigh
No. 16 Hong Da Bei Lu
Da Xing County, Beijing
Economic & Technology
Development Area,
Beijing 100176
Tel: +86-10-67881604-

Germany
Tedeá-Huntleigh
GmbH.
Mumlingweg 18
D-64297
Darmstadt-
Eberstadt

France
SEEA sa
16 Rue Francis
Vovelle
28000 Chartres
France

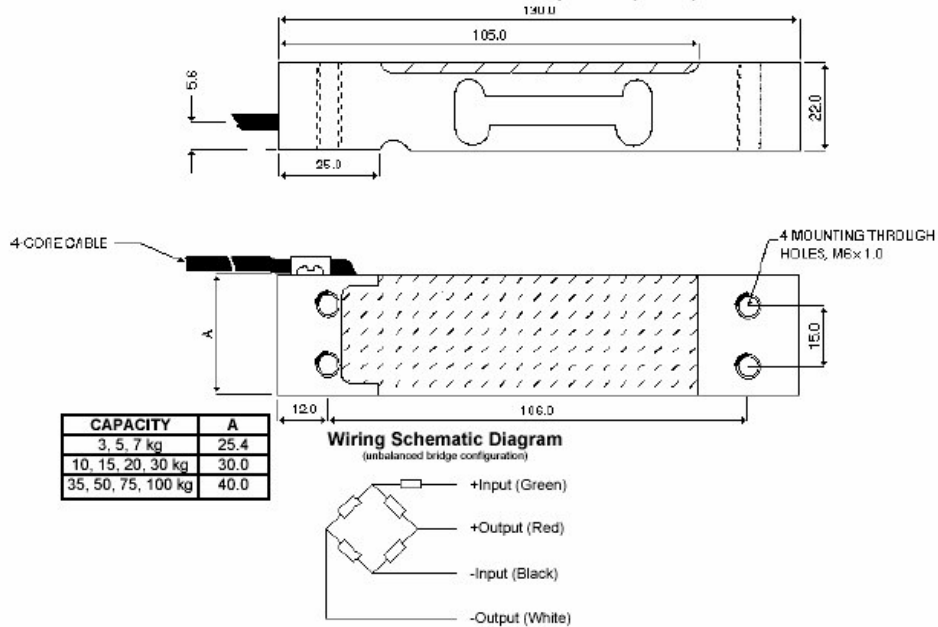
Model 1022

Single Point Load Cells

| GRADE | E | F | G** | C3*** | UNITS |
|---------------------------------|--|--------|--------|--------|-------------------------|
| Rated Capacities | 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 35, 50, 75, 100 | | | | kg |
| Rated Output | 2.0 ± 10% | | | | mV/V |
| Total Error* | 0.0300 | 0.0200 | 0.0200 | 0.0200 | ±% of Rated Output |
| Zero Return after 30 mins | 0.0500 | 0.0250 | 0.0170 | 0.0170 | ±% of Rated Output |
| Temperature Effect : On Output | 0.0030 | 0.0014 | 0.0010 | 0.0010 | ±% of Applied Load / °C |
| Temperature Effect : On Zero | 0.0100 | 0.0060 | 0.0040 | 0.0023 | ±% of Rated Output / °C |
| Eccentric Loading | 0.0085 | 0.0085 | 0.0057 | 0.0057 | ±% of Applied Load / cm |
| Zero Balance | 10.0 | | | | ±% of Rated Output |
| Temperature range : Operating | -30 to +70 | | | | °C |
| Temperature range : Compensated | -10 to +40 | | | | °C |
| Safe Overload | 150 | | | | % of Rated Capacity |
| Ultimate Overload | 300 | | | | % of Rated Capacity |
| Excitation: Recommended | 10 | | | | Volts AC or DC |
| Excitation: Maximum | 15 | | | | Volts AC or DC |
| Input Impedance | 415 ± 15 | | | | Ohms |
| Output Impedance | 350 ± 3 | | | | Ohms |
| Insulation Impedance | >2000 | | | | Mega Ohms |
| Deflection at Rated Capacity | <0.4 | | | | mm |
| Weight | 0.15 | | | | kg |
| Construction | Aluminum | | | | |
| Environmental Protection | IP66 | | | | |
| Cable | 0.5 Meter (Standard), 4 Wire, PVC, Single Floating Screen | | | | |
| Approvals | OIML R60 (Certificate TC 2792) and NTEP (Certificate 96 - 122) | | | | |

* Total Error - According to OIML R60 ** 85% utilization standard *** 50% min utilization. Consult factory for other utilization factors. C4 Grade also available.

Outline Dimensions All Capacities (in mm)



ANEXO B. Amplificador de Instrumentación AD620. (Analog Devices)



Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor
(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)
Higher Performance than Three Op Amp IA Designs
Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging
Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

50 μ V max, Input Offset Voltage
0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift
1.0 nA max, Input Bias Current
100 dB min Common-Mode Rejection Ratio (G = 10)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise
0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth (G = 100)
15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

Weigh Scales
ECG and Medical Instrumentation
Transducer Interface
Data Acquisition Systems
Industrial Process Controls
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

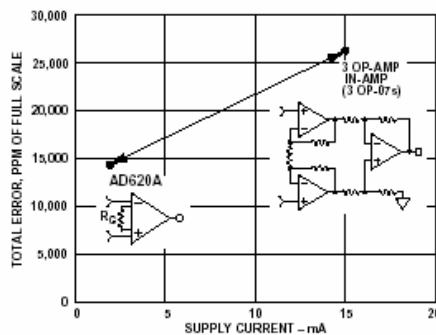


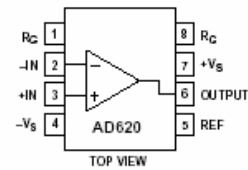
Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q)
and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Super β processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

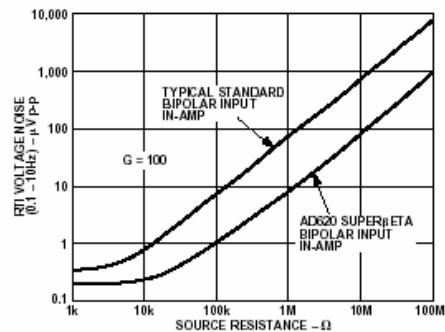


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

AD620—SPECIFICATIONS

(Typical @ +25°C, $V_S = \pm 15$ V, and $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted)

| Model | Conditions | AD620A | | | AD620B | | | AD620S ¹ | | | Units |
|--|---|--------------|----------|--------------|--------------|----------|--------------|---------------------|----------|--------------|----------------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| GAIN | $G = 1 + (49.4 \text{ k}/R_G)$ | | | | | | | | | | |
| Gain Range | $V_{OUT} = \pm 10$ V | 1 | | 10,000 | 1 | | 10,000 | 1 | | 10,000 | |
| Gain Error ² | | | | | | | | | | | |
| $G = 1$ | | | 0.03 | 0.10 | | 0.01 | 0.02 | | 0.03 | 0.10 | % |
| $G = 10$ | | | 0.15 | 0.30 | | 0.10 | 0.15 | | 0.15 | 0.30 | % |
| $G = 100$ | | | 0.15 | 0.30 | | 0.10 | 0.15 | | 0.15 | 0.30 | % |
| $G = 1000$ | | | 0.40 | 0.70 | | 0.35 | 0.50 | | 0.40 | 0.70 | % |
| Nonlinearity, $G = 1$ –1000 | $V_{OUT} = -10$ V to +10 V, $R_L = 10$ k Ω | | 10 | 40 | | 10 | 40 | | 10 | 40 | ppm |
| $G = 1$ –100 | $R_L = 2$ k Ω | | 10 | 95 | | 10 | 95 | | 10 | 95 | ppm |
| Gain vs. Temperature | $G = 1$ | | | 10 | | | 10 | | | 10 | ppm/°C |
| | Gain > 1 ² | | | -50 | | | -50 | | | -50 | ppm/°C |
| VOLTAGE OFFSET | (Total RTI Error = $V_{OS1} + V_{OS0}/G$) | | | | | | | | | | |
| Input Offset, V_{OS1} | $V_S = \pm 5$ V to ± 15 V | | 30 | 125 | | 15 | 50 | | 30 | 125 | μ V |
| Over Temperature | $V_S = \pm 5$ V to ± 15 V | | | 185 | | | 85 | | | 225 | μ V |
| Average TC | $V_S = \pm 5$ V to ± 15 V | | 0.3 | 1.0 | | 0.1 | 0.6 | | 0.3 | 1.0 | μ V/°C |
| Output Offset, V_{OS0} | $V_S = \pm 15$ V | | 400 | 1000 | | 200 | 500 | | 400 | 1000 | μ V |
| Over Temperature | $V_S = \pm 5$ V | | | 1500 | | | 750 | | | 1500 | μ V |
| Average TC | $V_S = \pm 5$ V to ± 15 V | | | 2000 | | | 1000 | | | 2000 | μ V |
| Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR) | $V_S = \pm 2.3$ V to ± 18 V | | | | | | | | | | |
| $G = 1$ | | 80 | | 100 | 80 | | 100 | 80 | | 100 | dB |
| $G = 10$ | | 95 | | 120 | 100 | | 120 | 95 | | 120 | dB |
| $G = 100$ | | 110 | | 140 | 120 | | 140 | 110 | | 140 | dB |
| $G = 1000$ | | 110 | | 140 | 120 | | 140 | 110 | | 140 | dB |
| INPUT CURRENT | | | | | | | | | | | |
| Input Bias Current | | | 0.5 | 2.0 | | 0.5 | 1.0 | | 0.5 | 2 | nA |
| Over Temperature | | | | 2.5 | | | 1.5 | | | 4 | nA |
| Average TC | | | 3.0 | | | 3.0 | | | 8.0 | | pA/°C |
| Input Offset Current | | | 0.3 | 1.0 | | 0.3 | 0.5 | | 0.3 | 1.0 | nA |
| Over Temperature | | | | 1.5 | | | 0.75 | | | 2.0 | nA |
| Average TC | | | 1.5 | | | 1.5 | | | 8.0 | | pA/°C |
| INPUT | | | | | | | | | | | |
| Input Impedance | | | | | | | | | | | |
| Differential | | | | 10 2 | | | 10 2 | | | 10 2 | G Ω pF |
| Common-Mode | | | | 10 2 | | | 10 2 | | | 10 2 | G Ω pF |
| Input Voltage Range ³ | $V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V | $-V_S + 1.9$ | | $+V_S - 1.2$ | $-V_S + 1.9$ | | $+V_S - 1.2$ | $-V_S + 1.9$ | | $+V_S - 1.2$ | V |
| Over Temperature | $V_S = \pm 5$ V to ± 18 V | $-V_S + 2.1$ | | $+V_S - 1.3$ | $-V_S + 2.1$ | | $+V_S - 1.3$ | $-V_S + 2.1$ | | $+V_S - 1.3$ | V |
| Over Temperature | | $-V_S + 1.9$ | | $+V_S - 1.4$ | $-V_S + 1.9$ | | $+V_S - 1.4$ | $-V_S + 1.9$ | | $+V_S - 1.4$ | V |
| Over Temperature | | $-V_S + 2.1$ | | $+V_S - 1.4$ | $-V_S + 2.1$ | | $+V_S - 1.4$ | $-V_S + 2.3$ | | $+V_S - 1.4$ | V |
| Common-Mode Rejection Ratio DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance | $V_{CM} = 0$ V to ± 10 V | | | | | | | | | | |
| $G = 1$ | | 73 | | 90 | 80 | | 90 | 73 | | 90 | dB |
| $G = 10$ | | 93 | | 110 | 100 | | 110 | 93 | | 110 | dB |
| $G = 100$ | | 110 | | 130 | 120 | | 130 | 110 | | 130 | dB |
| $G = 1000$ | | 110 | | 130 | 120 | | 130 | 110 | | 130 | dB |
| OUTPUT | | | | | | | | | | | |
| Output Swing | $R_L = 10$ k Ω , $V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V | $-V_S + 1.1$ | | $+V_S - 1.2$ | $-V_S + 1.1$ | | $+V_S - 1.2$ | $-V_S + 1.1$ | | $+V_S - 1.2$ | V |
| Over Temperature | | $-V_S + 1.4$ | | $+V_S - 1.3$ | $-V_S + 1.4$ | | $+V_S - 1.3$ | $-V_S + 1.6$ | | $+V_S - 1.3$ | V |
| Over Temperature | $V_S = \pm 5$ V to ± 18 V | $-V_S + 1.2$ | | $+V_S - 1.4$ | $-V_S + 1.2$ | | $+V_S - 1.4$ | $-V_S + 1.2$ | | $+V_S - 1.4$ | V |
| Over Temperature | | $-V_S + 1.6$ | | $+V_S - 1.5$ | $-V_S + 1.6$ | | $+V_S - 1.5$ | $-V_S + 2.3$ | | $+V_S - 1.5$ | V |
| Short Current Circuit | | | ± 18 | | | ± 18 | | | ± 18 | | mA |

AD620

| Model | Conditions | AD620A | | | AD620B | | | AD620S ¹ | | | Units | |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|---------------------|---------------|---------------|--------|---|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | | |
| DYNAMIC RESPONSE | | | | | | | | | | | | |
| Small Signal -3 dB Bandwidth | | | | | | | | | | | | |
| G = 1 | | | 1000 | | | 1000 | | | 1000 | | kHz | |
| G = 10 | | | 800 | | | 800 | | | 800 | | kHz | |
| G = 100 | | | 120 | | | 120 | | | 120 | | kHz | |
| G = 1000 | | | 12 | | | 12 | | | 12 | | kHz | |
| Slew Rate | | 0.75 | 1.2 | | 0.75 | 1.2 | | 0.75 | 1.2 | | V/μs | |
| Settling Time to 0.01% | 10 V Step | | | | | | | | | | | |
| G = 1-100 | | | 15 | | | 15 | | | 15 | | μs | |
| G = 1000 | | | 150 | | | 150 | | | 150 | | μs | |
| NOISE | | | | | | | | | | | | |
| Voltage Noise, 1 kHz | | $Total\ RTI\ Noise = \sqrt{(e_{ni}^2) + (e_{no}/G)^2}$ | | | | | | | | | | |
| Input, Voltage Noise, e_{ni} | | | 9 | 13 | | 9 | 13 | | 9 | 13 | nV/√Hz | |
| Output, Voltage Noise, e_{no} | | | 72 | 100 | | 72 | 100 | | 72 | 100 | nV/√Hz | |
| RTI, 0.1 Hz to 10 Hz | | | | | | | | | | | | |
| G = 1 | | | 3.0 | | | 3.0 | 6.0 | | 3.0 | 6.0 | μV p-p | |
| G = 10 | | | 0.55 | | | 0.55 | 0.8 | | 0.55 | 0.8 | μV p-p | |
| G = 100-1000 | | | 0.28 | | | 0.28 | 0.4 | | 0.28 | 0.4 | μV p-p | |
| Current Noise | f = 1 kHz | | 100 | | | 100 | | | 100 | | fA/√Hz | |
| 0.1 Hz to 10 Hz | | | 10 | | | 10 | | | 10 | | pA p-p | |
| REFERENCE INPUT | | | | | | | | | | | | |
| R_{IN} | | | 20 | | | 20 | | | 20 | | kΩ | |
| I_{IN} | $V_{IN+}, V_{REF} = 0$ | | +50 | +60 | | +50 | +60 | | +50 | +60 | μA | |
| Voltage Range | | | - $V_S + 1.6$ | + $V_S - 1.6$ | | - $V_S + 1.6$ | + $V_S - 1.6$ | | - $V_S + 1.6$ | + $V_S - 1.6$ | V | |
| Gain to Output | | | 1 ± 0.0001 | | | 1 ± 0.0001 | | | 1 ± 0.0001 | | | |
| POWER SUPPLY | | | | | | | | | | | | |
| Operating Range ⁴ | | ±2.3 | | ±18 | | ±2.3 | | ±18 | | ±2.3 | | V |
| Quiescent Current | $V_S = ±2.3\text{ V to }±18\text{ V}$ | | 0.9 | 1.3 | | 0.9 | 1.3 | | 0.9 | 1.3 | mA | |
| Over Temperature | | | 1.1 | 1.6 | | 1.1 | 1.6 | | 1.1 | 1.6 | mA | |
| TEMPERATURE RANGE | | | | | | | | | | | | |
| For Specified Performance | | | -40 to +85 | | | -40 to +85 | | | -55 to +125 | | °C | |

NOTES

¹See Analog Devices military data sheet for 883B tested specifications.

²Does not include effects of external resistor R_G .

³One input grounded, $G = 1$.

⁴This is defined as the same supply range which is used to specify PSR.

Specifications subject to change without notice.

AD620

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

| | |
|---|------------------------|
| Supply Voltage | ± 18 V |
| Internal Power Dissipation ² | 650 mW |
| Input Voltage (Common Mode) | ± V _S |
| Differential Input Voltage | ± 25 V |
| Output Short Circuit Duration | Indefinite |
| Storage Temperature Range (Q) | -65°C to +150°C |
| Storage Temperature Range (N, R) | -65°C to +125°C |
| Operating Temperature Range | |
| AD620 (A, B) | -40°C to +85°C |
| AD620 (S) | -55°C to +125°C |
| Lead Temperature Range | |
| (Soldering 10 seconds) | +300°C |

NOTES

¹Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

²Specification is for device in free air.

8-Lead Plastic Package: $\theta_{JA} = 95^{\circ}\text{C}/\text{W}$

8-Lead Cerdip Package: $\theta_{JA} = 110^{\circ}\text{C}/\text{W}$

8-Lead SOIC Package: $\theta_{JA} = 155^{\circ}\text{C}/\text{W}$

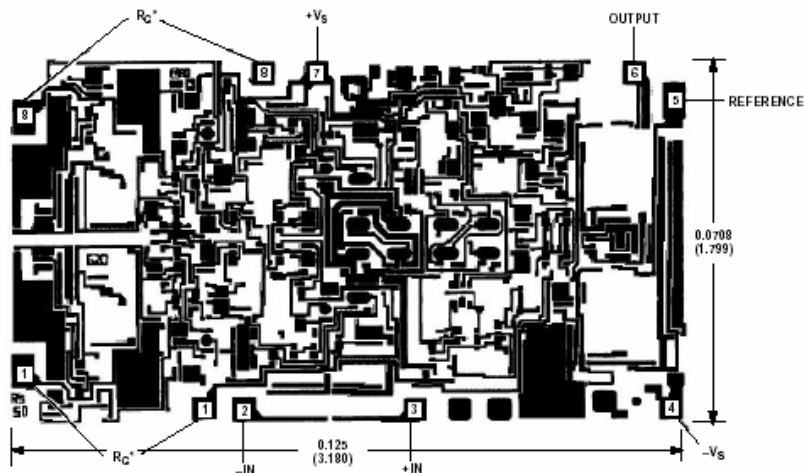
ORDERING GUIDE

| Model | Temperature Ranges | Package Options* |
|---------------|--------------------|------------------|
| AD620AN | -40°C to +85°C | N-8 |
| AD620BN | -40°C to +85°C | N-8 |
| AD620AR | -40°C to +85°C | SO-8 |
| AD620AR-REEL | -40°C to +85°C | 13" REEL |
| AD620AR-REEL7 | -40°C to +85°C | 7" REEL |
| AD620BR | -40°C to +85°C | SO-8 |
| AD620BR-REEL | -40°C to +85°C | 13" REEL |
| AD620BR-REEL7 | -40°C to +85°C | 7" REEL |
| AD620ACHIPS | -40°C to +85°C | Die Form |
| AD620SQ/883B | -55°C to +125°C | Q-8 |

*N = Plastic DIP; Q = Cerdip; SO = Small Outline.

METALIZATION PHOTOGRAPH

Dimensions shown in inches and (mm).
Contact factory for latest dimensions.



*FOR CHIP APPLICATIONS: THE PADS 1R_G AND 8R_G MUST BE CONNECTED IN PARALLEL TO THE EXTERNAL GAIN REGISTER R_G. DO NOT CONNECT THEM IN SERIES TO R_G. FOR UNITY GAIN APPLICATIONS WHERE R_G IS NOT REQUIRED, THE PADS 1R_G MAY SIMPLY BE BONDED TOGETHER, AS WELL AS THE PADS 8R_G.

CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the AD620 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



ANEXO C. Amplificador de precisión OP97 (Analog Devices)



Low-Power, High-Precision Operational Amplifier

OP97

FEATURES

- Low Supply Current: 600 μ A Max
- OP07 Type Performance
 - Offset Voltage: 20 μ V Max
 - Offset Voltage Drift: 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C Max
- Very Low Bias Current
 - 25 $^{\circ}$ C: 100 pA Max
 - 55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C: 250 pA Max
- High Common-Mode Rejection: 114 dB Min
- Extended Industrial Temperature Range: -40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C
- Available In Die Form

GENERAL DESCRIPTION

The OP97 is a low power alternative to the industry-standard OP07 precision amplifier. The OP97 maintains the standards of performance set by the OP07 while utilizing only 600 μ A supply current, less than 1/6 that of an OP07. Offset voltage is an ultralow 25 μ V, and drift over temperature is below 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C. External offset trimming is not required in the majority of circuits.

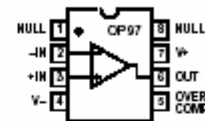
Improvements have been made over OP07 specifications in several areas. Notable is bias current, which remains below 250 pA over the full military temperature range. The OP97 is ideal for use in precision long-term integrators or sample-and-hold circuits that must operate at elevated temperatures.

Common-mode rejection and power supply rejection are also improved with the OP97, at 114 dB minimum over wider ranges of common-mode or supply voltage. Outstanding PSR, a supply range specified from ± 2.25 V to ± 20 V and the OP97's minimal power requirements combine to make the OP97 a preferred device for portable and battery-powered instruments.

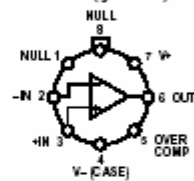
The OP97 conforms to the OP07 pinout, with the null potentiometer connected between Pins 1 and 8 with the wiper to V+. The OP97 will upgrade circuit designs using 725, OP05, OP07, OP12, and 1012 type amplifiers. It may replace 741-type amplifiers in circuits without nulling or where the nulling circuitry has been removed.

PIN CONNECTIONS

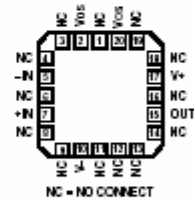
Epoxy Mini-DIP (P Suffix)
8-Pin Cerdip
(Z Suffix)
8-Pin SO (S Suffix)



TO-99 (J Suffix)



OP97ARC/ss3 LCC
(RC Suffix)



REV. D

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700
Fax: 781/326-8703

www.analog.com
© Analog Devices, Inc., 2002

OP97—SPECIFICATIONS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (@ $V_S = \pm 15\text{ V}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

| Parameter | Symbol | Conditions | OP97A/E | | | OP97F | | | Unit |
|------------------------------------|-----------------------------|--|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------------------------|
| | | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Input Offset Voltage | V_{OS} | | | 10 | 25 | | 30 | 75 | μV |
| Long-Term Offset Voltage Stability | $\Delta V_{OS}/\text{Time}$ | | | 0.3 | | | 0.3 | | $\mu\text{V}/\text{Month}$ |
| Input Offset Current | I_{OS} | | | 30 | 100 | | 30 | 150 | pA |
| Input Bias Current | I_B | | | ± 30 | ± 100 | | ± 30 | ± 150 | pA |
| Input Noise Voltage | e_n p-p | 0.1 Hz to 10 Hz | | 0.5 | | | 0.5 | | μV p-p |
| Input Noise Voltage Density | e_n | $f_0 = 10\text{ Hz}^2$ | | 17 | 30 | | 17 | 30 | $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ |
| | | $f_0 = 1000\text{ Hz}^3$ | | 14 | 22 | | 14 | 22 | $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ |
| | | $f_0 = 10\text{ Hz}$ | | 20 | | | 20 | | $\text{fV}/\sqrt{\text{Hz}}$ |
| Input Noise Current Density | i_n | | | | | | | | $\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$ |
| Large-Signal Voltage Gain | A_{VO} | $V_O = \pm 10\text{ V}$; $R_L = 2\text{ k}\Omega$ | 300 | 2000 | | 200 | 2000 | | V/mV |
| Common-Mode Rejection | CMR | $V_{CM} = \pm 13.5\text{ V}$ | 114 | 132 | | 110 | 132 | | dB |
| Power-Supply Rejection | PSR | $V_S = \pm 2\text{ V}$ to $\pm 20\text{ V}$ | 114 | 132 | | 110 | 132 | | dB |
| Input Voltage Range | IVR | (Note 1) | ± 13.5 | ± 14.0 | | ± 13.5 | ± 14.0 | | V |
| Output Voltage Swing | V_O | $R_L = 10\text{ k}\Omega$ | ± 13 | ± 14 | | ± 13 | ± 14 | | V |
| Slew Rate | SR | | 0.1 | 0.2 | | 0.1 | 0.2 | | $\text{V}/\mu\text{s}$ |
| Differential Input Resistance | R_{IN} | (Note 4) | 30 | | | 30 | | | $\text{M}\Omega$ |
| Closed-Loop Bandwidth | BW | $A_{VCL} = +1$ | 0.4 | 0.9 | | 0.4 | 0.9 | | MHz |
| Supply Current | I_{SY} | | | 380 | 600 | | 380 | 600 | μA |
| Supply Voltage | V_S | Operating Range | ± 2 | ± 15 | ± 20 | ± 2 | ± 15 | ± 20 | V |

NOTES

¹Guaranteed by CMR test.

²10 Hz noise voltage density is sample tested. Devices 100% tested for noise are available on request.

³Sample tested.

⁴Guaranteed by design.

Specifications subject to change without notice.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (@ $V_S = \pm 15\text{ V}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$, $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ for the OP97E/F and $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for the OP97A, unless otherwise noted.)

| Parameter | Symbol | Conditions | OP97A/E | | | OP97F | | | Unit |
|---|-------------------|---|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------------------------|
| | | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Input Offset Voltage | VOS | | | 25 | 60 | | 60 | 200 | μV |
| Average Temperature Coefficient of V_{OS} | TCV_{OS} | S-Package | | 0.2 | 0.6 | | 0.3 | 2.0 | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| Input Offset Current | I_{OS} | | | 60 | 250 | | 80 | 750 | pA |
| Average Temperature Coefficient of I_{OS} | TCI_{OS} | | | 0.4 | 2.5 | | 0.6 | 7.5 | $\text{pA}/^\circ\text{C}$ |
| Input Bias Current | I_B | | | ± 60 | ± 250 | | ± 80 | ± 750 | pA |
| Average Temperature Coefficient of I_B | TCI_B | | | 0.4 | 2.5 | | 0.6 | 7.5 | $\text{pA}/^\circ\text{C}$ |
| Large Signal Voltage Gain | A_{VO} | $V_O = +10\text{ V}$; $R_L = 2\text{ k}\Omega$ | 200 | 1000 | | 150 | 1000 | | V/mV |
| Common-Mode Rejection | CMR | $V_{CM} = \pm 13.5\text{ V}$ | 108 | 128 | | 108 | 128 | | dB |
| Power-Supply Rejection | PSR | $V_S = \pm 2.5\text{ V}$ to $\pm 20\text{ V}$ | 108 | 126 | | 108 | 128 | | dB |
| Input Voltage Range | IVR | (Note 1) | ± 13.5 | ± 14.0 | | ± 13.5 | ± 14.0 | | V |
| Output Voltage Swing | V_O | $R_L = 10\text{ k}\Omega$ | ± 13 | ± 14 | | ± 13 | ± 14 | | V |
| Slew Rate | SR | | 0.05 | 0.15 | | 0.05 | 0.15 | | $\text{V}/\mu\text{s}$ |
| Supply Current | I_{SY} | | | 400 | 800 | | 400 | 800 | μA |
| Supply Voltage | V_S | Operating Range | ± 2.5 | ± 15 | ± 20 | ± 2.5 | ± 15 | ± 20 | V |

NOTES

¹Guaranteed by CMR test.

Specifications subject to change without notice.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

| | |
|---|-----------------|
| Supply Voltage | ±20 V |
| Input Voltage ² | ±20 V |
| Differential Input Voltage ³ | ±1 V |
| Differential Input Current ³ | ±10 mA |
| Output Short-Circuit Duration | Indefinite |
| Operating Temperature Range | |
| OP97A (J, Z, RC) | -55°C to +125°C |
| OP97E, F (J, P, Z, S) | -40°C to +85°C |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |
| Junction Temperature Range | -65°C to +150°C |
| Lead Temperature (Soldering, 60 sec) | 300°C |

| Package Type | θ_{JA} ⁴ | θ_{JC} | Unit |
|-------------------------|----------------------------|---------------|------|
| TO-99 (J) | 150 | 18 | °C/W |
| 8-Lead Hermetic DIP (Z) | 148 | 16 | °C/W |
| 8-Lead Plastic DIP (P) | 103 | 43 | °C/W |
| 8-Lead SO (S) | 158 | 43 | °C/W |
| 20-Contact LCC (RC) | 98 | 98 | °C/W |

NOTES

- ¹Absolute maximum ratings apply to both DICE and packaged parts, unless otherwise noted.
- ²For supply voltages less than ±20 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
- ³The OP97's inputs are protected by back-to-back diodes. Current-limiting resistors are not used in order to achieve low noise. Differential input voltages greater than 1 V will cause excessive current to flow through the input protection diodes unless limiting resistance is used.
- ⁴ θ_{JA} is specified for worst case mounting conditions, i.e., θ_{JA} is specified for device in socket for TO, cerdip, and P-DIP packages; θ_{JA} is specified for device soldered to printed circuit board for SO package.

ORDERING GUIDE

| Model | Temperature Range | Package Option ¹ |
|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
| OP97AZ | -55°C to +125°C | 8-Pin Cerdip |
| OP97ARC/883 ² | -55°C to +125°C | 20-Contact LCC |
| OP97EJ | -40°C to +85°C | TO-99 |
| OP97EZ | -40°C to +85°C | 8-Pin Cerdip |
| OP97EP | -40°C to +85°C | 8-Pin Plastic DIP |
| OP97EJ | -40°C to +85°C | TO-99 |
| OP97FZ | -40°C to +85°C | 8-Pin Cerdip |
| OP97FP | -40°C to +85°C | 8-Pin Plastic DIP |
| OP97FS | -40°C to +85°C | 8-Pin SOIC |
| OP97FS-REEL | -40°C to +85°C | 8-Pin SOIC |
| OP97FS-REEL7 | -40°C to +85°C | 8-Pin SOIC |

NOTES

- ¹For outline information see Package Information section.
- ²For devices processed in total compliance to MIL-STD-883, add /883 after part number. Consult factory for /883 data sheet.

CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the OP97 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high-energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



ANEXO D. Conversor A/D Serial 16 bits AD677KN (Analog Devices)



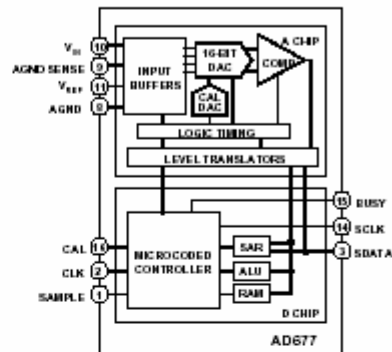
16-Bit 100 kSPS
Sampling ADC

AD677

FEATURES

- Autocalibrating
- On-Chip Sample-Hold Function
- Serial Output
- 16 Bits No Missing Codes
- ± 1 LSB INL
- 99 dB THD
- 92 dB S/(N+D)
- 1 MHz Full Power Bandwidth

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PRODUCT DESCRIPTION

The AD677 is a multipurpose 16-bit serial output analog-to-digital converter which utilizes a switched-capacitor/charge redistribution architecture to achieve a 100 kSPS conversion rate (10 μ s total conversion time). Overall performance is optimized by digitally correcting internal nonlinearities through on-chip autocalibration.

The AD677 circuitry is segmented onto two monolithic chips—a digital control chip fabricated on Analog Devices DSP CMOS process and an analog ADC chip fabricated on our BiMOS II process. Both chips are contained in a single package.

The AD677 is specified for ac (or "dynamic") parameters such as S/(N+D) Ratio, THD and IMD which are important in signal processing applications. In addition, dc parameters are specified which are important in measurement applications.

The AD677 operates from +5 V and ± 12 V supplies and typically consumes 450 mW using a 10 V reference (360 mW with 5 V reference) during conversion. The digital supply (V_{DD}) is separated from the analog supplies (V_{CC} , V_{REF}) for reduced digital crosstalk. An analog ground sense is provided to remotely sense the ground potential of the signal source. This can be useful if the signal has to be carried some distance to the A/D converter. Separate analog and digital grounds are also provided.

The AD677 is available in a 16-pin narrow plastic DIP, 16-pin narrow side-braced ceramic package, or 28-lead SOIC. A parallel output version, the AD676, is available in a 28-pin ceramic or plastic DIP. All models operate over a commercial temperature range of 0°C to +70°C or an industrial range of -40°C to +85°C.

REV. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. Autocalibration provides excellent dc performance while eliminating the need for user adjustments or additional external circuitry.
2. ± 5 V to ± 10 V input range ($\pm V_{REF}$).
3. Available in 16-pin 0.3" skinny DIP or 28-lead SOIC.
4. Easy serial interface to standard ADI DSPs.
5. TTL compatible inputs/outputs.
6. Excellent ac performance: -99 dB THD, 92 dB S/(N+D) peak spurious -101 dB.
7. Industry leading dc performance: 1.0 LSB INL, ± 1 LSB full scale and offset.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 617/329-4700 Fax: 617/326-8703

AD677—SPECIFICATIONS

AC SPECIFICATIONS (T_{MIN} to T_{MAX}, V_{CC} = +12 V ± 5%, V_{EE} = -12 V ± 5%, V_{IO} = +5 V ± 10%)¹

| Parameter | AD677J/A | | | AD677K/B | | | Units |
|---|----------|------|-----|----------|------|-----|--------|
| | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Total Harmonic Distortion (THD) ² | | | | | | | |
| @ 83 kSPS, T _{MIN} to T _{MAX} | | -97 | -92 | | -99 | -95 | dB |
| @ 100 kSPS, +25°C | | -97 | -92 | | -99 | -95 | dB |
| @ 100 kSPS, T _{MIN} to T _{MAX} | | -93 | | | -95 | | dB |
| Signal-to-Noise and Distortion Ratio (S/(N+D)) ^{2,3} | | | | | | | |
| @ 83 kSPS, T _{MIN} to T _{MAX} | 89 | 91 | | 90 | 92 | | dB |
| @ 100 kSPS, +25°C | 89 | 91 | | 90 | 92 | | dB |
| @ 100 kSPS, T _{MIN} to T _{MAX} | | 89 | | | 90 | | dB |
| Peak Spurious or Peak Harmonic Component | | -101 | | | -101 | | dB |
| Intermodulation Distortion (IMD) ⁴ | | | | | | | |
| 2nd Order Products | | -102 | | | -102 | | dB |
| 3rd Order Products | | -98 | | | -98 | | dB |
| Full Power Bandwidth | | 1 | | | 1 | | MHz |
| Noise | | 160 | | | 160 | | μV rms |

DIGITAL SPECIFICATIONS (for all grades T_{MIN} to T_{MAX}, V_{CC} = +12 V ± 5%, V_{EE} = -12 V ± 5%, V_{IO} = +5 V ± 10%)

| Parameter | Test Conditions | Min | Typ | Max | Units |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| LOGIC INPUTS | | | | | |
| V _{IH} | High Level Input Voltage | 2.0 | | V _{DD} + 0.3 | V |
| V _{IL} | Low Level Input Voltage | -0.3 | | 0.8 | V |
| I _{IH} | High Level Input Current | V _{IH} = V _{DD} | | +10 | μA |
| I _{IL} | Low Level Input Current | V _{IL} = 0 V | | +10 | μA |
| C _{IN} | Input Capacitance | | 10 | | pF |
| LOGIC OUTPUTS | | | | | |
| V _{OH} | High Level Output Voltage | I _{OH} = 0.1 mA | V _{DD} - 1 V | | V |
| | | I _{OH} = 0.5 mA | 2.4 | | V |
| V _{OL} | Low Level Output Voltage | I _{OL} = 1.6 mA | | 0.4 | V |

NOTES

¹V_{REF} = 10.0 V, Conversion Rate = 100 kSPS, f_{IN} = 1.0 kHz, V_{IN} = -0.05 dB, Bandwidth = 50 kHz unless otherwise indicated. All measurements referred to a 0 dB (20 V p-p) input signal. Values are post-calibration.

²For other input amplitudes, refer to Figure 12.

³For dynamic performance with different reference values see Figure 11.

⁴f_u = 1008 Hz, f_b = 1055 Hz. See Definition of Specifications section and Figure 16.

Specifications subject to change without notice.

DC SPECIFICATIONS (T_{MIN} to T_{MAX} , $V_{CC} = +12\text{ V} \pm 5\%$, $V_{EE} = -12\text{ V} \pm 5\%$, $V_{DD} = +5\text{ V} \pm 10\%$)¹

| Parameter | AD677J/A | | AD677K/B | | Units | | |
|--|----------|------|-------------|-----|-------------|------|-----|
| | Min | Typ | Max | Typ | | Max | |
| TEMPERATURE RANGE | | | | | | | |
| J, K Grades | 0 | | +70 | | +70 | °C | |
| A, B Grades | -40 | | +85 | | +85 | °C | |
| ACCURACY | | | | | | | |
| Resolution | 16 | | | 16 | | Bits | |
| Integral Nonlinearity (INL) | | | | | | | |
| @ 83 kSPS, T_{MIN} to T_{MAX} | | ±1 | | ±1 | ±1.5 | LSB | |
| @ 100 kSPS, +25°C | | ±1 | | ±1 | ±1.5 | LSB | |
| @ 100 kSPS, T_{MIN} to T_{MAX} | | ±2 | | ±2 | | LSB | |
| Differential Nonlinearity (DNL)—No Missing Codes | 16 | | | 16 | | Bits | |
| Bipolar Zero Error ² | | ±2 | ±4 | | ±1 | ±3 | LSB |
| Positive, Negative FS Errors ² | | | | | | | |
| @ 83 kSPS | | ±2 | ±4 | | ±1 | ±3 | LSB |
| @ 100 kSPS, +25°C | | ±2 | ±4 | | ±1 | ±3 | LSB |
| @ 100 kSPS | | ±4 | | | ±4 | | LSB |
| TEMPERATURE DRIFT ³ | | | | | | | |
| Bipolar Zero | | ±0.5 | | | ±0.5 | LSB | |
| Positive Full Scale | | ±0.5 | | | ±0.5 | LSB | |
| Negative Full Scale | | ±0.5 | | | ±0.5 | LSB | |
| VOLTAGE REFERENCE INPUT RANGE ⁴ (V_{REF}) | 5 | | 10 | | 10 | V | |
| ANALOG INPUT ⁵ | | | | | | | |
| Input Range (V_{IN}) | | | ± V_{REF} | | ± V_{REF} | V | |
| Input Impedance | | * | | | * | | |
| Input Settling Time | | 2 | | | 2 | µs | |
| Input Capacitance During Sample | | | 50* | | 50* | pF | |
| Aperture Delay | | 6 | | | 6 | ns | |
| Aperture Jitter | | 100 | | | 100 | ps | |
| POWER SUPPLIES | | | | | | | |
| Power Supply Rejection ⁶ | | | | | | | |
| $V_{CC} = +12\text{ V} \pm 5\%$ | | ±0.5 | | | ±0.5 | LSB | |
| $V_{EE} = -12\text{ V} \pm 5\%$ | | ±0.5 | | | ±0.5 | LSB | |
| $V_{DD} = +5\text{ V} \pm 10\%$ | | ±0.5 | | | ±0.5 | LSB | |
| Operating Current | | | | | | | |
| $V_{REF} = +5\text{ V}$ | | | | | | | |
| I_{CC} | | 14.5 | 18 | | 14.5 | 18 | mA |
| I_{EE} | | 14.5 | 18 | | 14.5 | 18 | -mA |
| I_{DD} | | 3 | 5 | | 3 | 5 | mA |
| Power Consumption | | 360 | 480 | | 360 | 480 | mW |
| $V_{REF} = +10\text{ V}$ | | | | | | | |
| I_{CC} | | 18 | 24 | | 18 | 24 | mA |
| I_{EE} | | 18 | 24 | | 18 | 24 | -mA |
| I_{DD} | | 3 | 5 | | 3 | 5 | mA |
| Power Consumption | | 450 | 630 | | 450 | 630 | mW |

NOTES

¹ $V_{REF} = 10.0\text{ V}$, Conversion Rate = 100 kSPS unless otherwise noted. Values are post-calibration.

²Values shown apply to any temperature from T_{MIN} to T_{MAX} after calibration at that temperature at nominal supplies.

³Values shown are based upon calibration at +25°C with no additional calibration at temperature. Values shown are the typical variation from the value at +25°C.

⁴See "APPLICATIONS" section for recommended voltage reference circuit, and Figure 11 for dynamic performance with other reference voltage values.

⁵See "APPLICATIONS" section for recommended input buffer circuit.

⁶Typical deviation of bipolar zero, -full scale or +full scale from min to max rating.

*For explanation of input characteristics, see "ANALOG INPUT" section.

Specifications subject to change without notice.

AD677

TIMING SPECIFICATIONS (T_{MIN} to T_{MAX}, V_{CC} = +12V ± 5%, V_{EE} = -12V ± 5%, V_{DD} = +5V ± 10%)¹

| Parameter | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---------------------------------------|-------------------|-----|-----|-------|------------------|
| Conversion Period ^{2,3} | t _c | 10 | | 1000 | μs |
| CLK Period ⁴ | t _{CLK} | 480 | | | ns |
| Calibration Time | t _{CT} | | | 85532 | t _{CLK} |
| Sampling Time | t _s | 2 | | | μs |
| Last CLK to SAMPLE Delay ⁵ | t _{LCS} | 2.1 | | | μs |
| SAMPLE Low | t _{SL} | 100 | | | ns |
| SAMPLE to Busy Delay | t _{SS} | | 30 | 75 | ns |
| 1st CLK Delay | t _{PCD} | 50 | | | ns |
| CLK Low ⁶ | t _{CL} | 50 | | | ns |
| CLK High ⁶ | t _{CH} | 50 | | | ns |
| CLK to BUSY Delay | t _{CB} | | 180 | 300 | ns |
| CLK to SDATA Valid | t _{CD} | 50 | 100 | 175 | ns |
| CLK to SCLK High | t _{CSH} | 100 | 180 | 300 | ns |
| SCLK Low | t _{SCL} | 50 | 80 | | ns |
| SDATA to SCLK High | t _{DSH} | 50 | 80 | | ns |
| CAL High Time | t _{CALH} | 50 | | | ns |
| CAL to BUSY Delay | t _{CALB} | | 15 | 50 | ns |

NOTES

¹See the "CONVERSION CONTROL" and "AUTOCALIBRATION" sections for detailed explanations of the above timing.

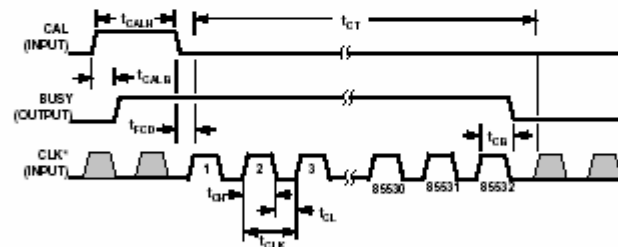
²Depends upon external clock frequency; includes acquisition time and conversion time. The maximum conversion period is specified to account for the droop of the internal samplehold function. Operation at slower rates may degrade performance.

³t_c = t_{PCD} + 16 × t_{CLK} + t_{LCS}

⁴380 ns is recommended for optimal accuracy over temperature (not necessary during calibration cycle).

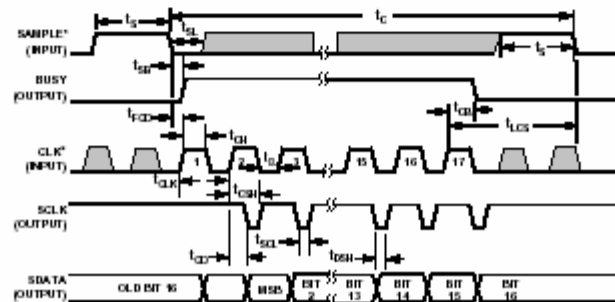
⁵If SAMPLE goes high before the 17th CLK pulse, the device will start sampling approximately 100 ns after the rising edge of the 17th CLK pulse.

⁶t_{CH} + t_{CL} = t_{CLK} and must be greater than 480 ns.



*SHADED PORTIONS OF INPUT SIGNALS ARE OPTIONAL. FOR BEST PERFORMANCE, WE RECOMMEND THAT THESE SIGNALS BE HELD LOW EXCEPT WHEN EXPLICITLY SHOWN HIGH.

Figure 1. Calibration Timing



*SHADED PORTIONS OF INPUT SIGNALS ARE OPTIONAL. FOR BEST PERFORMANCE, WE RECOMMEND THAT THESE SIGNALS BE HELD LOW EXCEPT WHEN EXPLICITLY SHOWN HIGH.

Figure 2. General Conversion Timing

ORDERING GUIDE

| Model | Temperature Range | S/(N+D) | Max INL | Package Description | Package Option* |
|---------|-------------------|---------|----------|----------------------|-----------------|
| AD677JN | 0°C to +70°C | 89 dB | Typ Only | Plastic 16-Pin DIP | N-16 |
| AD677KN | 0°C to +70°C | 90 dB | ±1.5 LSB | Plastic 16-Pin DIP | N-16 |
| AD677JD | 0°C to +70°C | 89 dB | Typ Only | Ceramic 16-Pin DIP | D-16 |
| AD677KD | 0°C to +70°C | 90 dB | ±1.5 LSB | Ceramic 16-Pin DIP | D-16 |
| AD677JR | 0°C to +70°C | 89 dB | Typ Only | Plastic 28-Lead SOIC | R-28 |
| AD677KR | 0°C to +70°C | 90 dB | ±1.5 LSB | Plastic 28-Lead SOIC | R-28 |
| AD677AD | -40°C to +85°C | 89 dB | Typ Only | Ceramic 16-Pin DIP | D-16 |
| AD677BD | -40°C to +85°C | 90 dB | ±1.5 LSB | Ceramic 16-Pin DIP | D-16 |

*D = Ceramic DIP; N = Plastic DIP; R = Small Outline IC (SOIC).

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

| | |
|--|--|
| V_{CC} to V_{EE} | -0.3 V to +26.4 V |
| V_{DD} to DGND | -0.3 V to +7 V |
| V_{CC} to AGND | -0.3 V to +18 V |
| V_{EE} to AGND | -18 V to +0.3 V |
| AGND to DGND | +0.3 V |
| Digital Inputs to DGND | 0 to +5.5 V |
| Analog Inputs, V_{REF} to AGND | ($V_{CC} + 0.3$ V) to ($V_{EE} - 0.3$ V) |
| Soldering | +300°C, 10 sec |
| Storage Temperature | -65°C to +150°C |

*Stresses greater than those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the AD677 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.

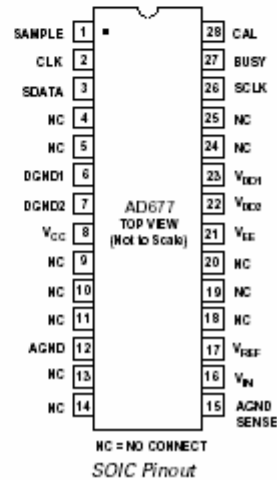
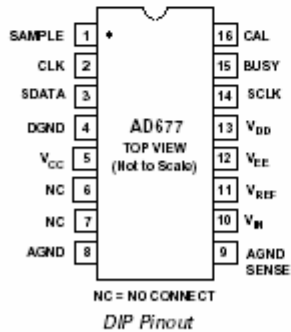


AD677

PIN DESCRIPTION

| DIP Pin | SOIC Pin | Type | Name | Description |
|---------|---|------------|------|--|
| 1 | 1 | SAMPLE | DI | V_{IN} Acquisition Control Pin. Active HIGH. During conversion, SAMPLE controls the suite of the internal sample-hold amplifier and the falling edge initiates conversion. During calibration, SAMPLE should be held LOW. If HIGH during calibration, diagnostic information will appear on SDATA. |
| 2 | 2 | CLK | DI | Master Clock Input. The AD677 requires 17 clock pulses to execute a conversion. CLK is also used to derive SCLK. |
| 3 | 3 | SDATA | DO | Serial Output Data. Controlled by SCLK. |
| 4 | 6, 7 | DGND | P | Digital Ground. |
| 5 | 8 | V_{CC} | P | +12 V Analog Supply Voltage. |
| 8 | 12 | AGND | P | Analog Ground. |
| 9 | 15 | AGND SENSE | AI | Analog Ground Sense. |
| 10 | 16 | V_{IN} | AI | Analog Input Voltage. |
| 11 | 17 | V_{REF} | AI | External Voltage Reference Input. |
| 12 | 21 | V_{EE} | P | -12 V Analog Supply Voltage. |
| 13 | 22, 23 | V_{DD} | P | +5 V Logic Supply Voltage. |
| 14 | 26 | SCLK | DO | Clock Output for Data Read, derived from CLK. |
| 15 | 27 | BUSY | DO | Status Line for Converter. Active HIGH, indicating a conversion or calibration in progress. |
| 16 | 28 | CAL | DI | Calibration Control Pin. |
| 6, 7 | 4, 5, 9, 10, 11, 13, 14, 18, 19, 20, 24, 25 | NC | - | No Connection. No connections should be made to these pins. |

Type: AI = Analog Input
 DI = Digital Input
 DO = Digital Output
 P = Power



AD677

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The AD677 is a multipurpose 16-bit analog-to-digital converter and includes circuitry which performs an input sample/hold function, ground sense, and autocalibration. These functions are segmented onto two monolithic chips—an analog signal processor and a digital controller. Both chips are contained within the AD677 package.

The AD677 employs a successive-approximation technique to determine the value of the analog input voltage. However, instead of the traditional laser-trimmed resistor-ladder approach, this device uses a capacitor-array, charge redistribution technique. Binary-weighted capacitors subdivide the input sample to perform the actual analog-to-digital conversion. The capacitor array eliminates variation in the linearity of the device due to temperature-induced mismatches of resistor values. Since a capacitor array is used to perform the data conversions, the sample/hold function is included without the need for additional external circuitry.

Initial errors in capacitor matching are eliminated by an autocalibration circuit within the AD677. This circuit employs an on-chip microcontroller and a calibration DAC to measure and compensate capacitor mismatch errors. As each error is determined, its value is stored in on-chip memory (RAM). Subsequent conversions use these RAM values to improve conversion accuracy. The autocalibration routine may be invoked at any time. Autocalibration insures high performance while eliminating the need for any user adjustments and is described in detail below.

The microcontroller controls all of the various functions within the AD677. These include the actual successive approximation algorithm, the autocalibration routine, the sample/hold operation, and the internal output data latch.

AUTO CALIBRATION

The AD677 achieves rated performance without the need for user trims or adjustments. This is accomplished through the use of on-chip autocalibration.

In the autocalibration sequence, sample/hold offset is nulled by internally connecting the input circuit to the ground sense circuit. The resulting offset voltage is measured and stored in RAM for later use. Next, the capacitor representing the most significant bit (MSB) is charged to the reference voltage. This charge is then transferred to a capacitor of equal size (composed of the sum of the remaining lower weight bits). The voltage that results represents the amount of capacitor mismatch. A calibration digital-to-analog converter (DAC) adds an appropriate value of error correction voltage to cancel this mismatch. This correction factor is also stored in RAM. This process is repeated for each of the eight remaining capacitors representing the top nine bits. The accumulated values in RAM are then used during subsequent conversions to adjust conversion results accordingly.

As shown in Figure 1, when CAL is taken HIGH the AD677 internal circuitry is reset, the BUSY pin is driven HIGH, and the ADC prepares for calibration. This is an asynchronous hardware reset and will interrupt any conversion or calibration currently in progress. Actual calibration begins when CAL is taken LOW and completes in 85,532 clock cycles, indicated by BUSY going LOW. During calibration, it is preferable for SAMPLE to be held LOW. If SAMPLE is HIGH, diagnostic data will appear on SDATA. This data is of no value to the user.

In most applications, it is sufficient to calibrate the AD677 only upon power-up, in which case care should be taken that the power supplies and voltage reference have stabilized first. If calibration is not performed, the AD677 may come up in an unknown state, or performance could degrade to as low as 10 bits.

CONVERSION CONTROL

The AD677 is controlled by two signals: SAMPLE and CLK, as shown in Figure 2. It is assumed that the part has been calibrated and the digital I/O pins have the levels shown at the start of the timing diagram.

A conversion consists of an input acquisition followed by 17 clock pulses which execute the 16-bit internal successive approximation routine. The analog input is acquired by taking the SAMPLE line HIGH for a minimum sampling time of t_S . The actual sample taken is the voltage present on V_{IN} one aperture delay after the SAMPLE line is brought LOW, assuming the previous conversion has completed (signified by BUSY going LOW). Care should be taken to ensure that this negative edge is well defined and jitter free in ac applications to reduce the uncertainty (noise) in signal acquisition. With SAMPLE going LOW, the AD677 commits itself to the conversion—the input at V_{IN} is disconnected from the internal capacitor array, BUSY goes HIGH, and the SAMPLE input will be ignored until the conversion is completed (when BUSY goes LOW). SAMPLE must be held LOW for a minimum period of time t_{SL} . A period of time t_{PCD} after bringing SAMPLE LOW, the 17 CLK cycles are applied; CLK pulses that start before this period of time are ignored. BUSY goes HIGH t_{SB} after SAMPLE goes LOW, signifying that a conversion is in process, and remains HIGH until the conversion is completed. As indicated in Figure 2, the two's complement output data is presented MSB first. This data may be captured with the rising edge of SCLK or the falling edge of CLK, beginning with pulse #2. The AD677 will ignore CLK after BUSY has gone LOW and SDATA or SCLK will not change until a new sample is acquired.

CONTINUOUS CONVERSION

For maximum throughput rate, the AD677 can be operated in a continuous convert mode. This is accomplished by utilizing the fact that SAMPLE will no longer be ignored after BUSY goes LOW, so an acquisition may be initiated even during the HIGH time of the 17th CLK pulse for maximum throughput rate while enabling full settling of the sample/hold circuitry. If SAMPLE is already HIGH during the rising edge of the 17th CLK, then an acquisition is immediately initiated approximately 100 ns after the rising edge of the 17th clock pulse.

Care must be taken to adhere to the minimum/maximum timing requirements in order to preserve conversion accuracy.

GENERAL CONVERSION GUIDELINES

During signal acquisition and conversion, care should be taken with the logic inputs to avoid digital feedthrough noise. It is possible to run CLK continuously, even during the sample period. However, CLK edges during the sampling period, and especially when SAMPLE goes LOW, may inject noise into the sampling process. The AD677 is tested with no CLK cycles during the sampling period. The BUSY signal can be used to prevent the clock from running during acquisition, as illustrated

in Figure 3. In this circuit BUSY is used to reset the circuitry which divides the system clock down to provide the AD677 CLK. This serves to interrupt the clock until after the input signal has been acquired, which has occurred when BUSY goes HIGH. When the conversion is completed and BUSY goes LOW, the circuit in Figure 3 truncates the 17th CLK pulse width which is tolerable because only its rising edge is critical.

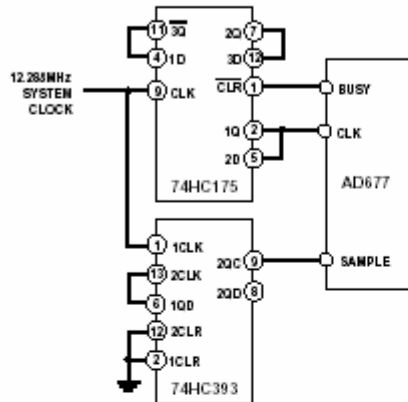


Figure 3.

Figure 3 also illustrates the use of a counter (74HC393) to derive the AD677 SAMPLE command from the system clock when a continuous convert mode is desirable. Pin 9 (2QC) provides a 9.6 kHz sample rate for the AD677 when used with a 12.288 MHz system clock. Alternately, Pin 8 (2QD) could be used for a 48 kHz rate.

If a continuous clock is used, then the user must avoid CLK edges at the instant of disconnecting V_{IN} which occurs at the falling edge of SAMPLE (see t_{FCD} specification). The duty cycle of CLK may vary, but both the HIGH (t_{CH}) and LOW (t_{CL}) phases must conform to those shown in the timing specifications. The internal comparator makes its decisions on the rising edge of CLK. To avoid a negative edge transition disturbing the comparator's settling, t_{CL} should be at least half the value of t_{CLK} . It is not recommended that the SAMPLE pin change state toward the end of a CLK cycle, in order to avoid transitions disturbing the internal comparator's settling.

During a conversion, internal dc error terms such as comparator voltage offset are sampled, stored on internal capacitors and used to correct for their corresponding errors when needed. Because these voltages are stored on capacitors, they are subject to leakage decay and so require refreshing. For this reason there is a maximum conversion time t_C (1000 μ s). From the time SAMPLE goes HIGH to the completion of the 17th CLK pulse, no more than 1000 μ s should elapse for specified performance. However, there is no restriction to the maximum time between individual conversions.

Output coding for the AD677 is twos complement as shown in Table I. The AD677 is designed to limit output coding in the event of out-of-range input.

Table I. Serial Output Coding Format (Twos Complement)

| V_{IN} | Output Code |
|---------------------|-------------|
| <Full Scale | 011 ... 11 |
| Full Scale | 011 ... 11 |
| Full Scale - 1 LSB | 011 ... 10 |
| Midscale + 1 LSB | 000 ... 01 |
| Midscale | 000 ... 00 |
| Midscale - 1 LSB | 111 ... 11 |
| -Full Scale + 1 LSB | 100 ... 01 |
| -Full Scale | 100 ... 00 |
| <-Full Scale | 100 ... 00 |

POWER SUPPLIES AND DECOUPLING

The AD677 has three power supply input pins. V_{CC} and V_{EE} provide the supply voltages to operate the analog portions of the AD677 including the capacitor DAC, input buffers and comparator. V_{DD} provides the supply voltage which operates the digital portions of the AD677 including the data output buffers and the autocalibration controller.

As with most high performance linear circuits, changes in the power supplies can produce undesired changes in the performance of the circuit. Optimally, well regulated power supplies with less than 1% ripple should be selected. The ac output impedance of a power supply is a complex function of frequency, and in general will increase with frequency. In other words, high frequency switching such as that encountered with digital circuitry requires fast transient currents which most power supplies cannot adequately provide. This results in voltage spikes on the supplies. If these spikes exceed the $\pm 5\%$ tolerance of the ± 12 V supplies or the $\pm 10\%$ limits of the +5 V supply, ADC performance will degrade. Additionally, spikes at frequencies higher than 100 kHz will also degrade performance. To compensate for the finite ac output impedance of the supplies, it is necessary to store "reserves" of charge in bypass capacitors. These capacitors can effectively lower the ac impedance presented to the AD677 power inputs which in turn will significantly reduce the magnitude of the voltage spikes. For bypassing to be effective, certain guidelines should be followed. Decoupling capacitors, typically 0.1 μ F, should be placed as closely as possible to each power supply pin of the AD677. It is essential that these capacitors be placed physically close to the IC to minimize the inductance of the PCB trace between the capacitor and the supply pin. The logic supply (V_{DD}) should be decoupled to digital common and the analog supplies (V_{CC} and V_{EE}) to analog common. The reference input is also considered as a power supply pin in this regard and the same decoupling procedures apply. These points are displayed in Figure 4.

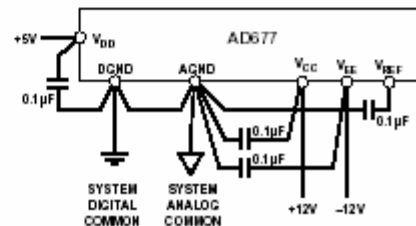


Figure 4. Grounding and Decoupling the AD677

AD677

Additionally, it is beneficial to have large capacitors ($>47\ \mu\text{F}$) located at the point where the power connects to the PCB with $10\ \mu\text{F}$ capacitors located in the vicinity of the ADC to further reduce low frequency ripple. In systems that will be subjected to particularly harsh environmental noise, additional decoupling may be necessary. RC-filtering on each power supply combined with dedicated voltage regulation can substantially decrease power supply ripple effects (this is further detailed in Figure 7).

BOARD LAYOUT

Designing with high resolution data converters requires careful attention to board layout. Trace impedance is a significant issue. A 1.22 mA current through a $0.5\ \Omega$ trace will develop a voltage drop of $0.6\ \text{mV}$, which is 4 LSBs at the 16-bit level for a 10 V full-scale span. In addition to ground drops, inductive and capacitive coupling need to be considered, especially when high accuracy analog signals share the same board with digital signals.

Analog and digital signals should not share a common return path. Each signal should have an appropriate analog or digital return routed close to it. Using this approach, signal loops enclose a small area, minimizing the inductive coupling of noise. Wide PC tracks, large gauge wire, and ground planes are highly recommended to provide low impedance signal paths. Separate analog and digital ground planes are also desirable, with a single interconnection point at the AD677 to minimize interference between analog and digital circuitry. Analog signals should be routed as far as possible from digital signals and should cross them, if at all, only at right angles. A solid analog ground plane around the AD677 will isolate it from large switching ground currents. For these reasons, the use of wire wrap circuit construction will not provide adequate performance; careful printed circuit board construction is preferred.

GROUNDING

The AD677 has three grounding pins, designated ANALOG GROUND (AGND), DIGITAL GROUND (DGND) and ANALOG GROUND SENSE (AGND SENSE). The analog ground pin is the "high quality" ground reference point for the device, and should be connected to the analog common point in the system.

AGND SENSE is intended to be connected to the input signal ground reference point. This allows for slight differences in level between the analog ground point in the system and the input signal ground point. However no more than $100\ \text{mV}$ is recommended between the AGND and the AGND SENSE pins for specified performance.

Using AGND SENSE to remotely sense the ground potential of the signal source can be useful if the signal has to be carried some distance to the A/D converter. Since all IC ground currents have to return to the power supply and no ground leads are free from resistance and inductance, there are always some voltage differences from one ground point in a system to another.

Over distance this voltage difference can easily amount to several LSBs (in a 10 V input span, 16-bit system each LSB is about $0.15\ \text{mV}$). This would directly corrupt the A/D input signal if the A/D measures its input with respect to power ground (AGND) as shown in Figure 5a. To solve this problem the AD677 offers an AGND SENSE pin. Figure 5b shows how the AGND SENSE can be used to eliminate the problem in Figure 5a. Figure 5b also shows how the signal wires should be

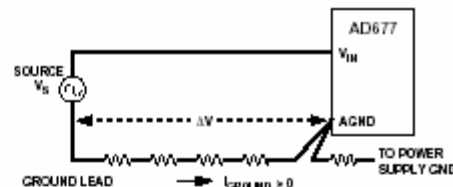


Figure 5a. Input to the A/D is Corrupted by IR Drop in Ground Leads: $V_{IN} = V_S + \Delta V$.

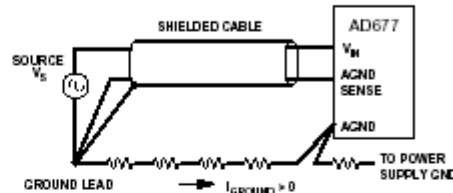


Figure 5b. AGND SENSE Eliminates the Problem in Figure 5a.

shielded in a noisy environment to avoid capacitive coupling. If inductive (magnetic) coupling is expected to be dominant such as where motors are present, twisted-pair wires should be used instead.

The digital ground pin is the reference point for all of the digital signals that operate the AD677. This pin should be connected to the digital common point in the system. As Figure 4 illustrated, the analog and digital grounds should be connected together at one point in the system, preferably at the AD677.

VOLTAGE REFERENCE

The AD677 requires the use of an external voltage reference. The input voltage range is determined by the value of the reference voltage; in general, a reference voltage of n volts allows an input range of $\pm n$ volts. The AD677 is specified for a voltage reference between $+5\ \text{V}$ and $+10\ \text{V}$. A $10\ \text{V}$ reference will typically require support circuitry operated from $\pm 15\ \text{V}$ supplies; a $5.0\ \text{V}$ reference may be used with $\pm 12\ \text{V}$ supplies. Signal-to-noise performance is increased proportionately with input signal range (see Figure 12). In the presence of a fixed amount of system noise, increasing the LSB size (which results from increasing the reference voltage) will increase the effective $S/(N+D)$ performance. Figure 11 illustrates $S/(N+D)$ as a function of reference voltage. In contrast, dc accuracy will be optimal at lower reference voltage values (such as $5\ \text{V}$) due to capacitor nonlinearity at higher voltage values.

During a conversion, the switched capacitor array of the AD677 presents a dynamically changing current load at the voltage reference as the successive-approximation algorithm cycles through various choices of capacitor weighting. (See the following section "Analog Input" for a detailed discussion of the V_{REF} input characteristics.) The output impedance of the reference circuitry must be low so that the output voltage will remain sufficiently constant as the current drive changes. In some applications, this may require that the output of the voltage reference be buffered by an amplifier with low impedance at relatively high frequencies. In choosing a voltage reference, consideration should be

made for selecting one with low noise. A capacitor connected between REF IN and AGND will reduce the demands on the reference by decreasing the magnitude of high frequency components required to be sourced by the reference.

Figures 6 and 7 represent typical design approaches.

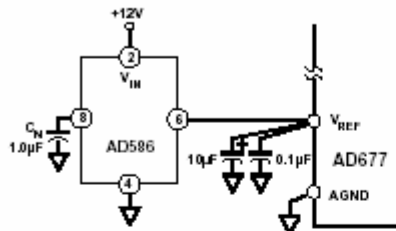


Figure 6.

Figure 6 shows a voltage reference circuit featuring the 5 V output AD586. The AD586 is a low cost reference which utilizes a buried Zener architecture to provide low noise and drift. Over the 0°C to +70°C range, the AD586M grade exhibits less than 1.0 mV output change from its initial value at +25°C. A noise reduction capacitor, C_{IN} , reduces the broadband noise of the AD586 output, thereby optimizing the overall performance of the AD677. It is recommended that a 10 μF to 47 μF high quality tantalum capacitor and a 0.1 μF capacitor be tied between the V_{REF} input of the AD677 and ground to minimize the impedance on the reference.

Using the AD677 with ± 10 V input range ($V_{REF} = 10$ V) typically requires ± 15 V supplies to drive op amps and the voltage reference. If ± 12 V is not available in the system, regulators such as 78L12 and 79L12 can be used to provide power for the AD677. This is also the recommended approach (for any input range) when the ADC system is subjected to harsh environments such as where the power supplies are noisy and where voltage spikes are present. Figure 7 shows an example of such a system based upon the 10 V AD587 reference, which provides a 300 μV LSB. Circuitry for additional protection against power supply disturbances has been shown. A 100 μF capacitor at each

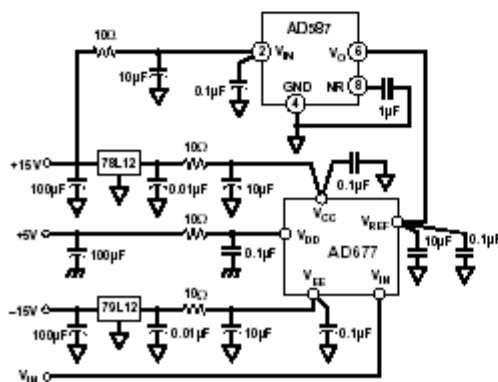


Figure 7.

regulator prevents very large voltage spikes from entering the regulators. Any power line noise which the regulators cannot eliminate will be further filtered by an RC filter (10 Ω /10 μF) having a -3 dB point at 1.6 kHz. For best results the regulators should be within a few centimeters of the AD677.

ANALOG INPUT

As previously discussed, the analog input voltage range for the AD677 is $\pm V_{REF}$. For purposes of ground drop and common mode rejection, the V_{IN} and V_{REF} inputs each have their own ground. V_{REF} is referred to the local analog system ground (AGND), and V_{IN} is referred to the analog ground sense pin (AGND SENSE) which allows a remote ground sense for the input signal.

The AD677 analog inputs (V_{IN} , V_{REF} and AGND SENSE) exhibit dynamic characteristics. When a conversion cycle begins, each analog input is connected to an internal, discharged 50 pF capacitor which then charges to the voltage present at the corresponding pin. The capacitor is disconnected when SAMPLE is taken LOW, and the stored charge is used in the subsequent conversion. In order to limit the demands placed on the external source by this high initial charging current, an internal buffer amplifier is employed between the input and this capacitance for a few hundred nanoseconds. During this time the input pin exhibits typically 20 k Ω input resistance, 10 pF input capacitance and ± 40 μA bias current. Next, the input is switched directly to the now precharged capacitor and allowed to fully settle. During this time the input sees only a 50 pF capacitor. Once the sample is taken, the input is internally floated so that the external input source sees a very high input resistance and a parasitic input capacitance of typically only 2 pF. As a result, the only dominant input characteristic which must be considered is the high current steps which occur when the internal buffers are switched in and out.

In most cases, these characteristics require the use of an external op amp to drive the input of the AD677. Care should be taken with op amp selection; even with modest loading conditions, most available op amps do not meet the low distortion requirements necessary to match the performance capabilities of the AD677. Figure 8 represents a circuit, based upon the AD845, which will provide excellent overall performance.

For applications optimized more for low distortion and low noise, the AD845 of Figure 8 may be replaced by the AD743.

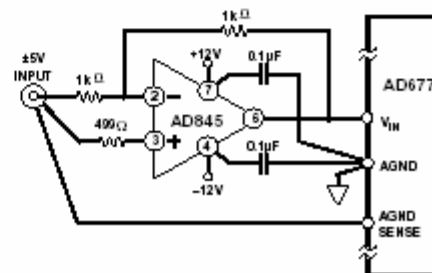


Figure 8.

ANEXO E. Microcontrolador PIC 16F877-20. (Microchip Technologies)



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

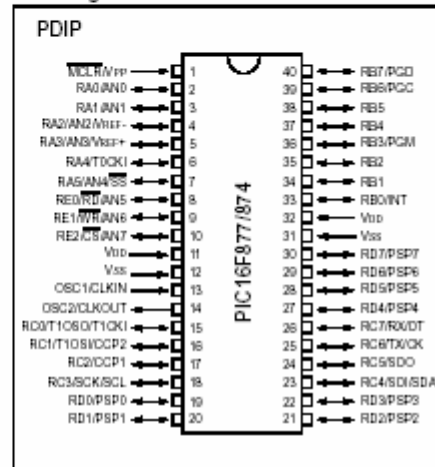
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/dock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

| Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023) | PIC16F873 | PIC16F874 | PIC16F876 | PIC16F877 |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Operating Frequency | DC - 20 MHz | DC - 20 MHz | DC - 20 MHz | DC - 20 MHz |
| RESETS (and Delays) | POR, BOR (PWRT, OST) | POR, BOR (PWRT, OST) | POR, BOR (PWRT, OST) | POR, BOR (PWRT, OST) |
| FLASH Program Memory (14-bit words) | 4K | 4K | 8K | 8K |
| Data Memory (bytes) | 192 | 192 | 368 | 368 |
| EEPROM Data Memory | 128 | 128 | 256 | 256 |
| Interrupts | 13 | 14 | 13 | 14 |
| I/O Ports | Ports A,B,C | Ports A,B,C,D,E | Ports A,B,C | Ports A,B,C,D,E |
| Timers | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Capture/Compare/PWM Modules | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Serial Communications | MSSP, USART | MSSP, USART | MSSP, USART | MSSP, USART |
| Parallel Communications | — | PSP | — | PSP |
| 10-bit Analog-to-Digital Module | 5 input channels | 8 input channels | 5 input channels | 8 input channels |
| Instruction Set | 35 instructions | 35 instructions | 35 instructions | 35 instructions |

PIC16F87X

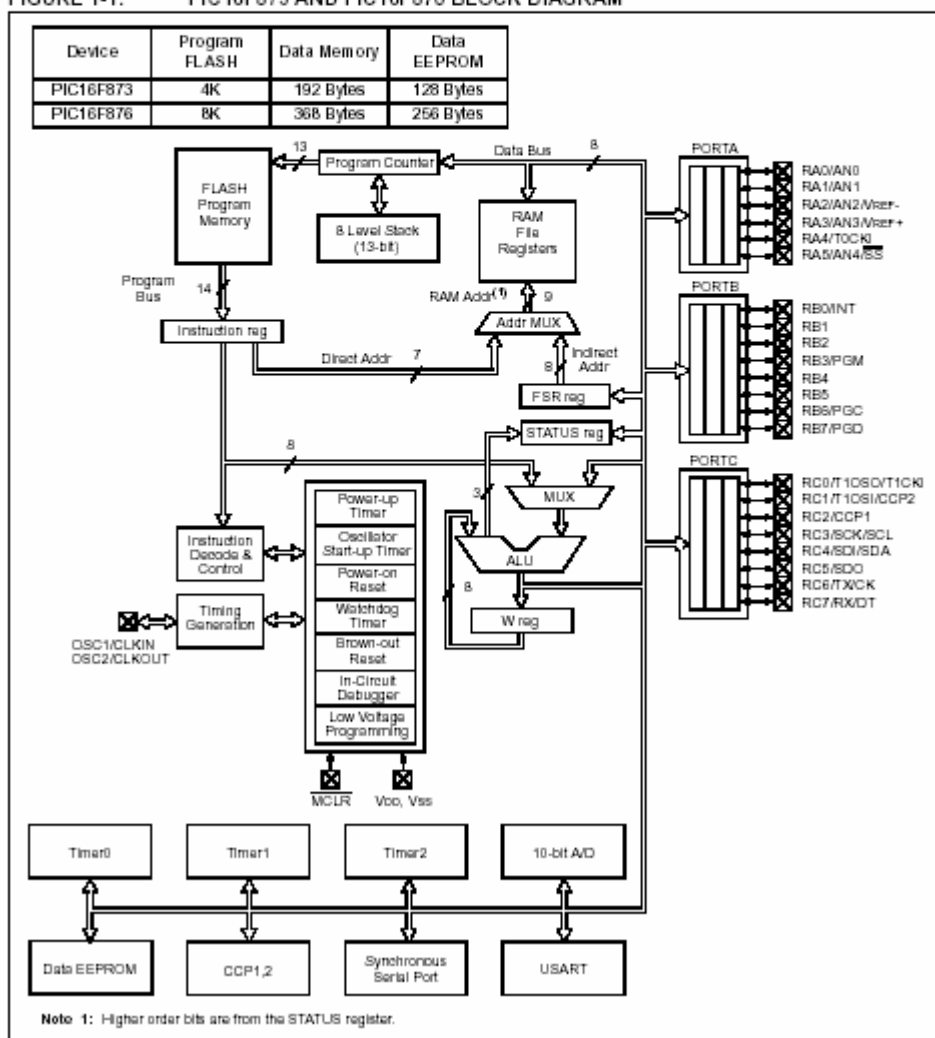
1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

There are four devices (PIC16F873, PIC16F874, PIC16F876 and PIC16F877) covered by this data sheet. The PIC16F876/873 devices come in 28-pin packages and the PIC16F877/874 devices come in 40-pin packages. The Parallel Slave Port is not implemented on the 28-pin devices.

The following device block diagrams are sorted by pin number; 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

| Pin Name | DIP Pin# | PLCC Pin# | QFP Pin# | I/O/P Type | Buffer Type | Description |
|---------------|----------|-----------|----------|------------|------------------------|---|
| OSC1/CLKIN | 13 | 14 | 30 | I | ST/CMOS ⁽⁴⁾ | Oscillator crystal input/external clock source input. |
| OSC2/CLKOUT | 14 | 15 | 31 | O | — | Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate. |
| MCLR/VPP | 1 | 2 | 18 | IP | ST | Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device. |
| RA0/AN0 | 2 | 3 | 19 | I/O | TTL | PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0. RA1 can also be analog input1. RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage. RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage. RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port. |
| RA1/AN1 | 3 | 4 | 20 | I/O | TTL | |
| RA2/AN2/VREF- | 4 | 5 | 21 | I/O | TTL | |
| RA3/AN3/VREF+ | 5 | 6 | 22 | I/O | TTL | |
| RA4/T0CKI | 6 | 7 | 23 | I/O | ST | |
| RA5/SS/AN4 | 7 | 8 | 24 | I/O | TTL | |
| RB0/INT | 33 | 36 | 8 | I/O | TTL/ST ⁽¹⁾ | PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin. RB3 can also be the low voltage programming input. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data. |
| RB1 | 34 | 37 | 9 | I/O | TTL | |
| RB2 | 35 | 38 | 10 | I/O | TTL | |
| RB3/PGM | 36 | 39 | 11 | I/O | TTL | |
| RB4 | 37 | 41 | 14 | I/O | TTL | |
| RB5 | 38 | 42 | 15 | I/O | TTL | |
| RB6/PGC | 39 | 43 | 16 | I/O | TTL/ST ⁽²⁾ | |
| RB7/PGD | 40 | 44 | 17 | I/O | TTL/ST ⁽²⁾ | |

Legend: I = Input O = output I/O = Input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger Input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

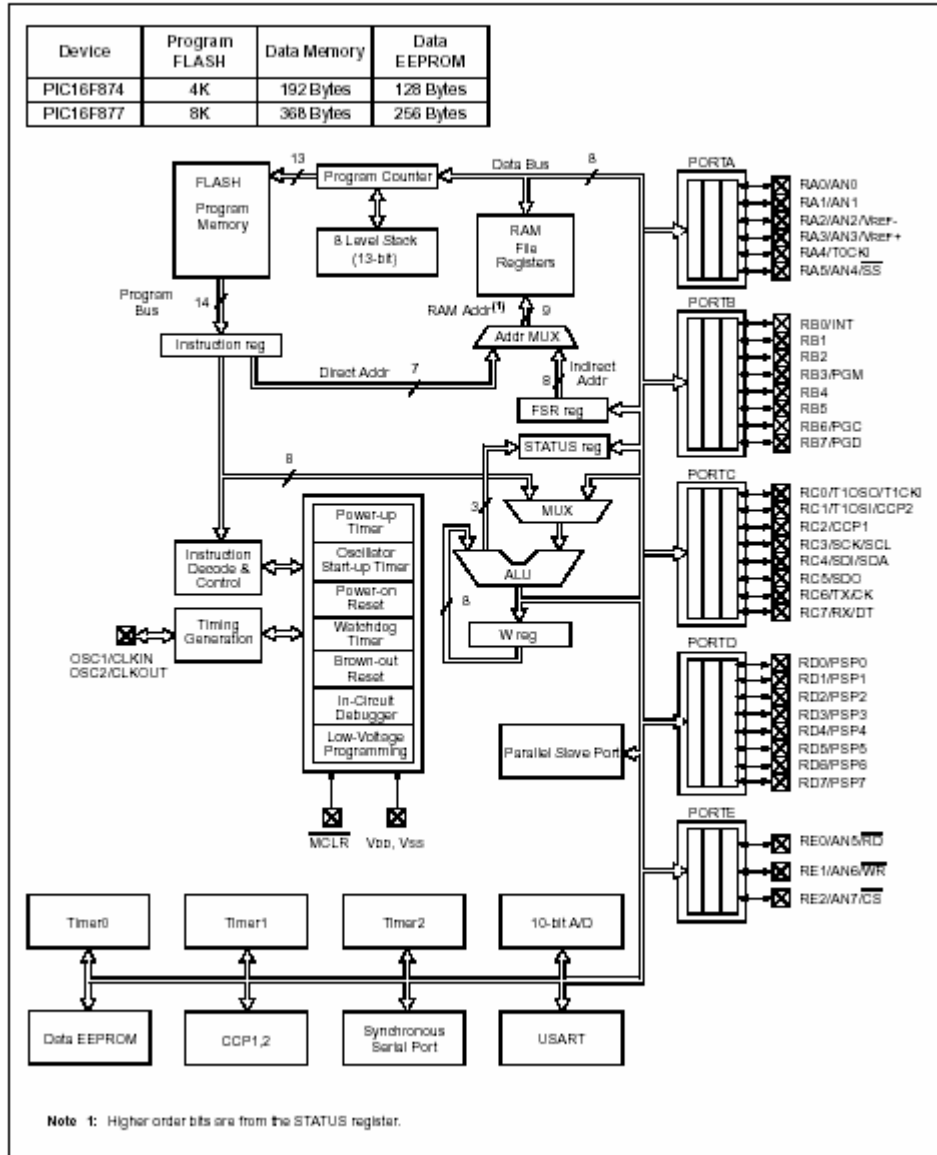
| Pin Name | DIP Pin# | PLCC Pin# | QFP Pin# | I/O/P Type | Buffer Type | Description |
|-----------------|----------|------------|-------------|------------|-----------------------|--|
| RC0/T1OSO/T1CKI | 15 | 16 | 32 | I/O | ST | PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input. |
| RC1/T1OSI/CCP2 | 16 | 18 | 35 | I/O | ST | RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. |
| RC2/CCP1 | 17 | 19 | 36 | I/O | ST | RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. |
| RC3/SCK/SCL | 18 | 20 | 37 | I/O | ST | RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes. |
| RC4/SDI/SDA | 23 | 25 | 42 | I/O | ST | RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode). |
| RC5/SDO | 24 | 26 | 43 | I/O | ST | RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode). |
| RC6/TX/CK | 25 | 27 | 44 | I/O | ST | RC6 can also be the USART Asynchronous Transmitt or Synchronous Clock. |
| RC7/RX/DT | 26 | 29 | 1 | I/O | ST | RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data. |
| RD0/PSP0 | 19 | 21 | 38 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus. |
| RD1/PSP1 | 20 | 22 | 39 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | |
| RD2/PSP2 | 21 | 23 | 40 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | |
| RD3/PSP3 | 22 | 24 | 41 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | |
| RD4/PSP4 | 27 | 30 | 2 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | |
| RD5/PSP5 | 28 | 31 | 3 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | |
| RD6/PSP6 | 29 | 32 | 4 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | |
| RD7/PSP7 | 30 | 33 | 5 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | |
| RE0/RD/AN5 | 8 | 9 | 25 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. |
| RE1/WR/AN6 | 9 | 10 | 26 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | |
| RE2/CS/AN7 | 10 | 11 | 27 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | |
| V _{SS} | 12,31 | 13,34 | 6,29 | P | — | Ground reference for logic and I/O pins. |
| V _{DD} | 11,32 | 12,35 | 7,28 | P | — | Positive supply for logic and I/O pins. |
| NC | — | 1,17,28,40 | 12,13,33,34 | — | — | These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected. |

Legend: I = Input O = output I/O = Input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

FIGURE 2-3: PIC16F877/876 REGISTER FILE MAP

| File Address | File Address | File Address | File Address |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Indirect addr. ⁽¹⁾ 00h | Indirect addr. ⁽¹⁾ 80h | Indirect addr. ⁽¹⁾ 100h | Indirect addr. ⁽¹⁾ 180h |
| TMR0 01h | OPTION_REG 81h | TMR0 101h | OPTION_REG 181h |
| PCL 02h | PCL 82h | PCL 102h | PCL 182h |
| STATUS 03h | STATUS 83h | STATUS 103h | STATUS 183h |
| FSR 04h | FSR 84h | FSR 104h | FSR 184h |
| PORTA 05h | TRISA 85h | 105h | 185h |
| PORTB 06h | TRISB 86h | PORTB 106h | TRISB 186h |
| PORTC 07h | TRISC 87h | 107h | 187h |
| PORTD ⁽¹⁾ 08h | TRISD ⁽¹⁾ 88h | 108h | 188h |
| PORTE ⁽¹⁾ 09h | TRISE ⁽¹⁾ 89h | 109h | 189h |
| PCLATH 0Ah | PCLATH 8Ah | PCLATH 10Ah | PCLATH 18Ah |
| INTCON 0Bh | INTCON 8Bh | INTCON 10Bh | INTCON 18Bh |
| PIR1 0Ch | PIE1 8Ch | EEDATA 10Ch | EECON1 18Ch |
| PIR2 0Dh | PIE2 8Dh | EEADR 10Dh | EECON2 18Dh |
| TMR1L 0Eh | PCON 8Eh | EEDATH 10Eh | Reserved ⁽²⁾ 18Eh |
| TMR1H 0Fh | 8Fh | EEADRH 10Fh | Reserved ⁽²⁾ 18Fh |
| T1CON 10h | 90h | 110h | 190h |
| TMR2 11h | SSPCON2 91h | 111h | 191h |
| T2CON 12h | PR2 92h | 112h | 192h |
| SSPBUF 13h | SSPADD 93h | 113h | 193h |
| SSPCON 14h | SSPSTAT 94h | 114h | 194h |
| CCPR1L 15h | 95h | 115h | 195h |
| CCPR1H 16h | 96h | 116h | 196h |
| CCP1CON 17h | 97h | General Purpose Register 16 Bytes 117h | General Purpose Register 16 Bytes 197h |
| RCSTA 18h | TXSTA 98h | 118h | 198h |
| TXREG 19h | SPBRG 99h | 119h | 199h |
| RCREG 1Ah | 9Ah | 11Ah | 19Ah |
| CCPR2L 1Bh | 9Bh | 11Bh | 19Bh |
| CCPR2H 1Ch | 9Ch | 11Ch | 19Ch |
| CCP2CON 1Dh | 9Dh | 11Dh | 19Dh |
| ADRESH 1Eh | ADRESL 9Eh | 11Eh | 19Eh |
| ADCON0 1Fh | ADCON1 9Fh | 11Fh | 19Fh |
| 20h | A0h | 120h | 1A0h |
| General Purpose Register 96 Bytes | General Purpose Register 80 Bytes | General Purpose Register 80 Bytes | General Purpose Register 80 Bytes |
| 7Fh | EFh | 16Fh | 1EFh |
| | accesses 70h-7Fh | accesses 70h-7Fh | accesses 70h - 7Fh |
| Bank 0 | Bank 1 | Bank 2 | Bank 3 |

Unimplemented data memory locations, read as '0'.
 * Not a physical register.

Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F876.
 Note 2: These registers are reserved, maintain these registers clear.

ANEXO F. Memoria EEPROM Serial 24LC64 (Microchip Technologies)



24AA64/24LC64

64K I²C™ Serial EEPROM

Device Selection Table

| Part Number | VCC Range | Max Clock Frequency | Temp Ranges |
|-------------|-----------|------------------------|-------------|
| 24AA64 | 1.8-5.5 | 400 kHz ⁽¹⁾ | I |
| 24LC64 | 2.5-5.5 | 400 kHz | I, E |

Note 1: 100 kHz for VCC <2.5V

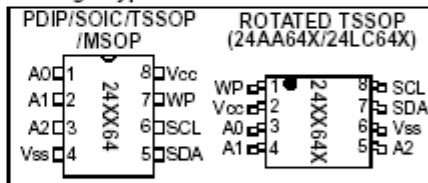
Features

- Single supply with operation down to 1.8V
- Low-power CMOS technology
 - 1 mA active current typical
 - 1 µA standby current (max.) (I-temp)
- Organized as 8 blocks of 8K bit (64K bit)
- 2-wire serial interface bus, I²C™ compatible
- Cascadable for up to eight devices
- Schmitt Trigger inputs for noise suppression
- Output slope control to eliminate ground bounce
- 100 kHz (24AA64) and 400 kHz (24LC64) compatibility
- Self-timed write cycle (including auto-erase)
- Page write buffer for up to 32 bytes
- 2 ms typical write cycle time for page write
- Hardware write-protect for entire memory
- Can be operated as a serial ROM
- Factory programming (QTP) available
- ESD protection > 4,000V
- 1,000,000 erase/write cycles
- Data retention > 200 years
- 8-lead PDIP, SOIC, TSSOP and MSOP packages
- Standard and Pb-free finishes available
- Available temperature ranges:
 - Industrial (I): -40°C to +85°C
 - Automotive (E): -40°C to +125°C

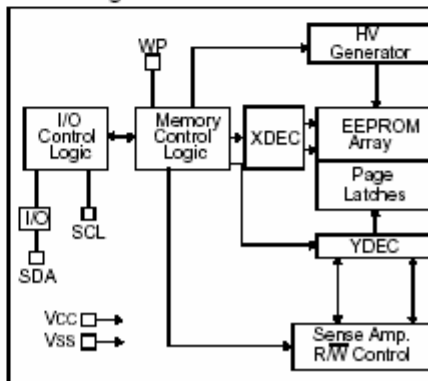
Description

The Microchip Technology Inc. 24AA64/24LC64 (24XX64*) is a 64 Kbit Electrically Erasable PROM. The device is organized as eight blocks of 1K x 8-bit memory with a 2-wire serial interface. Low-voltage design permits operation down to 1.8V, with standby and active currents of only 1µA and 1mA, respectively. It has been developed for advanced, low-power applications such as personal communications or data acquisition. The 24XX64 also has a page write capability for up to 32 bytes of data. Functional address lines allow up to eight devices on the same bus, for up to 512 Kbits address space. The 24XX64 is available in the standard 8-pin PDIP, surface mount SOIC, TSSOP and MSOP packages.

Package Types



Block Diagram



24AA64/24LC64

TABLE 1-2: AC CHARACTERISTICS

| AC CHARACTERISTICS | | | V _{CC} = +1.8V to +5.5V Industrial (I): TA = -40°C to +85°C Automotive (E): TA = -40°C to +125°C | | | |
|--------------------|-----------------|--|---|-------------|--------|---|
| Param. No. | Sym | Characteristic | Min | Max | Units | Conditions |
| 1 | FCLK | Clock frequency | — — | 400 100 | kHz | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 2 | THIGH | Clock high time | 600 4000 | — — | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 3 | TLOW | Clock low time | 1300 4700 | — — | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 4 | TR | SDA and SCL rise time (Note 1) | — — | 300 1000 | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 5 | TF | SDA and SCL fall time | — | 300 | ns | (Note 1) |
| 6 | THD:STA | Start condition hold time | 600 4000 | — — | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 7 | TSU:STA | Start condition setup time | 600 4700 | — — | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 8 | THD:DAT | Data input hold time | 0 | — | ns | (Note 2) |
| 9 | TSU:DAT | Data input setup time | 100 250 | — — | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 10 | TSU:STO | Stop condition setup time | 600 4000 | — — | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 11 | TAA | Output valid from dock (Note 2) | — — | 900 3500 | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 12 | TBUF | Bus free time: Time the bus must be free before a new transmission can start | 1300 4700 | — — | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 13 | T _{0F} | Output fall time from V _{IH} minimum to V _{IL} maximum | 20+0.1CB — | 250 250 | ns | 2.5V ≤ V _{CC} ≤ 5.5V 1.8V ≤ V _{CC} < 2.5V (24AA64) |
| 14 | TSP | Input filter spike suppression (SDA and SCL pins) | — | 50 | ns | (Notes 1 and 3) |
| 15 | TWC | Write cycle time (byte or page) | — | 5 | ms | — |
| 16 | — | Endurance | 1M | — | cycles | 25°C, (Note 4) |

Note 1: Not 100% tested. CB = total capacitance of one bus line in pF.

- As a transmitter, the device must provide an internal minimum delay time to bridge the undefined region (minimum 300 ns) of the falling edge of SCL to avoid unintended generation of Start or Stop conditions.
- The combined TSP and V_{HYS} specifications are due to new Schmitt Trigger inputs which provide improved noise spike suppression. This eliminates the need for a T₁ specification for standard operation.
- This parameter is not tested but ensured by characterization. For endurance estimates in a specific application, please consult the Total Endurance™ Model which can be obtained from Microchip's web site: www.microchip.com.

24AA64/24LC64

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings (†)

| | |
|---|--------------------------------|
| V _{CC} | 6.5V |
| All inputs and outputs w.r.t. V _{SS} | -0.3V to V _{CC} +1.0V |
| Storage temperature..... | -65°C to +150°C |
| Ambient temperature with power applied..... | -65°C to +125°C |
| ESD protection on all pins..... | ≥ 4 kV |

† NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

TABLE 1-1: DC CHARACTERISTICS

| DC CHARACTERISTICS | | V _{CC} = +1.8V to +5.5V Industrial (I): TA = -40°C to +85°C Automotive (E): TA = -40°C to +125°C | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|---|----------------------|------|---------------------|-------|---|
| Param. No. | Sym | Characteristic | Min | Typ | Max | Units | Conditions |
| D1 | V _{IH} | WP, SCL and SDA pins | — | — | — | — | — |
| D2 | — | High-level input voltage | 0.7 V _{CC} | — | — | V | — |
| D3 | V _{IL} | Low-level input voltage | — | — | 0.3 V _{CC} | V | — |
| D4 | V _{HYS} | Hysteresis of Schmitt Trigger inputs | 0.05 V _{CC} | — | — | V | (Note 1) |
| D5 | V _{OL} | Low-level output voltage | — | — | 0.40 | V | I _{OL} = 3.0 mA, V _{CC} = 2.5V |
| D6 | I _{LI} | Input leakage current | — | — | ±1 | µA | V _{IN} = .1V to V _{CC} |
| D7 | I _{LO} | Output leakage current | — | — | ±1 | µA | V _{OUT} = .1V to V _{CC} |
| D8 | C _{IN} , C _{OUT} | Pin capacitance (all inputs/outputs) | — | — | 10 | pF | V _{CC} = 5.0V (Note 1) TA = 25°C, F _{CLK} = 1 MHz |
| D9 | I _{CC} write | Operating current | — | 0.1 | 3 | mA | V _{CC} = 5.5V, SCL = 400 kHz |
| D10 | I _{CC} read | | — | 0.05 | 1 | mA | |
| D11 | I _{CCS} | Standby current | — | .01 | 1 | µA | Industrial Automotive SDA = SCL = V _{CC} WP = V _{SS} |
| | | | — | — | 5 | µA | |

Note 1: This parameter is periodically sampled and not 100% tested.

2: Typical measurements taken at room temperature.

24AA64/24LC64

FIGURE 1-1: BUS TIMING DATA

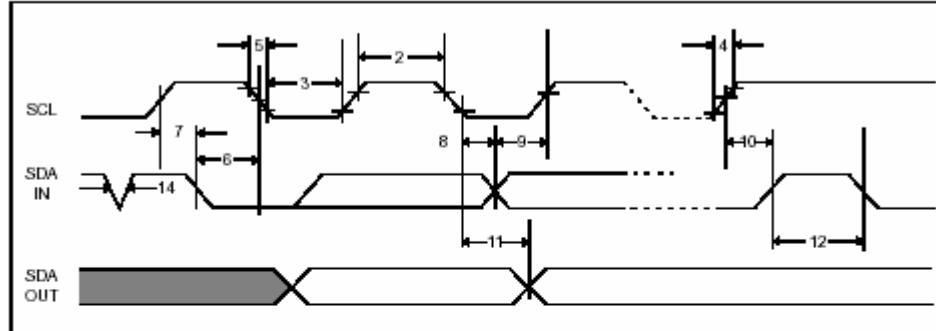
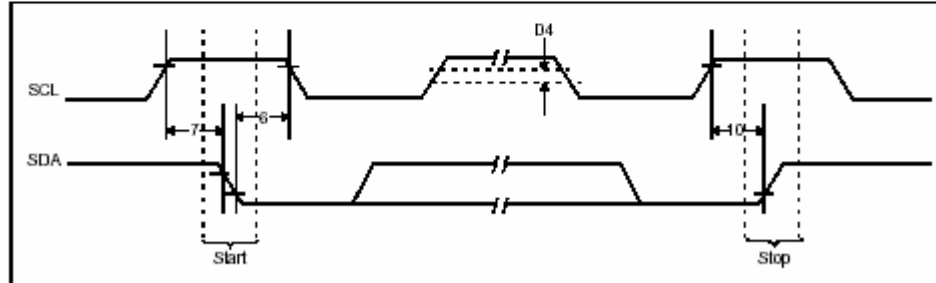


FIGURE 1-2: BUS TIMING START/STOP



2.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

The 24XX64 supports a bidirectional, 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as transmitter, while a device receiving data is defined as a receiver. The bus has to be controlled by a master device which generates the serial clock (SCL), controls the bus access and generates the Start and Stop conditions, while the 24XX64 works as slave. Both master and slave can operate as transmitter or receiver, but the master device determines which mode is activated.

3.0 BUS CHARACTERISTICS

The following bus protocol has been defined:

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is high. Changes in the data line while the clock line is high will be interpreted as a Start or Stop condition

Accordingly, the following bus conditions have been defined (Figure 3-1).

3.1 Bus not Busy (A)

Both data and clock lines remain high.

3.2 Start Data Transfer (B)

A high-to-low transition of the SDA line while the clock (SCL) is high determines a Start condition. All commands must be preceded by a Start condition.

3.3 Stop Data Transfer (C)

A low-to-high transition of the SDA line while the clock (SCL) is high determines a Stop condition. All operations must be ended with a Stop condition.

3.4 Data Valid (D)

The state of the data line represents valid data when, after a Start condition, the data line is stable for the duration of the high period of the clock signal.

The data on the line must be changed during the low period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

Each data transfer is initiated with a Start condition and terminated with a Stop condition. The number of data bytes transferred between Start and Stop conditions is determined by the master device and is, theoretically, unlimited (although only the last thirty two will be stored when doing a write operation). When an overwrite does occur, it will replace data in a first-in first-out (FIFO) fashion.

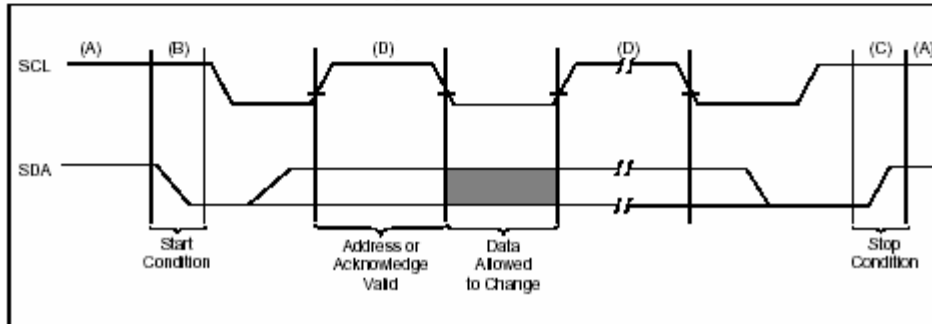
3.5 Acknowledge

Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with this Acknowledge bit.

Note: The 24XX64 does not generate any Acknowledge bits if an internal programming cycle is in progress.

The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the Acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable low during the high period of the acknowledge related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. During reads, a master must signal an end of data to the slave by not generating an Acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave (24XX64) will leave the data line high to enable the master to generate the Stop condition.

FIGURE 3-1: DATA TRANSFER SEQUENCE ON THE SERIAL BUS



24AA64/24LC64

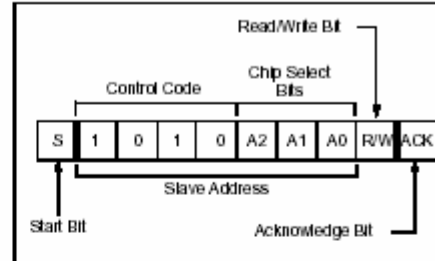
3.6 Device Addressing

A control byte is the first byte received following the Start condition from the master device (Figure 3-2). The control byte consists of a four-bit control code. For the 24XX64, this is set as '1010' binary for read and write operations. The next three bits of the control byte are the Chip Select bits (A2, A1, A0). The Chip Select bits allow the use of up to eight 24XX64 devices on the same bus and are used to select which device is accessed. The Chip Select bits in the control byte must correspond to the logic levels on the corresponding A2, A1 and A0 pins for the device to respond. These bits are, in effect, the three Most Significant bits of the word address.

The last bit of the control byte defines the operation to be performed. When set to a '1', a read operation is selected. When set to a '0', a write operation is selected. The next two bytes received define the address of the first data byte (Figure 3-3). Because only A12...A0 are used, the upper-three address bits are don't care bits. The upper-address bits are transferred first, followed by the less significant bits.

Following the Start condition, the 24XX64 monitors the SDA bus, checking the device-type identifier being transmitted. Upon receiving a '1010' code and appropriate device-select bits, the slave device outputs an Acknowledge signal on the SDA line. Depending on the state of the R/W bit, the 24XX64 will select a read or write operation.

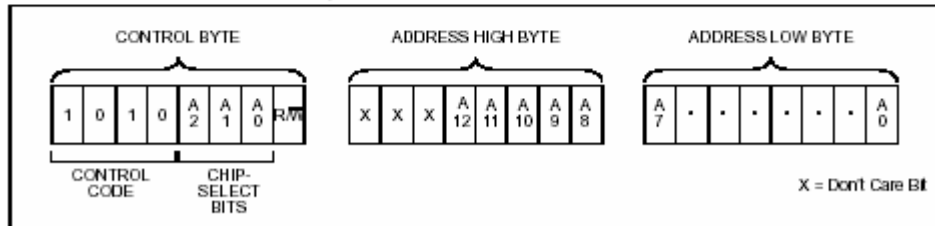
FIGURE 3-2: CONTROL BYTE FORMAT



3.7 Contiguous Addressing Across Multiple Devices

The Chip Select bits A2, A1 and A0 can be used to expand the contiguous address space for up to 512K bits by adding up to eight 24XX64's on the same bus. In this case, software can use A0 of the control byte as address bit A13, A1 as address bit A14 and A2 as address bit A15. It is not possible to sequentially read across device boundaries.

FIGURE 3-3: ADDRESS SEQUENCE BIT ASSIGNMENTS



4.0 WRITE OPERATIONS

4.1 Byte Write

Following the Start condition from the master, the control code (four bits), the Chip Select (three bits) and the R/W bit (which is a logic low) are clocked onto the bus by the master transmitter. This indicates to the addressed slave receiver that the address high byte will follow once it has generated an Acknowledge bit during the ninth clock cycle. Therefore, the next byte transmitted by the master is the high-order byte of the word address and will be written into the address pointer of the 24XX64. The next byte is the Least Significant Address Byte. After receiving another Acknowledge signal from the 24XX64, the master device will transmit the data word to be written into the addressed memory location. The 24XX64 acknowledges again and the master generates a Stop condition. This initiates the internal write cycle and, during this time, the 24XX64 will not generate Acknowledge signals (Figure 4-1). If an attempt is made to write to the array with the WP pin held high, the device will acknowledge the command but no write cycle will occur, no data will be written and the device will immediately accept a new command. After a byte write command, the internal address counter will point to the address location following the one that was just written.

4.2 Page Write

The write control byte, word address and the first data byte are transmitted to the 24XX64 in the same way as in a byte write. However, instead of generating a Stop condition, the master transmits up to 31 additional bytes which are temporarily stored in the on-chip page buffer and will be written into memory once the master has transmitted a Stop condition. Upon receipt of each word, the five lower address pointer bits are internally incremented by one. If the master should transmit more than 32 bytes prior to generating the Stop condition, the address counter will roll over and the previously received data will be overwritten. As with the byte write operation, once the Stop condition is received, an internal write cycle will begin (Figure 4-2). If an attempt is made to write to the array with the WP pin held high, the device will acknowledge the command but no write cycle will occur, no data will be written and the device will immediately accept a new command.

Note: Page write operations are limited to writing bytes within a single physical page, regardless of the number of bytes actually being written. Physical page boundaries start at addresses that are integer multiples of the page buffer size (or 'page size') and end at addresses that are integer multiples of [page size - 1]. If a Page Write command attempts to write across a physical page boundary, the result is that the data wraps around to the beginning of the current page (overwriting data previously stored there), instead of being written to the next page, as might be expected. It is therefore necessary for the application software to prevent page write operations that would attempt to cross a page boundary.

4.3 Write-Protection

The WP pin allows the user to write-protect the entire array (0000-1FFF) when the pin is tied to VCC. If tied to VSS or left floating, the write-protection is disabled. The WP pin is sampled at the Stop bit for every write command (Figure 3-1) Toggling the WP pin after the Stop bit will have no effect on the execution of the write cycle.

24AA64/24LC64

FIGURE 4-1: BYTE WRITE

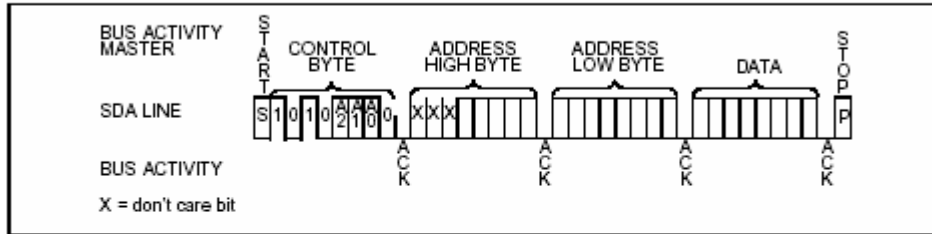
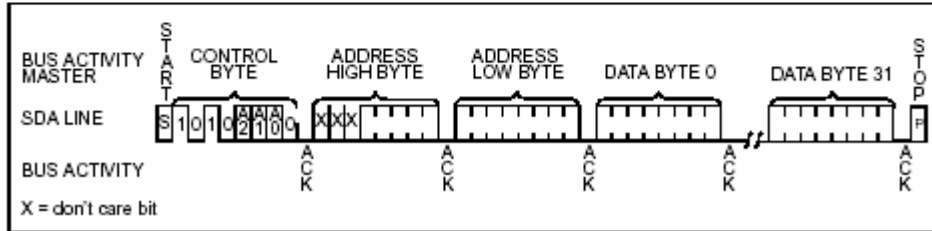


FIGURE 4-2: PAGE WRITE

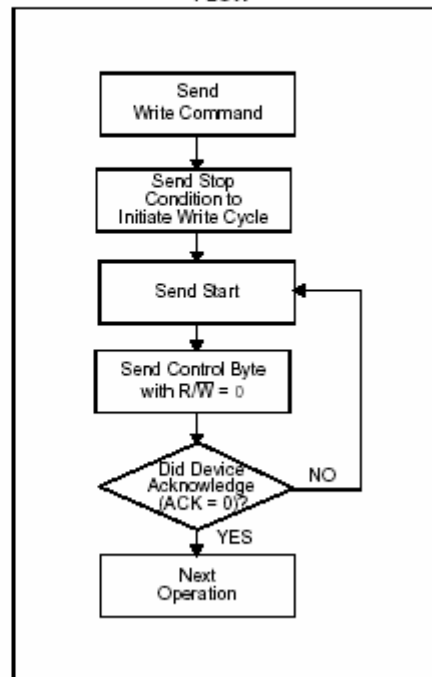


24AA64/24LC64

5.0 ACKNOWLEDGE POLLING

Since the device will not acknowledge during a write cycle, this can be used to determine when the cycle is complete (this feature can be used to maximize bus throughput). Once the Stop condition for a Write command has been issued from the master, the device initiates the internally-timed write cycle and ACK polling can then be initiated immediately. This involves the master sending a Start condition followed by the control byte for a Write command ($R/\overline{W} = 0$). If the device is still busy with the write cycle, then no ACK will be returned. If no ACK is returned, the Start bit and control byte must be re-sent. If the cycle is complete, the device will return the ACK and the master can then proceed with the next Read or Write command. See Figure 5-1 for a flow diagram of this operation.

FIGURE 5-1: ACKNOWLEDGE POLLING FLOW



24AA64/24LC64

6.0 READ OPERATION

Read operations are initiated in the same way as write operations, with the exception that the R/\overline{W} bit of the control byte is set to one. There are three basic types of read operations: current address read, random read, and sequential read.

6.1 Current Address Read

The 24XX64 contains an address counter that maintains the address of the last word accessed, internally incremented by one. Therefore, if the previous read access was to address n (n is any legal address), the next current address read operation would access data from address $n + 1$.

Upon receipt of the control byte with R/\overline{W} bit set to one, the 24XX64 issues an acknowledge and transmits the eight bit data word. The master will not acknowledge the transfer but does generate a Stop condition and the 24XX64 discontinues transmission (Figure 6-1).

6.2 Random Read

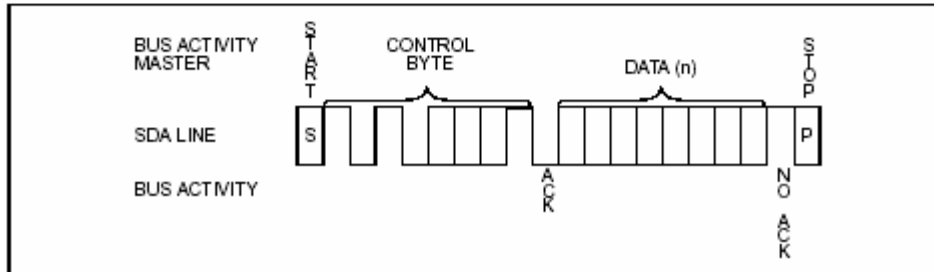
Random read operations allow the master to access any memory location in a random manner. To perform this type of read operation, the word address must first be set. This is accomplished by sending the word address to the 24XX64 as part of a write operation (R/\overline{W} bit set to 0). Once the word address is sent, the master generates a Start condition following the acknowledge.

This terminates the write operation, but not before the internal address pointer is set. The master then issues the control byte again, but with the R/\overline{W} bit set to a one. The 24XX64 will then issue an acknowledge and transmit the 8-bit data word. The master will not acknowledge the transfer but does generate a Stop condition, which causes the 24XX64 to discontinue transmission (Figure 6-2). After a random read command, the internal address counter will point to the address location following the one that was just read.

6.3 Sequential Read

Sequential reads are initiated in the same way as a random reads, except that once the 24XX64 transmits the first data byte, the master issues an acknowledge as opposed to the Stop condition used in a random read. This acknowledge directs the 24XX64 to transmit the next sequentially-addressed 8-bit word (Figure 6-3). Following the final byte being transmitted to the master, the master will NOT generate an acknowledge, but will generate a Stop condition. To provide sequential reads, the 24XX64 contains an internal address pointer which is incremented by one at the completion of each operation. This address pointer allows the entire memory contents to be serially read during one operation. The internal address pointer will automatically roll over from address 1FFF to address 0000 if the master acknowledges the byte received from the array address 1FFF.

FIGURE 6-1: CURRENT ADDRESS READ



24AA64/24LC64

FIGURE 6-2: RANDOM READ

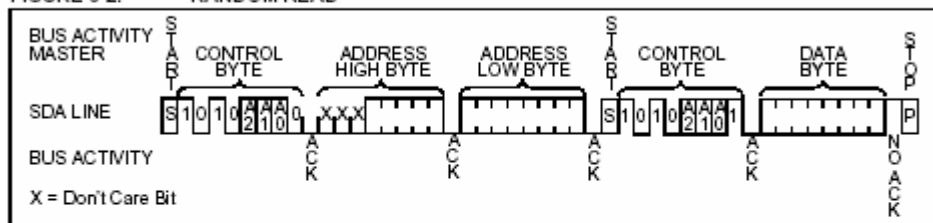
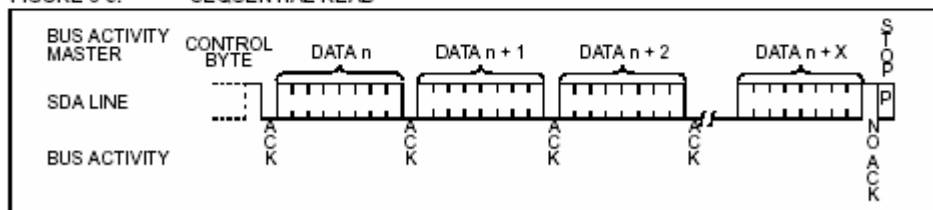


FIGURE 6-3: SEQUENTIAL READ



24AA64/24LC64

7.0 PIN DESCRIPTIONS

The descriptions of the pins are listed in Table 7-1.

TABLE 7-1: PIN FUNCTION TABLE

| Name | PDIP | SOIC | TSSOP | MSOP | ROTATED TSSOP | Description |
|------|------|------|-------|------|---------------|----------------------------|
| A0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | Chip Address Input |
| A1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | Chip Address Input |
| A2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | Chip Address Input |
| Vss | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | Ground |
| SDA | 5 | 5 | 5 | 5 | 7 | Serial Address/Data I/O |
| SCL | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | Serial Clock |
| WP | 7 | 7 | 7 | 7 | 1 | Write-Protect Input |
| VCC | 8 | 8 | 8 | 8 | 2 | +1.8V to 5.5V Power Supply |

7.1 A0, A1, A2 Chip Address Inputs

The A0, A1 and A2 inputs are used by the 24XX64 for multiple device operation. The levels on these inputs are compared with the corresponding bits in the slave address. The chip is selected if the compare is true.

Up to eight devices may be connected to the same bus by using different Chip Select bit combinations. These inputs must be connected to either VCC or VSS.

7.2 Serial Data (SDA)

SDA is a bidirectional pin used to transfer addresses and data into and out of the device. Since it is an open-drain terminal, the SDA bus requires a pull-up resistor to VCC (typical 10 k Ω for 100 kHz, 2 k Ω for 400 kHz).

For normal data transfer, SDA is allowed to change only during SCL low. Changes during SCL high are reserved for indicating the Start and Stop conditions.

7.3 Serial Clock (SCL)

The SCL input is used to synchronize the data transfer from and to the device.

7.4 Write-Protect (WP)

WP can be connected to either VSS, VCC or left floating. An internal pull-down resistor on this pin will keep the device in the unprotected state if left floating. If tied to VSS, or left floating, normal memory operation is enabled (read/write the entire memory 0000-1FFF).

If tied to VCC, write operations are inhibited. Read operations are not affected.

ANEXO G. Conversor de Voltaje con Regulador LT1054. (Linear Technology)



LT1054/LT1054L

Switched-Capacitor Voltage Converter with Regulator

FEATURES

- Available in Space Saving SO-8 Package
- Output Current: 100mA (LT1054)
125mA (LT1054L)
- Low Loss: 1.1V at 100mA
- Operating Range: 3.5V to 15V (LT1054)
3.5V to 7V (LT1054L)
- Reference and Error Amplifier for Regulation
- External Shutdown
- External Oscillator Synchronization
- Can Be Paralleled
- Pin Compatible with the LTC[®]1044/LTC7660

APPLICATIONS

- Voltage Inverter
- Voltage Regulator
- Negative Voltage Doubler
- Positive Voltage Doubler

DESCRIPTION

The LT[®]1054 is a monolithic, bipolar, switched-capacitor voltage converter and regulator. The LT1054 provides higher output current than previously available converters with significantly lower voltage losses. An adaptive switch driver scheme optimizes efficiency over a wide range of output currents. Total voltage loss at 100mA output current is typically 1.1V. This holds true over the full supply voltage range of 3.5V to 15V. Quiescent current is typically 2.5mA.

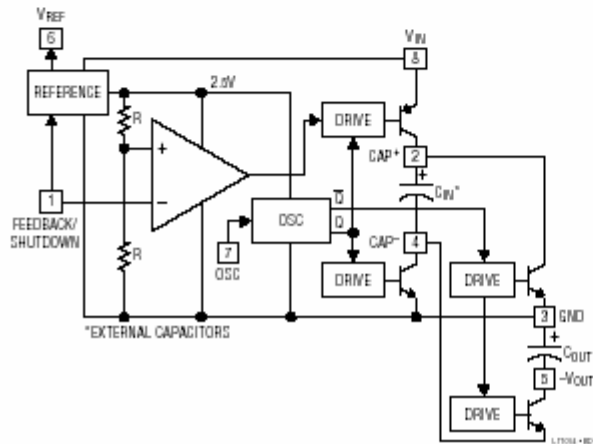
The LT1054 also provides regulation, a feature not previously available in switched-capacitor voltage converters. By adding an external resistive divider a regulated output can be obtained. This output will be regulated against changes in both input voltage and output current. The LT1054 can also be shut down by grounding the feedback pin. Supply current in shutdown is less than 100 μ A.

The internal oscillator of the LT1054 runs at a nominal frequency of 25kHz. The oscillator pin can be used to adjust the switching frequency or to externally synchronize the LT1054.

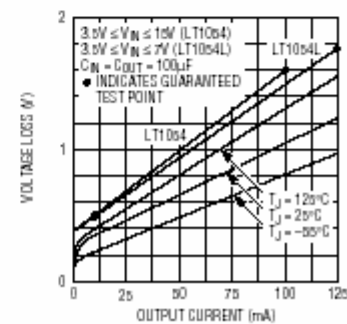
The LT1054 is pin compatible with previous converters such the LTC1044/LTC7660.

LTC and LT are registered trademarks of Linear Technology Corporation.

BLOCK DIAGRAM



LT1054/LT1054L Voltage Loss



LT1054/LT1054L

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

| | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| Supply Voltage (Note 2) | | Maximum Junction Temperature (Note 3) | |
| LT1054 | 16V | LT1054C/LT1054LC | 125°C |
| LT1054L | 7V | LT1054I | 125°C |
| Input Voltage | | LT1054M | 150°C |
| Pin 1 | $0V \leq V_{PIN1} \leq V^+$ | Storage Temperature Range | |
| Pin 3 (S Package) | $0V \leq V_{PIN3} \leq V^+$ | H, J8, N8 and S8 Packages | -55°C to 150°C |
| Pin 7 | $0V \leq V_{PIN7} \leq V_{REF}$ | S Package | -65°C to 150°C |
| Pin 13 (S Package) | $0V \leq V_{PIN13} \leq V_{REF}$ | Lead Temperature (Soldering, 10 sec) | |
| Operating Junction Temperature Range | | 300°C | |
| LT1054C/LT1054LC | 0°C to 100°C | | |
| LT1054I | -40°C to 100°C | | |
| LT1054M | -55°C to 125°C | | |

PACKAGE/ORDER INFORMATION (Note 6)

| | | | |
|---|--|--|--|
| <p>TOP VIEW</p> <p>V⁺</p> <p>FB/SHDN 1 8 OSC</p> <p>CAP⁺ 2 7 V_{REF}</p> <p>GND 3 6 V_{OUT}</p> <p>CASE IS V_{OUT}</p> <p>CAP⁻ 4 5</p> <p>H PACKAGE</p> <p>8-LEAD TO-9 METAL CAN</p> <p>T_{JMAX} = 150°C, θ_{JA} = 150°C/W, θ_{JC} = 4°C/W</p> | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1054CH</p> <p>LT1054MH</p> | <p>TOP VIEW</p> <p>FB/SHDN 1 8 V⁺</p> <p>CAP⁺ 2 7 OSC</p> <p>GND 3 6 V_{REF}</p> <p>CAP⁻ 4 5 V_{OUT}</p> <p>S8 PACKAGE</p> <p>8-LEAD PLASTIC SO</p> <p>T_{JMAX} = 125°C, θ_{JA} = 120°C/W</p> <p>SEE REGULATION AND CAPACITOR SELECTION SECTIONS IN THE APPLICATIONS INFORMATION FOR IMPORTANT INFORMATION ON THE S8 DEVICE</p> | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1054CS8</p> <p>LT1054LS8</p> <p>S8 PART MARKING</p> <p>1054</p> <p>1054L</p> |
| <p>TOP VIEW</p> <p>FB/SHDN 1 8 V⁺</p> <p>CAP⁺ 2 7 OSC</p> <p>GND 3 6 V_{REF}</p> <p>CAP⁻ 4 5 V_{OUT}</p> <p>J8 PACKAGE N8 PACKAGE</p> <p>8-LEAD CERAMIC DIP 8-LEAD PLASTIC DIP</p> <p>T_{JMAX} = 150°C, θ_{JA} = 100°C/W (J8)</p> <p>T_{JMAX} = 125°C, θ_{JA} = 130°C/W (N8)</p> | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1054CJ8</p> <p>LT1054CN8</p> <p>LT1054IN8</p> <p>LT1054MJ8</p> | <p>TOP VIEW</p> <p>NC 1 13 NC</p> <p>NC 2 12 NC</p> <p>FB/SHDN 3 7 V⁺</p> <p>CAP⁺ 4 6 OSC</p> <p>GND 5 11 V_{REF}</p> <p>CAP⁻ 6 10 V_{OUT}</p> <p>NC 7 10 NC</p> <p>NC 8 9 NC</p> <p>SW PACKAGE</p> <p>16-LEAD PLASTIC SO</p> <p>T_{JMAX} = 125°C, θ_{JA} = 150°C/W</p> | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1054CSW</p> <p>LT1054ISW</p> |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 7)

| PARAMETER | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS | |
|---------------------------------------|---|---|------------|------------|------------|----------|
| Supply Current | $I_{LOAD} = 0mA$ | LT1054: $V_{IN} = 3.5V$ $V_{IN} = 15V$ | ● | 2.5 3.0 | 4.0 5.0 | mA mA |
| | | LT1054L: $V_{IN} = 3.5V$ $V_{IN} = 7V$ | ● | 2.5 3.0 | 4.0 5.0 | mA mA |
| Supply Voltage Range | LT1054 LT1054L | ● | 3.5 3.5 | 15 7 | V V | |
| Voltage Loss ($V_{IN} - V_{OUT} $) | $C_{IN} = C_{OUT} = 100\mu F$ Tantalum (Note 4) $I_{OUT} = 10mA$ $I_{OUT} = 100mA$ $I_{OUT} = 125mA$ (LT1054L) | ● | 0.35 | 0.55 | V | |
| | | ● | 1.10 | 1.60 | V | |
| | | ● | 1.35 | 1.75 | V | |
| Output Resistance | $\Delta I_{OUT} = 10mA$ to $100mA$ (Note 5) | ● | 10 | 15 | Ω | |
| Oscillator Frequency | LT1054: $3.5V \leq V_{IN} \leq 15V$ | ● | 15 | 25 | 35 | kHz |
| | LT1054L: $3.5V \leq V_{IN} \leq 7V$ | ● | 15 | 25 | 35 | kHz |
| Reference Voltage | $I_{REF} = 60\mu A$, $T_J = 25^\circ C$ | ● | 2.35 | 2.50 | 2.65 | V |
| | | ● | 2.25 | 2.65 | 2.75 | V |
| Regulated Voltage | $V_{IN} = 7V$, $T_J = 25^\circ C$, $R_L = 500\Omega$ (Note 6) | ● | -4.70 | -5.00 | -5.20 | V |
| Line Regulation | LT1054: $7V \leq V_{IN} \leq 12V$, $R_L = 500\Omega$ (Note 6) | ● | 5 | 25 | mV | |
| Load Regulation | $V_{IN} = 7V$, $100\Omega \leq R_L \leq 500\Omega$ (Note 6) | ● | 10 | 50 | mV | |
| Maximum Switch Current | | | 300 | | mA | |
| Supply Current in Shutdown | $V_{PIN1} = 0V$ | ● | 100 | 200 | μA | |

The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range.

Note 1: Absolute Maximum Ratings are those values beyond which the life of a device may be impaired.

Note 2: The absolute maximum supply voltage rating of 16V is for unregulated circuits using LT1054. For regulation mode circuits using LT1054 with $V_{OUT} \leq 15V$ at Pin 5 (Pin 11 on S package), this rating may be increased to 20V. The absolute maximum supply voltage for LT1054L is 7V.

Note 3: The devices are guaranteed by design to be functional up to the absolute maximum junction temperature.

Note 4: For voltage loss tests, the device is connected as a voltage inverter, with pins 1, 6, and 7 (3, 12, and 13 S package) unconnected. The voltage losses may be higher in other configurations.

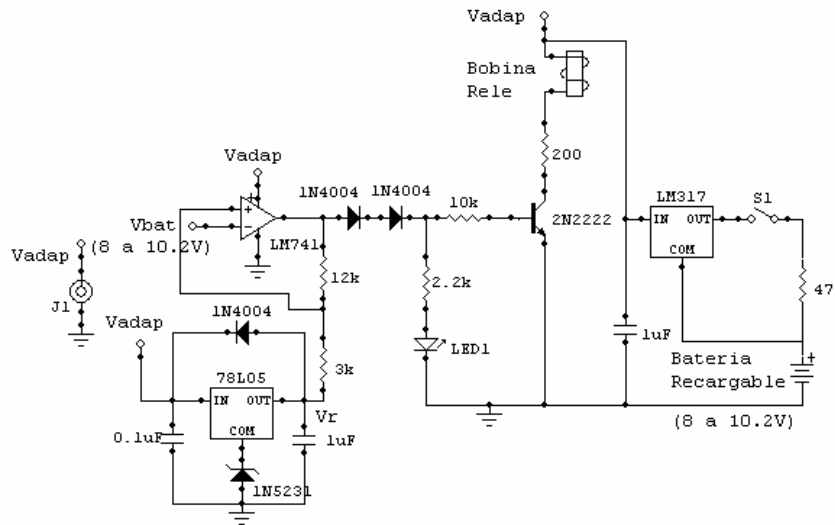
Note 5: Output resistance is defined as the slope of the curve, (ΔV_{OUT} vs ΔI_{OUT}), for output currents of 10mA to 100mA. This represents the linear portion of the curve. The incremental slope of the curve will be higher at currents < 10mA due to the characteristics of the switch transistors.

Note 6: All regulation specifications are for a device connected as a positive-to-negative converter/regulator with $R1 = 20k$, $R2 = 102.5k$, $C1 = 0.002\mu F$, ($C1 = 0.05\mu F$ S package) $C_{IN} = 10\mu F$ tantalum, $C_{OUT} = 100\mu F$ tantalum.

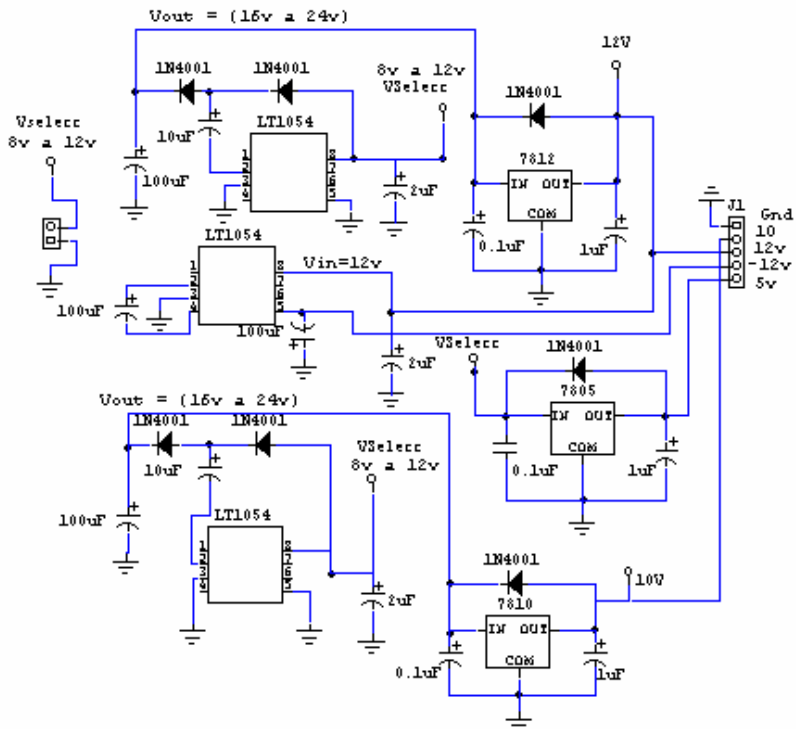
Note 7: The S8 package uses a different die than the H, J8, N8 and S packages. The S8 device will meet all the existing data sheet parameters. See Regulation and Capacitor Selection in the Applications Information section for differences in application requirements.

ANEXO H. Diagrama de circuitos utilizados.

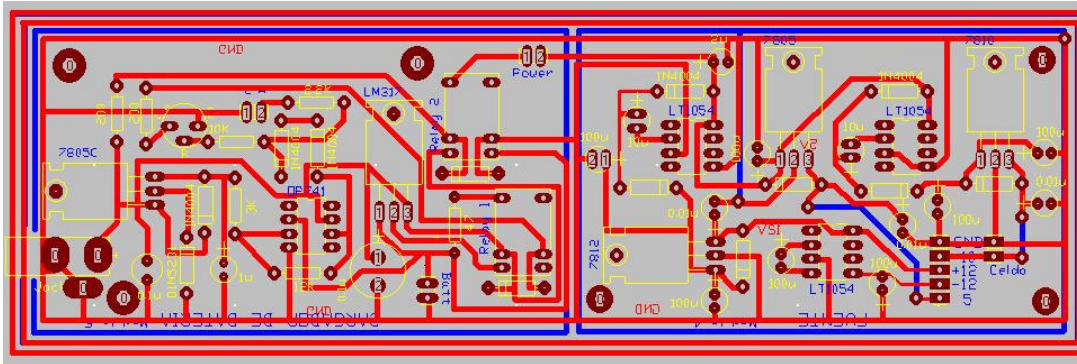
Esquemático del cargador de batería.



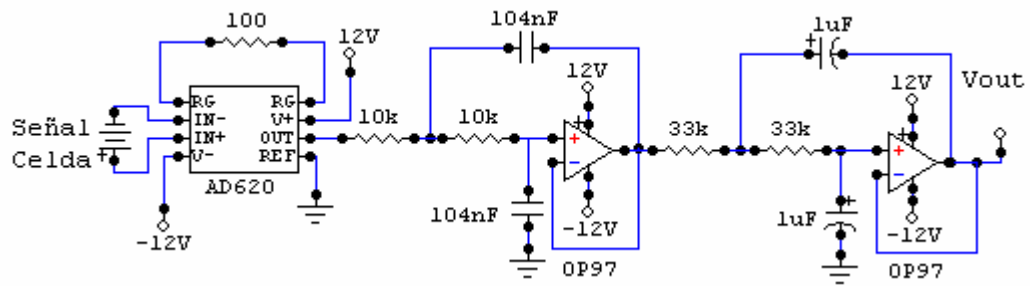
Esquemático de la fuente de alimentación



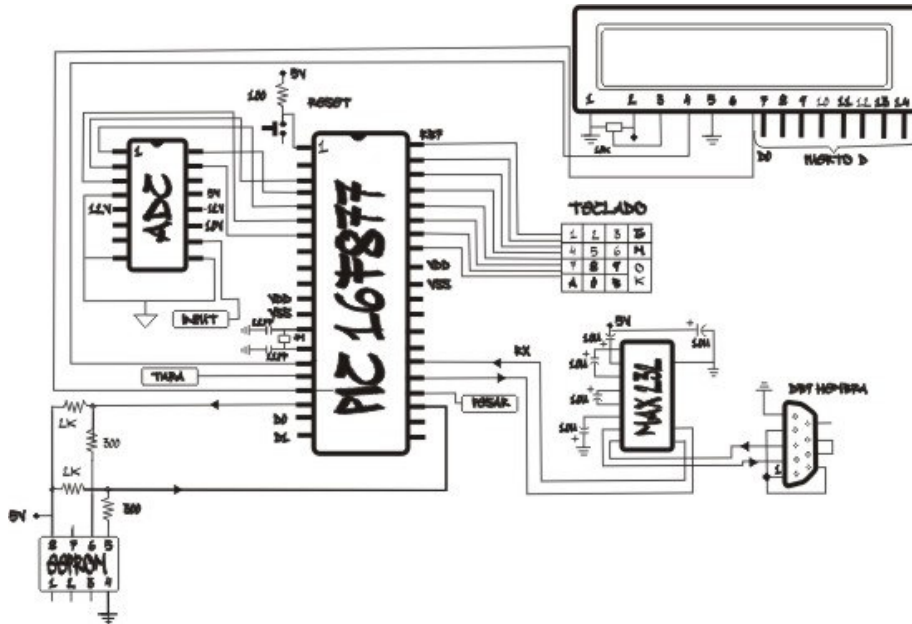
Impreso de los módulos 2 y 3. Fuente y cargador de Batería



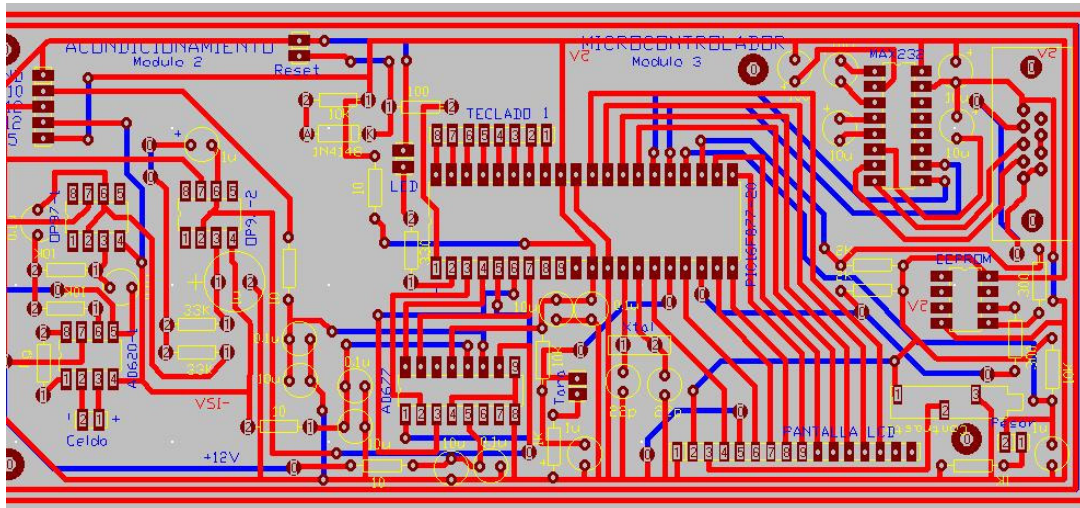
Esquemático del acondicionamiento de Señal



Esquemático del Procesamiento (Pic – Memoria – Comunicación)



Impreso de módulos 4 y 5. Acondicionamiento y Microcontrolador.




```

RCSTA_TXSTA EQU 0X18 ;Registros utilizados para la transmision RS-
232
TXREG_SPBRG EQU 0X19
RCREG EQU 0X1A
ADCON1 EQU 0X1F ;Configura PTOA como E/S digital

ADC_VAR EQU 0X20 ;Variables utilizadas por el ADC
PROMEDIO_VAR EQU 0X23 ;Variables utilizadas en el calculo del
promedio
BCD_VAR EQU 0X2C ;Variables utilizadas para la conversion BCD
DELAY_VAR EQU 0X39 ;Temporales de la rutina de retardo
MUL_VAR EQU 0X3C ;Varibles utilizadas en la multiplicacion
LCD_VAR EQU 0X45 ;Variables de la rutina LCD
TARA_VAR EQU 0X51 ;Variables utilizada por tara
KEY_VAR EQU 0X55 ;Variables de la rutina de Teclado
MEM_VAR EQU 0X5E ;Variables utilizadas por la memoria EEPROM
INTER_VAR EQU 0X6E ;Variables utilizadas en las interrupciones
LIMITES_VAR EQU 0X74 ;Variables utilizadas en los limites
TRANSPC_VAR EQU 0X7E ;Variables utilizadas por la transmision RS-232
;-----

;=====
;Definición de variables
;=====

CBLOCK ADC_VAR ;Variables para el ADC
CONTA1
DATOI_H
DATOI_L
ENDC

CBLOCK PROMEDIO_VAR ;Variables para el promedio
DATOE_H
DATOE_L
DATOF_L
CONTA6
DIVISOR
RESTO2
TEMP1
TEMP2
TEMP3
ENDC

CBLOCK BCD_VAR ;Variables para la conversion a BCD
TEMP
RESTO
CONTA2
CONTA3
CONTA4
CONTA_L
CONTA_H
CONTB_L
T

```

```

        DATO_L
        DATO_H
        BCD_0
        BCD_1
    ENDC

CBLOCK  DELAY_VAR                ;Variables para el retardo
        TEMP_1
        TEMP_2
        TEMP_3
    ENDC

CBLOCK  MUL_VAR                  ;Variables para la multiplicacion
        CONTADOR
        DATOA_H
        DATOA_L
        DATOB_H
        DATOB_L
        DATOC_L
        DATOC_H
        DATOD_L
        DATOD_H
    ENDC

CBLOCK  LCD_VAR                  ;Variables para el LCD y los mensajes
        LCD_TEMP_1
        LCD_TEMP_2
        LCD_TEMP_3
        CADENA
        TABLA
        DATO_TABLA
        CONTA5
        MUESTRAS_0
        MUESTRAS_1
        GR_1
        GR_2
        GR_3
    ENDC

CBLOCK  TARA_VAR                 ;Variables para la tara
        TARA_0
        TARA_1
        TARA_L
        TARA_H
    ENDC

CBLOCK  KEY_VAR                  ;Variables para el teclado
        TECLA                    ;Retorno del codigo de tecla
        TEMP_0                    ;Variable
        KEY_1                      ;# de filas a explorar
        KEY_2                      ;Temporal de codigo
        KEY_DELAY_1                ;Variable de temporizacion

```

```

KEY_DELAY_2                ;Variable de temporizacion
KEY_DELAY_3
CONTA7
BANDERA
ENDC

CBLOCK MEM_VAR              ;Variables para la memoria externa
FLAG                       ;Indicador de error
EEPROM                     ;Bit BUFFER
ERCODE                     ;Codigo de error (indica el estado del bus)
ADDR_H                     ;Registro de direccion
ADDR_L                     ;Registro de direccion
DATAI_1                    ;Registro del dato 1 de entrada
DATAI_2                    ;Registro del dato 2 de entrada
DATAO_1                    ;Registro del dato 1 de salida
DATAO_2                    ;Registro del dato 2 de salida
DIR_H                      ;Direccion de la memoria parte alta
DIR_L                      ;Direccion de la memoria parte baja
TXBUF                      ;TX BUFFER
RXBUF                      ;RX BUFFER
COUNT                    ;BIT contador
CONTROLW                   ;Byte de control de escritura (1010XXX0)
CONTROLR                   ;Byte de control de lectura (1010XXX1)
ENDC

CBLOCK INTER_VAR           ;Variables para las interrupciones
CONT_TMR0
CONT_TMR1
CONTA_TMR
BANDERA_TMR1
BANDERA_TMR0
BANDERA_RCIE
ENDC

CBLOCK LIMITES_VAR        ;Variables para los limites
LIMITE_1_L
LIMITE_1_H
LIMITE_2_L
LIMITE_2_H
LIMITE_3_L
LIMITE_3_H
LIMITE_4_L
LIMITE_4_H
LIMITE_5_L
LIMITE_5_H
ENDC

CBLOCK TRANSPC_VAR        ;Variables para la transmision
BANDERA_2                  ;Bandera para la transmision
ENDC
;-----
;=====

```

```

;Asignación de bits
;=====
; FLAG BITS
ERR_1 EQU 0 ;Bandera de error

; EEPROM BITS
DI EQU 7 ;Bit de entrada
DO EQU 6 ;Bit de salida

; I2C DEVICE BITS
SDA EQU 4 ;RC4, entrada/salida de datos
SCL EQU 3 ;RC3, reloj serial
;-----

;=====
;Bloque de etiquetas
;=====
#define RELOJH BSF PTOA,1 ;Reloj del conversor alto
#define RELOJL BCF PTOA,1 ;Reloj del conversor bajo

#define ENABLE BSF PTOC,2 ;Activa E del LCD
#define DISABLE BCF PTOC,2 ;Desactiva E del LCD
#define OFF_COMANDO BCF PTOC,0 ;Desactiva RS (modo comando) del LCD
#define ON_COMANDO BSF PTOC,0 ;Activa RS (modo datos) del LCD

#define SPEN BSF RCSTA_TXSTA,7 ;Activa USART
#define TXEN BSF RCSTA_TXSTA,5 ;Activa Transmisión
#define BRGH BSF RCSTA_TXSTA,2 ;Activa Alta Velocidad
;-----

;=====
ORG 0x00
GOTO INICIO

ORG 0x04
GOTO INTERRUPCION
;=====

;=====
;RUTINA PARA REALIZAR LA COMUNICACIÓN CON EL LCD
;=====

UP_LCD BSF ESTADO,5 ;Configura el PIC
CLRF PTOD ;PTOD salida de datos al LCD
BCF PTOC,2 ;PIN C2 como salida (E)
BCF PTOC,0 ;PIN C0 como salida (RS)
BCF ESTADO,5
CLRF PTOD ;Limpia puerto D
OFF_COMANDO ;Se desactiva RS (modo comando)
DISABLE ;Deshabilita LCD
RETURN

```

```

LCD_E      ENABLE                ;Se activa el LCD
          MOVLW  d'5'            ;'5' demora de 19ms
          CALL   LCD_DELAY
          DISABLE
          MOVLW  d'5'            ;'5' demora de 19ms
          CALL   LCD_DELAY
          RETURN

LCD_DATO OFF_COMANDO            ;Carga el valor de W(ASCII) que es
          MOVWF  PTOD            ;Un dato a PTOD
          ON_COMANDO
          MOVLW  d'5'
          CALL   LCD_DELAY      ;'5' demora de 19ms
          CALL   LCD_E
          RETURN

LCD_REG    OFF_COMANDO          ;Carga el valor de w que es
          MOVWF  PTOD            ;Un comando para el LCD en PTOD
          MOVLW  d'5'
          CALL   LCD_DELAY
          CALL   LCD_E
          RETURN

LCD_INI    MOVLW  b'00111000'    ;Se inicializa el LCD
          CALL   LCD_REG         ;Con interfaz de ocho lineas
          MOVLW  d'50'          ;Presentacion en 2 lineas
          CALL   LCD_DELAY      ;Caracteres de 5X7 pixeles
          MOVLW  b'00111000'
          CALL   LCD_REG
          MOVLW  d'50'          ;'50' demora de 0.2s
          CALL   LCD_DELAY
          MOVLW  b'00111000'
          CALL   LCD_REG
          MOVLW  d'50'          ;'50' demora de 0.2s
          CALL   LCD_DELAY
          CALL   DISP_ON_CUR_OFF
          CALL   BORRA_Y_HOME
          CALL   CURSOR
          RETURN

DISPLAY_OFF MOVLW  b'00001000'    ;LCD OFF, Cursor OFF
          CALL   LCD_REG
          RETURN

BORRA_Y_HOME MOVLW  b'00000001'    ;Borra LCD y retorna el cursor a cero
          CALL   LCD_REG
          RETURN

DISP_ON_CUR_OFF MOVLW  b'00001100' ;LCD ON, cursor OFF,no parpadea el cursor
          CALL   LCD_REG
          RETURN

```

```

CURSOR      MOV LW    b'00000110'          ;Incrementa posicion del cursor
            CALL     LCD_REG
            RETURN

LCD_DELAY   MOV WF    LCD_TEMP_1          ;Retardo variable
LCD_DELAY_3 MOV LW    d'40'                ;'40'
            MOV WF    LCD_TEMP_2          ;(((3*LCD_TEMP_3)+5)*LCD_TEMP_2)+5)*LCD_TEMP_1
LCD_DELAY_2 MOV LW    d'30'                ;'30'
            MOV WF    LCD_TEMP_3
LCD_DELAY_1 DECFSZ   LCD_TEMP_3,1
            GOTO     LCD_DELAY_1
            DECFSZ   LCD_TEMP_2,1
            GOTO     LCD_DELAY_2
            DECFSZ   LCD_TEMP_1,1
            GOTO     LCD_DELAY_3
            RETURN

;-----

;=====
;RUTINA PARA MANEJAR EL TECLADO
;=====

KEY_UP      BSF      ESTADO,5              ;Configura el PIC
            MOV LW    b'00001111'
            MOV WF    PTOB                  ;RB7-RB4 salidas(filas), RB3-RB0
entradas (columnas)
            BCF      OPCION,7              ;Activa cargas pull-up
            BCF      ESTADO,5
            CLRF     PTOB
            CLRF     CONTA7
            MOV LW    d'255'
            MOV WF    BANDERA
            RETURN

KEY_SCAN MOV LW    4                        ;Exploración del teclado
            MOV WF    KEY_1                  ;# de columnas a explorar
            MOV LW    b'01111111'
            MOV WF    TECLA                  ;Columna a activar
KEY_SCAN_1  MOVF     TECLA,0
            MOV WF    PTOB                  ;Activa fila
            NOP
            MOVF     PTOB,0
            MOV WF    KEY_2
            SUBWF    TECLA,0                  ;Lee las columnas
            BTFS    ESTADO,2                  ;Hay alguna pulsada ?
            GOTO     KEY_DELAY                ;Si hay alguna pulsada
            BSF     ESTADO,0                  ;No hay ninguna en esa fila
            RRF     TECLA,1                  ;Selecciona siguiente fila
            DECFSZ  KEY_1,1                  ;Salta si se han terminado las filas
            GOTO     KEY_SCAN_1
            MOV LW    0x80
            MOV WF    TECLA                  ;Fin de exploración

```

```

                RETURN                ;Retorna codigo 0x80 (no hay tecla pulsada)

KEY_DELAY      MOVLW  d'20'           ;'20' Bucle de temporización de unos 40ms
                MOVWF  KEY_DELAY_1     ;para evitar el rebote de las teclas
KEY_SCAN_2     MOVLW  d'100'          ;'100'
                MOVWF  KEY_DELAY_2
                ;(((3*KEY_DELAY_3)+5)*KEY_DELAY_2)+5)*KEY_DELAY_1
KEY_SCAN_3     MOVLW  d'5'
                MOVWF  KEY_DELAY_3
KEY_SCAN_4     DECFSS KEY_DELAY_3,1
                GOTO   KEY_SCAN_4
                DECFSS KEY_DELAY_2,1
                GOTO   KEY_SCAN_3
                DECFSS KEY_DELAY_1,1
                GOTO   KEY_SCAN_2
                NOP
                MOVF   TECLA,0         ;Tras la temporización se lee nuevamente
                MOVWF  PTOB           ;si la tecla es la misma. se
                NOP                   ;evitan los rebotes.
                MOVF   PTOB,0
                SUBWF  KEY_2,0
                BTFSS  ESTADO,2       ;Es la misma ?
                GOTO   KEY_SCAN_1     ;No, seguir con la exploración
                MOVF   KEY_2,0        ;Si, guardar en TECLA el valor recogido
                MOVWF  TECLA          ;Fin de exploración
                RETURN

KEY_HEX        MOVF   TECLA,0         ;Convierte TECLA en hexadecimal
                MOVWF  KEY_2          ;Almacena el codigo temporalmente
                CLRF   KEY_1          ;Contador HEX a 0
KEY_HEX_2      BSF    PCLATH,3
                CALL   KEY_TABLA     ;Busca codigo en la tabla
                BCF    PCLATH,3
                SUBWF  KEY_2,W        ;Compara con el de la tecla
                BTFSC  ESTADO,2       ;Coincide ?
                GOTO   KEY_HEX_1     ;Si
                INCF   KEY_1,1        ;No, incrementa contador HEX
                GOTO   KEY_HEX_2
KEY_HEX_1      MOVF   KEY_1,0
                MOVWF  TECLA          ;Carga contador HEX en TECLA
                RETURN

KEY_OFF        MOVF   TECLA,0         ;Espera que se suelte la tecla pulsada
                MOVWF  TEMP_0        ;se usa despues de KEY_SCAN
KEY_OFF_NO     CALL   KEY_SCAN
                MOVLW  0X80
                SUBWF  TECLA,0
                BTFSS  ESTADO,2
                GOTO   KEY_OFF_NO
                MOVF   TEMP_0,0
                MOVWF  TECLA

```

```

                                RETURN
;-----
;=====
;RUTINA PARA EL MANEJO DEL CONVERTOR
;=====
RELOJ          RELOJH
                NOP
                RELOJL
                RETURN

UP_ADC         BSF      ESTADO,5          ;Configuración PTOA del PIC
                MOVLW   b'00000110'
                MOVWF   ADCON1
                MOVLW   b'110000'        ;BUSY,SDATA,SAMPLE,CAL,CLK,LED
                MOVWF   PTOA             ;PTOA(4-5) Entradas;PTOA(3-0) Salidas
                BCF      ESTADO,5
                CLRF    CONTA1
                CLRF    PTOA
                BSF     PTOA,0
                RETURN

CALIBR        CLRF     PTOA              ;Calibración del ADC
                RELOJH
                BSF     PTOA,2           ;CAL=1
                RELOJL
                CALL    RELOJ
                BCF     PTOA,2           ;CAL=0
CAL_2         CALL    RELOJ
                BTFS    PTOA,5          ;Terminó la calibración ?
                GOTO    CAL_2           ;NO. continue
                CALL    RELOJ
                RETURN

ADC           CLRF     PTOA
                CLRF    DATOI_H         ;Conversión del ADC
                CLRF    DATOI_L
                CLRF    CONTA1
                RELOJH
                BSF     PTOA,3           ;Activa SAMPLE
                RELOJL
                CALL    RELOJ
                BCF     PTOA,3           ;Desactiva SAMPLE
                MOVLW   d'8'
                MOVWF   CONTA1
                CALL    RELOJ           ;BIT falso
BIT_H        CALL    RELOJ           ;BIT mas significativo
                BSF     ESTADO,0
                BTFS    PTOA,4          ;Parte alta de los datos
                BCF     ESTADO,0
                RLF     DATOI_H,1
                DECFSZ  CONTA1,1

```

```

                GOTO    BIT_H
                MOVLW  d'7'
                MOVWF  CONTA1
BIT_L          CALL    RELOJ                ;Parte baja de los datos
                BSF    ESTADO,0
                BTFSS  PTOA,4
                BCF    ESTADO,0
                RLF    DATOI_L,1
                DECFSZ CONTA1,1
                GOTO   BIT_L
                CALL   RELOJ                ;Termina la conversión
                CALL   RELOJ
                NOP
                RETURN
;-----
;=====
;RUTINA PARA LA COMUNICACION CON LA MEMORIA EXTERNA EEPROM
;=====
BSTART        BSF     ESTADO,5             ;Bit de inicio para la comunicacion I2C
                BCF    PTOC,SDA            ;SDA Salida
                BCF    PTOC,SCL            ;SCL Salida
                BCF    ESTADO,5
                BSF    PTOC,SDA            ;SDA=1
                BSF    PTOC,SCL            ;SCL=1
                NOP
                NOP
                BCF    PTOC,SDA            ;SDA=0
                NOP
                NOP
                NOP
                BCF    PTOC,SCL            ;SCL=0
                NOP
                RETLW  0

BSTOP         BSF     ESTADO,5             ;Bit de parada para la comunicacion I2C
                BCF    PTOC,SDA            ;SDA Salida
                BSF    PTOC,SCL            ;SCL Entrada
                NOP
                MOVLW  1                   ;Error
                BCF    ESTADO,5
                BTFSS  PTOC,SCL            ;SCL=1 ?
                CALL   ALTO                ;No, SCL=0
                BCF    PTOC,SDA            ;SDA=0
                NOP
                NOP
                NOP
                BSF    PTOC,SDA            ;SDA=1
                NOP
                RETLW  0

ALTO          BSF     ESTADO,5
                BCF    PTOC,SCL            ;SCL salida

```

```

BCF     ESTADO,5
BSF     PTOC,SCL      ;SCL=1
NOP
RETURN

BITOUT  BSF     ESTADO,5      ;Transmision de un BIT del PIC a I2C
        BCF     PTOC,SDA      ;SDA Salida
        BCF     PTOC,SCL      ;SCL Salida
        BCF     ESTADO,5
        BSF     PTOC,SDA      ;SDA=1
        BTFSS   EEPROM,DO
        BCF     PTOC,SDA      ;SDA=0
CLKOUT  NOP
        BSF     PTOC,SCL      ;SCL=1
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        BCF     PTOC,SCL      ;SCL=0
        NOP
        RETLW   0

BITIN   BSF     ESTADO,5      ;Recepcion de un BIT de I2C al PIC
        BSF     PTOC,SDA      ;SDA entrada
        BCF     PTOC,SCL      ;SCL salida
        BCF     ESTADO,5
        BCF     EEPROM,DI      ;DI=0
        BSF     PTOC,SCL      ;SCL=1
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        BTFSC   PTOC,SDA      ;SDA=0 ?
        BSF     EEPROM,DI      ;No. DI=1
        BCF     PTOC,SCL      ;SCL=0
        RETLW   0

TX      BCF     ESTADO,5      ;Transmision de 8BITS
        MOVLW   .8
        MOVWF   COUNT

TXLP    BCF     EEPROM,DO      ;DO=0
        BTFSC   TXBUF,7      ;Bit de dato=0 ?
        BSF     EEPROM,DO      ;NO. bit de dato=1
        CALL    BITOUT      ;SI. sale el dato
        RLF     TXBUF,1      ;Rota TXBUF a la izquierda
        BTFSS   ESTADO,0      ;F(6) ---> F(7)
        BCF     TXBUF,0      ;F(7) ---> CARRY
        BTFSC   ESTADO,0      ;CARRY ---> F(0)
        BSF     TXBUF,0
        DECFSZ  COUNT,1      ;COUNT=0 ?
        GOTO    TXLP      ;No.
        CALL    BITIN      ;Si. lee el bit ACK (reconocimiento)

```

```

BCF     ESTADO,5
RETLW  0

RX      BCF     ESTADO,5      ;Recepcion de 16BITS
        MOVLW  .8
        MOVWF  COUNT
        CLRF   RXBUF

RXLP1   RLF     RXBUF,1      ;Rotacion a la izquierda de RXBUF
        BTFSS  ESTADO,0      ;CARRY=1 ?
        BCF     RXBUF,0      ;No. F(0)=0
        BTFSC  ESTADO,0      ;Si. CARRY=0 ?
        BSF     RXBUF,0      ;No. F(0)=1
        CALL   BITIN         ;Si.
        BTFSC  EEPROM,DI     ;DI=0 ?
        BSF     RXBUF,0      ;No. BIT DE ENTRADA =1
        DECFSZ COUNT,1      ;Si. COUNT=0?
        GOTO   RXLP1        ;No.
        BCF     EEPROM,DO     ;Si. BIT ACK=0
        CALL   BITOUT        ;Genera el bit ACK
        MOVF   RXBUF,0      ;Mueve RXBUF a DATAI_1
        MOVWF  DATAI_1
        BCF     ESTADO,5
        MOVLW  .8
        MOVWF  COUNT
        CLRF   RXBUF

RXLP2   RLF     RXBUF,1      ;Rotacion a la izquierda de RXBUF
        BTFSS  ESTADO,0      ;CARRY=1 ?
        BCF     RXBUF,0      ;No. F(0)=0
        BTFSC  ESTADO,0      ;Si. CARRY=0 ?
        BSF     RXBUF,0      ;No. F(0)=1
        CALL   BITIN         ;Si.
        BTFSC  EEPROM,DI     ;DI=0 ?
        BSF     RXBUF,0      ;No. BIT DE ENTRADA =1
        DECFSZ COUNT,1      ;Si. COUNT=0?
        GOTO   RXLP2        ;No.
        MOVF   RXBUF,0      ;Si. Mueve RXBUF a DATAI_2
        MOVWF  DATAI_2
        BSF     EEPROM,DO     ;BIT ACK=1
        CALL   BITOUT        ;Genera el bit NO_ACK
        RETLW  0

WRBYTE  BCF     ESTADO,5      ;Escribe dos byte a I2C
        MOVF   CONTROLW,0    ;Envia BYTE de control para escritura
        MOVWF  TXBUF         ;TX a BUFFER
        CALL   BSTART        ;Genera bit de inicio
        CALL   TX            ;Sale el BYTE de control y detecta ACK
        BCF     ESTADO,5
        MOVF   DIR_H,0      ;Envia byte alto de direccion del dato a escribir
        MOVWF  TXBUF         ;TX a BUFFER
        CALL   TX            ;Sale direccion del dato y detecta ACK
        BCF     ESTADO,5
        MOVF   DIR_L,0      ;Envia byte bajo de direccion del dato a escribir

```

```

MOVWF TXBUF          ;TX a BUFFER
CALL TX              ;Sale direccion del dato y detecta ACK
BCF ESTADO,5
MOVF DATAO_1,0     ;Envia el dato 1
MOVWF TXBUF          ;Carga el dato a BUFFER
CALL TX              ;Sale el dato y detecta ACK
BCF ESTADO,5
MOVF DATAO_2,0     ;Envia el dato 2
MOVWF TXBUF          ;Carga el dato a BUFFER
CALL TX              ;Sale el dato y detecta ACK
CALL BSTOP           ;Genera bit de parada
RETURN

RDBYTE              BCF ESTADO,5          ;Lee dos byte a I2C
                   MOVF CONTROLW,0      ;Envia byte de control para escribir la direccion DEL
DATO
                   MOVWF TXBUF
                   CALL BSTART          ;Genera el bit de inicio
                   CALL TX              ;Sale el byte de control y detecta ACK
                   BCF ESTADO,5
                   MOVF ADDR_H,0        ;Carga byte alto de la direccion del dato a
leer
                   MOVWF TXBUF
                   CALL TX              ;Sale la palabra de direccion y detecta ACK.
                   BCF ESTADO,5
                   MOVF ADDR_L,0        ;Carga byte bajo de la direccion del dato a
leer
                   MOVWF TXBUF
                   CALL TX              ;Sale la palabra de direccion y detecta ACK.
                   CALL BSTART          ;Genera el bit de inicio
                   BCF ESTADO,5
                   MOVF CONTROLR,0     ;Envia byte de control para lectura
                   MOVWF TXBUF
                   CALL TX              ;Sale el byte de control de lectura y detecta ACK
                   CALL RX              ;Lee los datos y genera el bit NO_ACK
                   CALL BSTOP           ;Genera el bit de parada
                   BCF ESTADO,5
                   RETURN
;
;=====
;RUTINA PARA CONFIGURAR LA COMUNICACION SERIE USART
;=====
USART              BCF ESTADO,5          ;Banco 0
                   SPEN                  ;Activa USART
                   BSF ESTADO,5          ;Banco 1
                   MOVLW b'00100100'    ;Configura la Transmisi3n
                   MOVWF RCSTA_TXSTA     ;Datos de 8Bits, modo asincrono
                   MOVLW d'25'
                   MOVWF TXREG_SPBRG     ;9600 Baudios
                   BCF ESTADO,5          ;Banco 0
                   RETURN

```

```

;-----
;=====
;RUTINA QUE MULTIPLICA EL DATO LEIDO POR LA PENDIENTE DE LA CELDA DE CARGA
;=====
PENDIENTE      NOP                                ;Compara el dato leido con los diferentes
rangos
LIMITES        MOVLW  h'E2'                        ;Primer rango
                MOVWF  LIMITE_1_L
                MOVLW  h'04'
                MOVWF  LIMITE_1_H
                MOVLW  h'80'                        ;Segundo rango
                MOVWF  LIMITE_2_L
                MOVLW  h'0C'
                MOVWF  LIMITE_2_H
                MOVLW  h'50'                        ;Tercer rango
                MOVWF  LIMITE_3_L
                MOVLW  h'14'
                MOVWF  LIMITE_3_H
                MOVLW  h'38'                        ;Cuarto rango
                MOVWF  LIMITE_4_L
                MOVLW  h'18'
                MOVWF  LIMITE_4_H
                MOVLW  h'E4'                        ;Quinto rango
                MOVWF  LIMITE_5_L
                MOVLW  h'25'
                MOVWF  LIMITE_5_H

                BSF    ESTADO,0                    ;CARRY=1
                MOVF   DATOB_L,0
                SUBWF  LIMITE_1_L,0                ;LIMITE_1_L - DATOB_L
                BTFSS  ESTADO,0                    ;CARRY=1 ?
                DECF   LIMITE_1_H,1                ;No
                MOVF   DATOB_H,0                    ;Si
                SUBWF  LIMITE_1_H,0                ;LIMITE_1_H - DATOB_H
                BTFSC  ESTADO,0                    ;CARRY=0 ?
                GOTO   CONSTANTE_1                  ;No
                BSF    ESTADO,0                    ;Si, CARRY=1
                MOVF   DATOB_L,0
                SUBWF  LIMITE_2_L,0                ;LIMITE_2_L - DATOB_L
                BTFSS  ESTADO,0                    ;CARRY=1 ?
                DECF   LIMITE_2_H,1                ;No
                MOVF   DATOB_H,0                    ;Si
                SUBWF  LIMITE_2_H,0                ;LIMITE_2_H - DATOB_H
                BTFSC  ESTADO,0                    ;CARRY=0 ?
                GOTO   CONSTANTE_2                  ;No
                BSF    ESTADO,0                    ;Si, CARRY=1
                MOVF   DATOB_L,0
                SUBWF  LIMITE_3_L,0                ;LIMITE_3_L - DATOB_L
                BTFSS  ESTADO,0                    ;CARRY=1 ?
                DECF   LIMITE_3_H,1                ;No
                MOVF   DATOB_H,0                    ;Si

```

```

SUBWF LIMITE_3_H,0           ;LIMITE_3_H - DATOB_H
BTFSC ESTADO,0             ;CARRY=0 ?
GOTO CONSTANTE_3           ;No
BSF ESTADO,0               ;Si,CARRY=1
MOVF DATOB_L,0
SUBWF LIMITE_4_L,0         ;LIMITE_4_L - DATOB_L
BTFSS ESTADO,0            ;CARRY=1 ?
DECF LIMITE_4_H,1         ;No
MOVF DATOB_H,0            ;Si
SUBWF LIMITE_4_H,0         ;LIMITE_4_H - DATOB_H
BTFSC ESTADO,0            ;CARRY=0 ?
GOTO CONSTANTE_4           ;No
BSF ESTADO,0               ;Si,CARRY=1
MOVF DATOB_L,0
SUBWF LIMITE_5_L,0         ;LIMITE_5_L - DATOB_L
BTFSS ESTADO,0            ;CARRY=1 ?
DECF LIMITE_5_H,1         ;No
MOVF DATOB_H,0            ;Si
SUBWF LIMITE_5_H,0         ;LIMITE_5_H - DATOB_H
BTFSC ESTADO,0            ;CARRY=0 ?
GOTO CONSTANTE_5           ;No
GOTO CONSTANTE_6           ;Si

CONSTANTE_1 MOV LW h'26'           ;Realiza la multiplicacion del valor obtenido
MOVWF DATOA_L           ;por la pendiente 1 de la celda de carga
(d'0.1574')
MOV LW h'06'
MOVWF DATOA_H           ;Se multiplica el valor leído por (d'1574')
GOTO PENDIENTE_1

CONSTANTE_2 MOV LW h'1A'           ;Realiza la multiplicacion del valor obtenido
MOVWF DATOA_L           ;por la pendiente 2 de la celda de carga
(d'0.1562')
MOV LW h'06'
MOVWF DATOA_H           ;Se multiplica el valor leído por (d'1562')
GOTO PENDIENTE_1

CONSTANTE_3 MOV LW h'16'           ;Realiza la multiplicacion del valor obtenido
MOVWF DATOA_L           ;por la pendiente 3 de la celda de carga
(d'0.1558')
MOV LW h'06'
MOVWF DATOA_H           ;Se multiplica el valor leído por (d'1558')
GOTO PENDIENTE_1

CONSTANTE_4 MOV LW h'17'           ;Realiza la multiplicacion del valor obtenido
MOVWF DATOA_L           ;por la pendiente 4 de la celda de carga
(d'0.1559')
MOV LW h'06'
MOVWF DATOA_H           ;Se multiplica el valor leído por (d'1559')
GOTO PENDIENTE_1

CONSTANTE_5 MOV LW h'19'           ;Realiza la multiplicacion del valor obtenido

```

```

                                MOVWF  DATOA_L           ;por la pendiente 5 de la celda de carga
(d'0.1561')
                                MOVLW  h'06'
                                MOVWF  DATOA_H           ;Se multiplica el valor leído por (d'1561')
                                GOTO    PENDIENTE_1

CONSTANTE_6                     MOVLW  h'15'           ;Realiza la multiplicacion del valor obtenido
(d'0.1557')                     MOVWF  DATOA_L           ;por la pendiente 5 de la celda de carga
                                MOVLW  h'06'
                                MOVWF  DATOA_H           ;Se multiplica el valor leído por (d'1557')
                                GOTO    PENDIENTE_1

PENDIENTE_1                     CALL   MUL16X16
                                CLRF   DIVISOR
                                CLRF   RESTO2
                                CLRF   TEMP1
                                CLRF   TEMP2
                                CLRF   TEMP3
                                MOVF   DATOC_L,0
                                MOVWF  RESTO2
                                MOVF   DATOC_H,0
                                MOVWF  TEMP1
                                MOVF   DATOD_L,0
                                MOVWF  TEMP2
                                MOVF   DATOD_H,0
                                MOVWF  TEMP3
                                MOVLW  d'100'
                                MOVWF  DIVISOR           ;El resultado se divide entre 100
                                CALL   DIVISION_24
                                CLRF   DIVISOR
                                CLRF   RESTO2
                                CLRF   TEMP1
                                CLRF   TEMP2
                                CLRF   TEMP3
                                MOVF   CONTA_L,0
                                MOVWF  RESTO2
                                MOVF   CONTA_H,0
                                MOVWF  TEMP1
                                MOVF   CONTB_L,0
                                MOVWF  TEMP2
                                MOVLW  d'100'
                                MOVWF  DIVISOR           ;El resultado se divide entre 100
                                CALL   DIVISION_24
                                CLRF   DATO_H
                                CLRF   DATO_L
                                MOVF   CONTA_H,0
                                MOVWF  DATO_H
                                MOVF   CONTA_L,0
                                MOVWF  DATO_L
                                RETURN
;-----

```

```

;=====
;RUTINA DE TARA
;=====
TARA          BTFSK  BANDERA_RCIE,0          ;BANDERA_RCIE=0 ?
              GOTO   COMUNIC_PC            ;No. El PIC fue interrumpido por el computador
              BTFSK  PTOC,1                ;Si. Espera el boton de tara
              GOTO   TARA
              MOVLW  d'2'                  ;'2'
              CALL   DELAY
              CALL   CALIBR                ;Calibra el adc
              CALL   PROMEDIO              ;Lee 10 datos y calcula el promedio
              CLRF   TARA_0                ;Limpia el registro TARA_0
              CLRF   TARA_1                ;Limpia el registro TARA_1
              MOVF   CONTA_L,0
              MOVWF  TARA_1                ;Guarda el dato de TARA (en binario)
              MOVF   CONTA_H,0
              MOVWF  TARA_0
              MOVF   TARA_1,0
              MOVWF  DATOB_L
              MOVF   TARA_0,0
              MOVWF  DATOB_H
              CALL   PENDIENTE              ;Multiplica el valor leído por la constante
correspondiente
              CLRF   TARA_H                ;Limpia el registro TARA_H
              CLRF   TARA_L                ;Limpia el registro TARA_L
              MOVF   DATO_H,0
              MOVWF  TARA_H                ;Guarda el valor de TARA (peso del plato)
              MOVF   DATO_L,0
              MOVWF  TARA_L
              RETURN
;-----

;=====
;RUTINA DE PESAR
;=====
PESAR         BTFSK  PTOC,5                ;Espera el boton de pesar
              GOTO   PESAR
              MOVLW  d'2'                  ;'2'
              CALL   DELAY
              CALL   PROMEDIO              ;Lee 10 datos y calcula el promedio
              CALL   RESTAR                ;Al dato leído se le resta el valor de TARA
              MOVF   CONTA_L,0
              MOVWF  DATOB_L
              MOVF   CONTA_H,0
              MOVWF  DATOB_H                ;Multiplica el valor leído por la constante
              CALL   PENDIENTE              ;correspondiente al rango del dato
              CALL   BIN_BCD               ;Se convierte el numero obtenido a BCD
              RETURN
;-----

;=====

```

```

;RUTINAS MATEMATICAS
;=====
;RUTINA PARA PROMEDIAR 10 DATOS Y CALCULAR EL VALOR DEL PESO
PROMEDIO CLRf      DATOE_L
                  CLRf      DATOE_H
                  CLRf      DATOF_L
                  CLRf      CONTA6
                  MOVLW     d'10'          ;'10' Numero de muestras a tomar
                  MOVWF     CONTA6
                  CALL      ADC
                  MOVF      DATOI_L,0      ;Primer dato obtenido del ADC
                  MOVWF     DATOE_L
                  MOVF      DATOI_H,0
                  MOVWF     DATOE_H
PROMEDIO_1        DECFSZ   CONTA6,1
                  GOTO     PROMEDIO_2
                  GOTO     DIVISION_10
PROMEDIO_2        CALL      ADC
                  BCF      ESTADO,0        ;CARRY=0
                  MOVF      DATOI_L,0      ;Otros datos obtenidos del ADC
                  ADDWF     DATOE_L,1      ;Suma de los datos
                  BTFSS    ESTADO,0        ;CARRY=1 ?
                  GOTO     SUM_ALTO        ;No. CARRY=0
                  INCF      DATOE_H,1      ;Si. CARRY=1
                  BCF      ESTADO,0
SUM_ALTO MOVF     DATOI_H,0
                  ADDWF     DATOE_H,1
                  BTFSC    ESTADO,0        ;CARRY=0 ?
                  INCF      DATOF_L,1      ;No.
                  GOTO     PROMEDIO_1      ;Si. lee otro dato

DIVISION_10       CLRf      DIVISOR
                  CLRf      RESTO2
                  CLRf      TEMP1
                  CLRf      TEMP2
                  CLRf      TEMP3
                  MOVF      DATOE_L,0
                  MOVWF     RESTO2
                  MOVF      DATOE_H,0
                  MOVWF     TEMP1
                  MOVF      DATOF_L,0
                  MOVWF     TEMP2
                  MOVLW     d'10'
                  MOVWF     DIVISOR        ;Division entre 10
                  CALL      DIVISION_24
                  NOP
MUESTRO          BSF      PTOA,0          ;Muestra que termina de leer y calcular el dato
                  MOVLW     d'60'        ;A mostrar por el lcd demora 0.2s
                  CALL      DELAY        ;'60'
                  BCF      PTOA,0
                  RETURN

```

```

;RUTINA PARA RESTAR EL VALOR DE TARA
RESTAR      BSF      ESTADO,0      ;Resta el valor de la tara al peso leido
            MOVF     TARA_1,0
            SUBWF    CONTA_L,1      ;CONTA_L = CONTA_L - TARA_1
            BTFSS   ESTADO,0
            GOTO     RESTO_1
RESTO_2     MOVF     TARA_0,0
            SUBWF    CONTA_H,1      ;CONTA_H = CONTA_H - TARA_0
            BTFSS   ESTADO,0
            GOTO     RESTO_3      ;Error en la resta, el resultado debe ser cero
            RETURN

RESTO_1     DECF     CONTA_H,1
            GOTO     RESTO_2

RESTO_3     CLRF     CONTA_H
            CLRF     CONTA_L
            RETURN

;RUTINA PARA CONVERTIR BINARIO A BCD
BIN_BCD     CLRF     T
            CLRF     RESTO
            CLRF     TEMP
            INCF     DATO_H,1      ;DATO_H= DATO_H + 1
            CLRF     CONTA2
            CLRF     CONTA4
            CLRF     BCD_0
            CLRF     BCD_1
BCD         MOVF     DATO_L,0
            MOVWF    RESTO
            MOVF     DATO_H,0
            MOVWF    TEMP
            CLRF     CONTA3
            CLRF     CONTA_L
            CLRF     CONTA_H
DIVIS1     BCF      ESTADO,0
            MOVLW   d'1'
            ADDWF   CONTA_L,1
            BTFSS   ESTADO,0
            GOTO     RESTA1
            INCF     CONTA_H,1
RESTA1     BSF      ESTADO,0
            MOVLW   d'10'
            SUBWF   RESTO,1      ;División entre 10 del numero a convertir
            BTFSC   ESTADO,0
            GOTO     DIVIS1
            DECFSZ  TEMP,1
            GOTO     DIVIS1
CONTA     MOVF     CONTA_L,0
            MOVWF   CONTA2
            MOVF     CONTA_H,0
            MOVWF   CONTA4

```

```

MIRCONT      MOVLW    d'1'                ;Multiplicacion para convertir el numero a BCD
             SUBWF    CONTA_L,1
             BTFSC    ESTADO,0
             GOTO     MULT
             DECF     CONTA_H,1
MULT         INCF     CONTA_L,1
             DECFSZ   CONTA_L,1
             GOTO     SUMAS
             BTFSS   CONTA_H,0
             GOTO     OBSER
SUMAS       MOVLW    d'6'
             ADDWF   DATO_L,1
             BTFSS   ESTADO,0
             GOTO     MIRCONT
             INCF    DATO_H,1
             GOTO     MIRCONT

OBSER       DECFSZ   CONTA4,1
             GOTO     ANALIS
             GOTO     CONTIN
ANALIS      MOVLW    d'11'               ;Se mira si el numero a convertir es
             SUBWF   CONTA2,0           ;Mayor que 100 para tratarlo diferente
             BTFSC   ESTADO,0
             GOTO     CONTIN
             GOTO     NORMAL

CONTIN      BTFSC    T,0                ;Se toma el nibble menos significativo
             GOTO     MIL                ;Y se guarda en BCD_1,el resto se vuelve
             MOVLW   d'15'              ;A analizar
             ANDWF   DATO_L,0
             MOVWF   BCD_1
             MOVLW   d'240'
             ANDWF   DATO_L,1
             SWAPF   DATO_L,1
             DECF   DATO_H,1
             SWAPF   DATO_H,1
             MOVLW   d'240'
             ANDWF   DATO_H,0
             IORWF   DATO_L,1
             MOVLW   d'15'
             ANDWF   DATO_H,1
             INCF   DATO_H,1
             INCF   T,1
             GOTO     BCD

MIL         MOVLW    d'15'
             ANDWF   DATO_L,0
             MOVWF   CONTA3
             SWAPF   CONTA3,0
             IORWF   BCD_1,1
             MOVLW   d'240'
             ANDWF   DATO_L,1

```

```

        SWAPF   DATO_L,1
        DECF   DATO_H,1
        SWAPF   DATO_H,1
        MOVLW  d'240'
        ANDWF  DATO_H,0
        IORWF  DATO_L,1
        MOVLW  d'15'
        ANDWF  DATO_H,1
        INCF   DATO_H,1
        INCF   T,1
        GOTO   BCD

NORMAL      MOVLW  d'1'
            SUBWF  T,0
            BTFSZ ESTADO,0      ;Si la bandera es cero es por que el
            GOTO   BYTE          ;numero a convertir es menor que 100
            GOTO   NIBBLE        ;y se envia en forma normal a BCD_1

NIBBLE     MOVF   DATO_L,0
            MOVWF  BCD_1
            GOTO   RETU

BYTE       DECFSZ T,1
            GOTO   MAYOR
            MOVLW  d'15'        ;Si la bandera es uno es por que el numero
            ANDWF  DATO_L,0      ;es mayor que 100 pero menor que 1000
            MOVWF  CONTA3        ;y se envia en forma especial a la salida
            SWAPF  CONTA3,0      ;BCD_1 y BCD_0
            IORWF  BCD_1,1
            MOVLW  d'240'
            ANDWF  DATO_L,0
            MOVWF  CONTA3
            SWAPF  CONTA3,0
            MOVWF  BCD_0
            GOTO   RETU

MAYOR     DECFSZ T,1          ;Si la bandera es dos es por que el numero
            GOTO   RETU          ;es mayor que 1000 y se envia en forma especial
            MOVLW  d'15'        ;a la salida BCD_1 y BCD_0
            ANDWF  DATO_L,0
            MOVWF  CONTA3
            MOVWF  BCD_0
            MOVLW  d'240'
            ANDWF  DATO_L,0
            MOVWF  CONTA3
            IORWF  BCD_0,1
            GOTO   RETU

RETU      NOP
            RETURN

;RUTINA DE MULTIPLICACIÓN DE 16X16 DE DOS NUMEROS
MUL16X16 CLRF   CONTADOR
            CLRF   DATOD_H

```

```

        CLRF    DATOD_L
        CLRF    DATOC_H
        CLRF    DATOC_L
        MOVLW  d'16'
        MOVWF  CONTADOR

MUL_LOOP RRF    DATOE_H,1
        RRF    DATOB_L,1
        BTFSS  ESTADO,0
        GOTO   NO_SUMA
        MOVF   DATOA_L,0
        ADDWF  DATOD_L,1
        BTFSC  ESTADO,0
        INCF   DATOD_H,1
        MOVF   DATOA_H,0
        ADDWF  DATOD_H,1
NO_SUMA  RRF    DATOD_H,1
        RRF    DATOD_L,1
        RRF    DATOC_H,1
        RRF    DATOC_L,1
        DECFSZ CONTADOR,1
        GOTO   MUL_LOOP
        RETURN

;RUTINA DE DIVISION DE UN NUMERO DE 32 BITS (cuatro registros) ENTRE EL VALOR CARGADO EN DIVISOR
DIVISION_24  CLRF    CONTA_L
            CLRF    CONTA_H
            CLRF    CONTB_L
            INCF    TEMP3,1                ;TEMP3=TEMP3+1 se incrementa TEMP3
DIVISION BCF    ESTADO,0                ;para poder realizar la division
            MOVLW  d'1'
            ADDWF  CONTA_L,1
            BTFSS  ESTADO,0
            GOTO   RESTA_24
            MOVLW  d'1'
            ADDWF  CONTA_H,1
            BTFSS  ESTADO,0
            GOTO   RESTA_24
            INCF   CONTB_L,1
RESTA_24 BSF    ESTADO,0
            MOVF   DIVISOR,0                ;Numero por el que se quiere dividir
            SUBWF  RESTO2,1
            BTFSC  ESTADO,0
            GOTO   DIVISION
            BSF    ESTADO,0
            MOVLW  d'1'
            SUBWF  TEMP1,1
            BTFSC  ESTADO,0
            GOTO   DIVISION
            BSF    ESTADO,0
            MOVLW  d'1'
            SUBWF  TEMP2,1

```

```

BTFSZ   ESTADO,0
GOTO    DIVISION
DECF    TEMP3,1
GOTO    DIVISION
DECF    CONTA_L,1
RETURN

;-----

;=====
;RUTINA PARA GENERAR MENSAJES
;=====
MENSAJE MOVWF   TABLA
                CLRF   CADENA
ETQOMEN        BSF    PCLATH,4      ;Pagina 1 de memoria de programa
                CALL   BUSCARTABLA
                BCF    PCLATH,4      ;Pagina 0 de memoria de programa
                INCF   CADENA,1
                MOVWF  DATO_TABLA
                MOVF   DATO_TABLA,0
                BTFSZ  ESTADO,2
                GOTO   FINMEN
                MOVLW  D'01'
                SUBWF  DATO_TABLA,0
                BTFSZ  ESTADO,2
                GOTO   ESCARACTER
ESINSTRUC      BSF    PCLATH,4
                CALL   BUSCARTABLA
                BCF    PCLATH,4
                INCF   CADENA,1
                CALL   LCD_REG
                GOTO   ETQOMEN
ESCARACTER     MOVF   DATO_TABLA,0
                CALL   LCD_DATO
                GOTO   ETQOMEN
FINMEN         RETURN

;-----

;=====
;RUTINAS PARA DETECTAR LAS TECLAS OK,G Y M
;=====
TECLA_OK CALL   KEY_SCAN
                BTFSZ  BANDERA_TMR0,0
                GOTO   EXPLORA_TMR0
                MOVLW  0X80
                SUBWF  TECLA,0
                BTFSZ  ESTADO,2
                GOTO   TECLA_OK
                CALL   KEY_OFF
                CALL   KEY_HEX
                MOVF   TECLA,0
                XORLW  0X0E
                RETURN

```

```

TECLA_G      CALL    KEY_SCAN
             MOVLW  0X80
             SUBWF  TECLA,0
             BTFSC  ESTADO,2
             GOTO   TECLA_G
             CALL   KEY_OFF
             CALL   KEY_HEX
             MOVF   TECLA,0
             XORLW  0X0C
             RETURN

```

```

TECLA_M      CALL    KEY_SCAN
             BTFSC  BANDERA_TMR1,0
             GOTO   INICIO
             MOVLW  0X80
             SUBWF  TECLA,0
             BTFSC  ESTADO,2
             GOTO   TECLA_M
             CALL   KEY_OFF
             CALL   KEY_HEX
             MOVF   TECLA,0
             XORLW  0X0D
             RETURN

```

```

;-----

```

```

;=====
;RUTINAS PARA MUESTRAR LAS TECLAS PULSADAS EN EL LCD
;=====

```

```

;RUTINA PARA MOSTRAR EL GRUPO DE TRABAJO PULSADO

```

```

GRUPO        CLRF    GR_1
             CLRF    GR_2
             CLRF    GR_3
             CALL    KEY_SCAN           ;Se toman los numeros pulsados para saber el
             MOVLW  0X80               ;Grupo de trabajo la forma es 'X-XX'
             SUBWF  TECLA,0
             BTFSC  ESTADO,2
             GOTO   GRUPO
             CALL   KEY_OFF
             CALL   KEY_HEX
             MOVF   TECLA,0
             XORLW  0X0A
             BTFSC  ESTADO,2           ;Tecla A pulsada ?
             GOTO   MUESTRA_TECLA      ;Si
             MOVF   TECLA,0           ;No
             XORLW  0X0B
             BTFSC  ESTADO,2           ;Tecla B pulsada ?
             GOTO   MUESTRA_TECLA      ;Si
             GOTO   GRUPO              ;No. continua explorando el teclado

MUESTRA_TECLA MOVF   TECLA,0           ;Guarda la tecla pulsada en GR_3
             MOVWF  GR_3

```

```

BSF    PCLATH,3        ;Pagina 1 de memoria de programa
CALL   HEX_ASCII      ;Muestra las teclas pulsadas en LCD
BCF    PCLATH,3        ;Pagina 0 de memoria de programa
CALL   LCD_DATO
INCFSZ BANDERA,1
GOTO   GRUPO_2
RAYA   MOVW 0X2D
CALL   LCD_DATO
MOVF   GR_3,0          ;Mueve el valor de GR_3 a GR_1
MOVWF  GR_1
GRUPO_1 MOVW 3
MOVWF  CONTA7
GRUPO_2 DECFSZ CONTA7,1
GOTO   GRUPO_3
RETURN
GRUPO_3 MOVF GR_3,0          ;Mueve el valor de GR_3 a GR_2
MOVWF  GR_2
CALL   KEY_SCAN
MOVLW 0X80
SUBWF  TECLA,0
BTFSZ  ESTADO,2        ;Pulsó alguna tecla ?
GOTO   GRUPO_3         ;No
CALL   KEY_OFF         ;Si. muestra en LCD
CALL   KEY_HEX
BSF    ESTADO,0
MOVF   TECLA,0
SUBLW  d'9'
BTFSZ  ESTADO,0        ;Carry=0 ?
GOTO   MUESTRA_TECLA   ;No. la tecla pulsada es un numero
GOTO   GRUPO_3         ;Si. la tecla pulsada es una letra

;RUTINA PARA MOSTRAR EL NUMERO DE DATOS PULSADO
NUMERO CLRF GR_1
CLRF   GR_2
CLRF   GR_3
CLRF   CONTA7
MOVLW  d'255'
MOVWF  BANDERA
MOVLW  4
MOVWF  CONTA7
NUMERO_1 DECFSZ CONTA7,1
GOTO   NUMERO_2
GOTO   RET
NUMERO_2 MOVF GR_3,0
MOVWF  GR_2
CALL   KEY_SCAN
MOVLW 0X80
SUBWF  TECLA,0
BTFSZ  ESTADO,2        ;Pulsó alguna tecla ?
GOTO   NUMERO_2        ;No
CALL   KEY_OFF         ;Si. muestra en LCD
CALL   KEY_HEX

```

```

                BCF     ESTADO,0
                MOVF    TECLA,0
                SUBLW   d'9'
                BTFSS  ESTADO,0      ;Carry=1 ?
                GOTO   NUMERO_2      ;No. la tecla pulsada es una letra
                INCFSZ BANDERA,1      ;Si. la tecla es un numero
                GOTO   MUESTRA_NUMERO
                MOVF    TECLA,0
                MOVWF   GR_1
MUESTRA_NUMERO MOVF    TECLA,0
                MOVWF   GR_3
                BSF    PCLATH,3      ;Pag1 memoria de programa
                CALL   HEX_ASCII      ;Muestra las teclas pulsadas en LCD
                BCF    PCLATH,3      ;Pag0 de memoria de programa
                CALL   LCD_DATO
                GOTO   NUMERO_1

RET            SWAPF   GR_2,0
                IORWF  GR_3,0
                MOVWF  GR_2
                RETURN

;-----

;=====
;RUTINAS PARA GUARDAR DATOS EN LA MEMORIA EXTERNA
;=====

;RUTINA PARA GUARDAR EL VALOR DE LA TARA
GUARDAR_TARA  MOVLW   b'10100000'      ;Byte de control
                MOVWF  CONTROLW
                MOVLW  d'2'            ;Byte de direccion bajo
                ADDWF  DIR_L,1
                BTFSC  ESTADO,0      ;Carry=0 ?
                INCF   DIR_H,1        ;No, incrementa el byte de direccion alto

                MOVF   TARA_H,0      ;Si
                MOVWF  DATO_H
                MOVF   TARA_L,0
                MOVWF  DATO_L
                CALL   BIN_BCD
                MOVF   BCD_0,0        ;Byte de dato de salida
                MOVWF  DATAO_1
                MOVF   BCD_1,0        ;Byte de dato de salida
                MOVWF  DATAO_2
                CALL   WRBYTE         ;Escritura en I2C
                BSF    PTOA,0         ;Enciende el led
                MOVLW  d'100'        ;'100'
                CALL   DELAY
                BCF    PTOA,0        ;Apaga el led
                RETURN

;RUTINA PARA GUARDAR EL NOMBRE DEL GRUPO DE TRABAJO
GUARDAR_GRUPO MOVLW   b'10100000'      ;Byte de control

```

```

MOVWF CONTROLW
MOVLW d'2' ;Byte de direccion bajo
ADDWF DIR_L,1
BTFSC ESTADO,0 ;Carry=0 ?
INCF DIR_H,1 ;No, incrementa el byte de direccion alto

MOVF GR_1,0 ;Si, carga el Byte de dato de salida
MOVWF DATAO_1
SWAPF GR_2,0
IORWF GR_3,0 ;Byte de dato de salida
MOVWF DATAO_2
CALL WRBYTE ;Escritura en I2C
BSF PTOA,0 ;Enciende el led
MOVLW d'100' ;'100'
CALL DELAY
BCF PTOA,0 ;Apaga el led
RETURN

;RUTINA PARA GUARDAR EL VALOR DE PESO E INCREMENTAR EL NUMERO DE DATO PESADO
GUARDAR_PESO BCF INTCON,6 ;Desactiva interrupcion para el TMR1
BCF INTCON,7
BCF PIR1,0 ;Limpia bandera del TMR1
MOVLW b'10100000' ;Byte de control
MOVWF CONTROLW
MOVLW d'2' ;Byte de direccion bajo
ADDWF DIR_L,1
BTFSC ESTADO,0 ;Carry=0 ?
INCF DIR_H,1 ;No, incrementa el byte de direccion alto

MOVF BCD_0,0 ;Si, carga el Byte de dato de salida
MOVWF DATAO_1
MOVF BCD_1,0 ;Byte de dato de salida
MOVWF DATAO_2
CALL WRBYTE ;Escritura en I2C
BSF PTOA,0 ;Enciende el led
MOVLW d'100' ;'100'
CALL DELAY
BCF PTOA,0 ;Apaga el led
BSF ESTADO,0
INCF MUESTRAS_1,1 ;Incrementa el numero del dato pesado
MOVLW 0X0F
ANDWF MUESTRAS_1,0
SUBLW 0X09
BTFSC ESTADO,0 ;Carry=0 ?
GOTO REPITA_PESAR ;No.
MOVLW 0XF0 ;Si.
ANDWF MUESTRAS_1,1
MOVLW 0X10
ADDWF MUESTRAS_1,1
MOVLW 0XF0
ANDWF MUESTRAS_1,0
SUBLW 0X90

```

```

BTFSF    ESTADO,0          ;Carry=0 ?
GOTO     REPITA_PESAR      ;No.
CLRF     MUESTRAS_1        ;Si.
INCF     MUESTRAS_0,1
GOTO     REPITA_PESAR

;RUTINA PARA GUARDAR EL ULTIMO VALOR DE PESO
GUARDAR_ULTIMO  MOVLW    b'10100000'          ;Byte de control
                MOVWF    CONTROLW
                MOVLW    d'2'                  ;Byte de direccion bajo
                ADDWF    DIR_L,1
                BTFSF    ESTADO,0              ;Carry=0 ?
                INCF     DIR_H,1                ;No, incrementa el byte de direccion alto

                MOVF     BCD_0,0                ;Si, carga el Byte de dato de salida
                MOVWF    DATAO_1
                MOVF     BCD_1,0                ;Byte de dato de salida
                MOVWF    DATAO_2
                CALL     WRBYTE                  ;Escritura en I2C
                BSF      PTOA,0                 ;Enciende el led
                MOVLW    d'100'                 ;'100'
                CALL     DELAY
                BCF      PTOA,0                 ;Apaga el led
                MOVLW    d'20'                  ;'255'
                CALL     DELAY

;RUTINA PARA GUARDAR EL NUMERO DE DATOS PESADOS
GUARDAR_DATOS   MOVLW    b'10100000'          ;Byte de control
                MOVWF    CONTROLW
                MOVLW    d'2'                  ;Byte de direccion bajo
                ADDWF    DIR_L,1
                BTFSF    ESTADO,0              ;Carry=0 ?
                INCF     DIR_H,1                ;No, incrementa el byte de direccion alto

                MOVF     GR_1,0                 ;Si, carga el Byte de dato de salida
                MOVWF    DATAO_1
                MOVF     GR_2,0                 ;Byte de dato de salida
                MOVWF    DATAO_2
                CALL     WRBYTE                  ;Escritura en I2C
                BSF      PTOA,0                 ;Enciende el led
                MOVLW    d'100'                 ;'100'
                CALL     DELAY
                BCF      PTOA,0                 ;Apaga el led
                MOVLW    d'255'                 ;'255'
                CALL     DELAY
                MOVLW    d'255'                 ;'255'
                CALL     DELAY
                GOTO     PRINCIPAL

;-----
;=====
;RUTINAS UTILIZADAS EN LA COMUNICACION SERIE CON EL COMPUTADOR

```

```

;=====
;Rutina qu compara el código recibido para saber si la rutina a realizar es descargar datos o
borrar
COMUNIC_PC    BSF     ESTADO,5      ;Banco 1
              BCF     PIR1,5        ;Deshabilita interrupción en recepción
              BCF     ESTADO,5      ;Banco 0
              BCF     INTCN,6       ;Deshabilita interrupciones en general
              BCF     INTCN,7
              CLRF    BANDERA_RCIE
              MOVLW   d'82'
              SUBWF   CONTA5,0
              BTFSC   ESTADO,2
              GOTO    BORRAR        ;Codigo para borrar la memoria = d'82'
              MOVLW   d'36'
              SUBWF   CONTA5,0
              BTFSS   ESTADO,2     ;Codigo para descargar datos de la memoria = d'36'
              GOTO    COMUNIC_PC
              GOTO    DESCARGAR

;RUTINA PARA TRANSMITIR LOS DATOS AL COMPUTADOR
TRANSMISION   BSF     ESTADO,5
              TXEN                    ;Activa la transmisión
              BCF     ESTADO,5
              MOVF    DATOA_H,0        ;Dato a transmitir
              MOVWF   TXREG_SPBRG
              BSF     ESTADO,5
TX_DATO_1     BTFSS   RCSTA_TXSTA,1   ;Bandera de transmisión
              GOTO    TX_DATO_1
              BCF     ESTADO,5
              MOVF    DATOA_L,0        ;Dato a transmitir
              MOVWF   TXREG_SPBRG
              BSF     ESTADO,5
TX_DATO_2     BTFSS   RCSTA_TXSTA,1   ;Bandera de transmisión
              GOTO    TX_DATO_2
              BCF     ESTADO,5
              RETURN

;RUTINA PARA DESCARGAR LOS DATOS DE LA MEMORIA EXTERNA EEPROM
DESCARGAR     CALL    BORRA_Y_HOME
              MOVLW   d'13'
              CALL    MENSAJE
              MOVLW   b'10100000'    ;Byte de control para escritura en memoria
EEPROM
              MOVWF   CONTROLW
              MOVLW   b'10100001'    ;Byte de contol para leer en memoria EEPROM
              MOVWF   CONTROLR
              CLRF    BANDERA_2
              CLRF    DATOA_H        ;Registros utilizados para transmitir los datos
              CLRF    DATOA_L
              CLRF    ADDR_H        ;Registros de dirección de memoria
              CLRF    ADDR_L
DESCARGAR_1   CALL    RDBYTE        ;Lectura de datos del PIC por I2C

```

```

MOVLW    d'15'
CALL     DELAY                ;Demora de 50ms
CLRF    CONTA5                ;Organización de los datos para transmitirlos
SWAPF   DATAI_1,0           ;al computador en forma ASCII
MOVWF   CONTA5
MOVLW   0X0F
ANDWF   CONTA5,1
MOVLW   0X30
IORWF   CONTA5,0
MOVWF   DATOA_H
CLRF    CONTA5
MOVF    DATAI_1,0
MOVWF   CONTA5
MOVLW   0X0F
ANDWF   CONTA5,1
MOVLW   0X30
IORWF   CONTA5,0
MOVWF   DATOA_L
CALL    TRANSMISION          ;Transmite los datos al PC
CLRF    CONTA5
SWAPF   DATAI_2,0
MOVWF   CONTA5
MOVLW   0X0F
ANDWF   CONTA5,1
MOVLW   0X30
IORWF   CONTA5,0
MOVWF   DATOA_H
CLRF    CONTA5
MOVF    DATAI_2,0
MOVWF   CONTA5
MOVLW   0X0F
ANDWF   CONTA5,1
MOVLW   0X30
IORWF   CONTA5,0
MOVWF   DATOA_L
CALL    TRANSMISION          ;Transmite los datos al PC
MOVF    DATAI_1,0
SUBLW   h'FF'
BTFS    ESTADO,2             ;FF-DATAI_1=0 ?
GOTO    DESCARGAR_2          ;No
MOVF    DATAI_2,0           ;Si
SUBLW   h'FF'
BTFS    ESTADO,2             ;FF-DATAI_2=0 ?
GOTO    DESCARGAR_2          ;No
INCF    BANDERA_2,1          ;Si
MOVF    BANDERA_2,0
SUBLW   d'3'
BTFS    ESTADO,2             ;BANDERA_2=3 ?
GOTO    DESCARGAR_2          ;No
GOTO    DESCARGAR_3          ;Si,finaliza descarga de datos

DESCARGAR_2    MOVLW    d'2'

```

```

        ADDWF  ADDR_L,1
        BTFSS  ESTADO,0      ;Carry=1 ?
        GOTO   DESCARGAR_1   ;No,descarga otro dato
        INCF   DIR_H,1       ;Si,incrementa el byte alto de direccion
        MOVLW  h'20'
        SUBWF  DIR_H,0
        BTFSS  ESTADO,2      ;DIR_H - '20'h =0 ?
        GOTO   DESCARGAR_1   ;No,descarga otro dato
DESCARGAR_3  MOVLW  d'36'     ;Si,termina la rutina de descarga de datos
        MOVWF  DATOA_H
        MOVLW  d'36'
        MOVWF  DATOA_L
        CALL   TRANSMISION
        MOVLW  d'255'        ;'255'
        CALL   LCD_DELAY
        MOVLW  d'14'
        CALL   MENSAJE
        MOVLW  d'255'        ;'255'
        CALL   LCD_DELAY
        GOTO   PRINCIPAL     ;Regresa al programa principal

;RUTINA PARA BORRAR LOS DATOS DE LA MEMORIA EXTERNA EEPROM
BORRAR      CALL   BORRA_Y_HOME
        MOVLW  d'15'
        CALL   MENSAJE
        CLRF   DIR_H        ;Registros de dirección de memoria
        CLRF   DIR_L
BORRAR_1    MOVLW  b'10100000' ;Byte de control
        MOVWF  CONTROLW
        MOVLW  h'FF'        ;Byte 1 de dato de salida
        MOVWF  DATAO_1
        MOVLW  h'FF'        ;Byte 2 de dato de salida
        MOVWF  DATAO_2
        CALL   WRBYTE       ;Escritura en memoria externa
        MOVLW  d'5'
        CALL   DELAY        ;RETARDO DE 15ms
        MOVLW  d'2'
        ADDWF  DIR_L,1
        BTFSS  ESTADO,0      ;Carry=1 ?
        GOTO   BORRAR_1     ;No,continua borrando la memoria
        INCF   DIR_H,1
        MOVLW  h'20'
        SUBWF  DIR_H,0
        BTFSS  ESTADO,2      ;DIR_H - 20 =0 ?
        GOTO   BORRAR_1     ;No,continua borrando la memoria
        MOVLW  d'82'        ;Si,termina la rutina de borrar memoria
        MOVWF  DATOA_H
        MOVLW  d'82'
        MOVWF  DATOA_L
        CALL   TRANSMISION
        MOVLW  d'255'        ;Si,termina la rutina de borrado ;'255'

```

```

CALL    LCD_DELAY
MOVLW  d'16'
CALL    MENSAJE
MOVLW  d'255'           ;'255'
CALL    LCD_DELAY
CLRF   DIR_H           ;Registros de dirección de memoria
CLRF   DIR_L
GOTO   PRINCIPAL      ;Regresa al programa principal
;-----

;=====
;RUTINA DE RETARDO VARIABLE (maximo 1seg) ;(((3*TEMP_3)+5)*TEMP_2)+5)*TEMP_1
;=====
DELAY      MOVWF  TEMP_1
TRES      MOVLW  d'50'           ;'50'
          MOVWF  TEMP_2
DOS       MOVLW  d'23'           ;'23'
          MOVWF  TEMP_3
UNO       DECFSZ TEMP_3,1
          GOTO   UNO
          DECFSZ TEMP_2,1
          GOTO   DOS
          DECFSZ TEMP_1,1
          GOTO   TRES
          RETURN
;-----

;=====
;RUTINAS DE INTERRUPCION DEL PROGRAMA PRINCIPAL
;=====
INTERRUPCION  BTFSC  INTCON,2
              GOTO   IN_TMR0
              BTFSC  PIR1,0
              GOTO   IN_TMR1
              BTFSC  PIR1,5
              GOTO   IN_RECEPCION
              RETFIE

IN_TMR0      BCF    INTCON,2
              DECFSZ CONT_TMR0,1
              RETFIE
              BSF   BANDERA_TMR0,0
              RETFIE

IN_TMR1      BCF    PIR1,0
              DECFSZ CONT_TMR1,1
              RETFIE
              BSF   BANDERA_TMR1,0
              RETFIE

IN_RECEPCION BCF    PIR1,5
              CLRF  CONTA5

```

```

MOVWF  RCREG,0
MOVWF  CONTA5
BSF    BANDERA_RCIE,0
RETFIE

;-----

;=====
;
;                               CONFIGURACION Y BIENVENIDA
;=====
INICIO      MOVLW  d'100'          ;'100' demora de 0.3s para estabilizar tensión
            CALL   LCD_DELAY
            CALL   UP_ADC          ;Configura el PIC para trabajar con el ADC
            CALL   KEY_UP         ;Configura el PIC para trabajar con el Teclado
            BSF    ESTADO,5
            BSF    PTOC,1         ;Se define tecla 'TARA' en RC1
            BSF    PTOC,5         ;Se define tecla 'PESAR' en RC5
            BSF    PTOC,SDA       ;Linea de comunicación I2C,SDA como entrada
            BSF    PTOC,SCL       ;Linea de comunicación I2C,SCL como entrada
            BCF    PTOC,6         ;Configura el pin de Transmision
            BSF    PTOC,7         ;Configura el pin de Recepcion
            BCF    ESTADO,5
            CALL   USART          ;Configura el PIC para comunicación USART
            CALL   UP_LCD         ;Configura el PIC para el uso del LCD
            BCF    INTCON,2       ;Limpia banderas de interrupciones
            BCF    PIR1,0
            BCF    PIR1,5
            CLRF   BANDERA_TMR0
            CLRF   BANDERA_TMR1
            CLRF   BANDERA_RCIE
            CALL   LCD_INI        ;Inicializa el LCD
            CALL   DISP_ON_CUR_OFF
            MOVLW  d'00'          ;Mensajes de bienvenida
            CALL   MENSAJE
            MOVLW  d'255'        ;'255'
            CALL   LCD_DELAY
            CALL   BORRA_Y_HOME
            MOVLW  d'01'
            CALL   MENSAJE
            MOVLW  d'255'        ;'255'
            CALL   LCD_DELAY
            CALL   BORRA_Y_HOME
            MOVLW  d'02'
            CALL   MENSAJE
            MOVLW  d'255'        ;'255'
            CALL   LCD_DELAY
            CALL   BORRA_Y_HOME
            MOVLW  d'03'
            CALL   MENSAJE
            MOVLW  d'255'        ;'255'
            CALL   LCD_DELAY
            CALL   BORRA_Y_HOME
            MOVLW  d'12'

```

```

CALL    MENSAJE
MOVLW  d'255'           ;'255'
CALL    LCD_DELAY
MOVLW  d'04'
CALL    MENSAJE
MOVLW  d'255'           ;'255'
CALL    LCD_DELAY
;-----

;=====
;
;                               PROGRAMA PRINCIPAL
;=====
PRINCIPAL    MOVLW  d'05'
              CALL   MENSAJE
              BSF   ESTADO,5           ;Banco 1
              BSF   PIR1,5             ;Activa interrupción en recepción
              BCF   ESTADO,5           ;Banco 0
              MOVLW b'10010000'
              MOVWF RCSTA_TXSTA        ;Habilita recepcion continua
              MOVLW b'11000000'
              MOVWF INTCON             ;Habilita interrupciones en general
              CALL  TARA                ;Realiza la rutina Tara
              BSF   ESTADO,5           ;Banco 1
              BCF   PIR1,5             ;Deshabilita interrupción en recepción
              BCF   ESTADO,5           ;Banco 0
              BCF   INTCON,6           ;Deshabilita interrupciones en general
              BCF   INTCON,7
              MOVLW d'100'             ;'100'
              CALL  LCD_DELAY
              MOVLW d'06'
              CALL  MENSAJE
              CLRF  MUESTRAS_0         ;Inicializa numero de datos a pesar
              MOVLW d'1'
              MOVWF MUESTRAS_1
              MOVLW d'130'             ;Carga contadores de los TMR's
              MOVWF CONT_TMR0
              MOVLW d'50'
              MOVWF CONT_TMR1
              MOVLW d'255'
              MOVWF CONTA_TMR
              BSF   ESTADO,5           ;Configura TMR0
              MOVLW b'01010111'
              MOVWF OPCION
              BCF   ESTADO,5           ;Carga el valor del TMR0 (d'1')
              MOVLW d'1'
              MOVWF OPCION
              BSF   INTCON,5           ;Activa interrupcion para el TMR0
              BSF   INTCON,7
REPITA_TARA  CALL  TECLA_OK
              BTFS  ESTADO,2           ;Tecla OK pulsada ?
              GOTO  REPITA_TARA        ;No. continua explorando hasta rebosar TMR0
              BCF   INTCON,5           ;Si, desactiva interrupcion para el TMR0

```

```

BCF      INTCON,7
CALL     GUARDAR_TARA           ;Guarda el valor de la Tara
MOVLW   d'255'                 ;'255'
CALL     LCD_DELAY
CALL     BORRA_Y_HOME
MOVLW   d'07'
CALL     MENSAJE
REPITA_GRUPO CLRF     CONTA7           ;Espera que se teclee el grupo de trabajo
MOVLW   d'255'
MOVWF   BANDERA
CALL     TECLA_G
BTFS    ESTADO,2               ;Tecla G pulsada ?
GOTO    REPITA_GRUPO           ;No
MOVLW   d'255'                 ;Si.'255'
CALL     LCD_DELAY
MOVLW   d'08'
CALL     MENSAJE
MOVLW   b'00001111'           ;Configura parpadeo del cursor
CALL     LCD_REG
MOVLW   0XC0                   ;Posiciona el LCD para escribir el # tecleado
CALL     LCD_REG
CALL     GRUPO                 ;Espera que se digite el grupo de trabajo
CALL     TECLA_OK
BTFS    ESTADO,2               ;Tecla OK pulsada ?
GOTO    REPITA_GRUPO           ;No
CALL     GUARDAR_GRUPO         ;Si, guarda el nombre del grupo
REPITA_DATOS MOVLW   d'130'           ;Carga el contador del TMR0
MOVWF   CONT_TMR0
CALL     DISP_ON_CUR_OFF       ;Apaga el cursor
MOVLW   d'100'                 ;'100'
CALL     LCD_DELAY
MOVLW   d'09'
CALL     MENSAJE
MOVLW   b'00001111'           ;Configura parpadeo del cursor
CALL     LCD_REG
MOVLW   0XC0                   ;Posiciona el LCD para escribir el # tecleado
CALL     LCD_REG
CALL     NUMERO                 ;Espera que se digite el numero de datos

BSF     ESTADO,5               ;Configura TMR0
MOVLW   b'01010111'
MOVWF   OPCION
BCF     ESTADO,5               ;Carga el valor del TMR0 (d'1')
MOVLW   d'1'
MOVWF   OPCION
BSF     INTCON,5               ;Activa interrupcion para el TMR0
BSF     INTCON,7
INCF   CONTA_TMR,1
REPITA_TECLA CALL     TECLA_OK
BTFS    ESTADO,2               ;Tecla OK pulsada ?
GOTO    REPITA_TECLA           ;No, continua explorando hasta rebosar TMR0
BCF     INTCON,5               ;Si, desactiva interrupcion para el TMR0

```

```

BCF      INTCON,7
CALL     DISP_ON_CUR_OFF      ;Apaga el cursor
REPITA_PESAR  MOVLW  d'50'      ;Carga el contador del TMR1
MOVWF    CONT_TMR1
BCF      INTCON,6            ;Desactiva interrupcion para el TMR1
BCF      INTCON,7
MOVLW    d'100'              ;'100'
CALL     LCD_DELAY
MOVLW    d'10'
CALL     MENSAJE
CALL     PESAR
MOVLW    d'100'              ;'100'
CALL     LCD_DELAY
MOVLW    d'11'
CALL     MENSAJE
MUESTRA_PESO  MOVLW  0xC0      ;Primera posicion de segunda fila
CALL     LCD_REG              ;Muestra el valor del peso en el LCD
CLRF     CONTA5
SWAPF    BCD_0,0
MOVWF    CONTA5
MOVLW    0X0F
ANDWF    CONTA5,1
MOVLW    0X30
IORWF    CONTA5,0
CALL     LCD_DATO
CLRF     CONTA5
MOVF     BCD_0,0
MOVWF    CONTA5
MOVLW    0X0F
ANDWF    CONTA5,1
MOVLW    0X30
IORWF    CONTA5,0
CALL     LCD_DATO
CLRF     CONTA5
SWAPF    BCD_1,0
MOVWF    CONTA5
MOVLW    0X0F
ANDWF    CONTA5,1
MOVLW    0X30
IORWF    CONTA5,0
CALL     LCD_DATO
CLRF     CONTA5
MOVF     BCD_1,0
MOVWF    CONTA5
MOVLW    0X0F
ANDWF    CONTA5,1
MOVLW    0X30
IORWF    CONTA5,0
CALL     LCD_DATO
MOVLW    'g'
CALL     LCD_DATO
MUESTRA_DATO  MOVLW  0xCD      ;Muestra el numero del dato en el LCD

```

```

CALL    LCD_REG
CLRF    CONTA5
MOVWF  MUESTRAS_0,0
MOVWF  CONTA5
MOVLW  0X0F
ANDWF  CONTA5,1
MOVLW  0X30
IORWF  CONTA5,0
CALL    LCD_DATO
CLRF    CONTA5
SWAPF  MUESTRAS_1,0
MOVWF  CONTA5
MOVLW  0X0F
ANDWF  CONTA5,1
MOVLW  0X30
IORWF  CONTA5,0
CALL    LCD_DATO
CLRF    CONTA5
MOVWF  MUESTRAS_1,0
MOVWF  CONTA5
MOVLW  0X0F
ANDWF  CONTA5,1
MOVLW  0X30
IORWF  CONTA5,0
CALL    LCD_DATO
CLRF    CONTA5
MOVWF  MUESTRAS_1,0
MOVWF  CONTA5
MOVLW  0X0F
ANDWF  CONTA5,1
MOVLW  0X30
IORWF  CONTA5,0
CALL    LCD_DATO
CLRF    CONTA5
MOVWF  MUESTRAS_1,0
SUBWF  GR_2,0
BTFS   ESTADO,2           ;Z=0 ?
GOTO   CHEQUEA_DATO      ;No, revisa el otro contador de datos
MOVLW  b'00110001'      ;Si, configura el TMR1
MOVWF  T1CON
BCF    PIR1,0           ;Limpia bandera del TMR1
CLRF  TMR1L             ;Carga el valor del TMR1 (d'0')
CLRF  TMR1H
BSF    ESTADO,5
BSF    PIR1,0           ;Activa interrupcion para el TMR1
BCF    ESTADO,5
BSF    INTCON,6
BSF    INTCON,7
ESPERA_TECLA CALL    TECLA_M           ;Espera que se pulse una tecla
BTFS   ESTADO,2         ;Tecla M pulsada ?
GOTO   GUARDAR_PESO     ;Si, guarda el valor del peso
MOVWF  TECLA,0          ;No
XORLW  0X0E
BTFS   ESTADO,2         ;Tecla OK pulsada ?
GOTO   REPITA_PESAR     ;Si, sigue pesando sin guardar el dato anterior
GOTO   ESPERA_TECLA     ;No, continua explorando hasta rebosar el TMR1

CHEQUEA_DATO MOVF  MUESTRAS_0,0
SUBWF  GR_1,0
BTFS   ESTADO,2         ;Z=0 ?

```

```

trabajo      GOTO    GUARDAR_ULTIMO      ;No, inicia el proceso para otro grupo de
            GOTO    ESPERA_TECLA      ;Si, espera que se pulse una tecla

EXPLORA_TMRO CLRF    BANDERA_TMRO
            INCF    CONTA_TMR,1      ;Explora TMR0 para saber a que punto debe
            GOTO    REPITA_DATOS     ;devolverse
            GOTO    PRINCIPAL

```

=====

; TABLAS UTILIZADAS

=====

```

                ORG    0X800          ;Banco 1 Memoria de Programa
; TABLA DE TECLA
KEY_TABLA      MOVW    KEY_TABLA/H'100'
                MOVWF   PCLATH
                MOVF    KEY_1,0      ;Tabla de código hexadecimal
                ADDWF   PCL,1        ;Calcula desplazamiento
                RETLW   0XE7         ;0
                RETLW   0X7E         ;1
                RETLW   0X7D         ;2
                RETLW   0X7B         ;3
                RETLW   0XBE         ;4
                RETLW   0XBD         ;5
                RETLW   0XBB         ;6
                RETLW   0XDD         ;7
                RETLW   0XDB         ;8
                RETLW   0XD7         ;9
                RETLW   0XEB         ;A
                RETLW   0XDE         ;B
                RETLW   0X77         ;Grupo
                RETLW   0XB7         ;Memoria
                RETLW   0XED         ;OK

```

; TABLA PARA CONVERTIR DE HEXADECIMAL A ASCII

```

HEX_ASCII      MOVW    HEX_ASCII/H'100'
                MOVWF   PCLATH
                MOVF    TECLA,0
                ADDWF   PCL,1        ;Convierte TECLA de hexadecimal a ASCII
                RETLW   '0'
                RETLW   '1'
                RETLW   '2'
                RETLW   '3'
                RETLW   '4'
                RETLW   '5'
                RETLW   '6'
                RETLW   '7'
                RETLW   '8'
                RETLW   '9'
                RETLW   'A'
                RETLW   'B'

```

ORG 0X1000

;Banco 2 Memoria de Programa

;TABLAS DE MENSAJES

```
TABLA_0      MOVLW  TABLA_0/H'100'  
             MOVWF  PCLATH  
             MOVF   CADENA,0  
             ADDWF  PCL,1  
             DT     H'01',H'01'  
             DT     "      BECCS  "  
             DT     H'01',H'C0'  
             DT     "      PROTOTIPO  "  
             RETLW  .00      ;FIN DE MENSAJE
```

```
TABLA_1      MOVLW  TABLA_1/H'100'  
             MOVWF  PCLATH  
             MOVF   CADENA,0  
             ADDWF  PCL,1  
             DT     H'01',H'01'  
             DT     " Construida por "  
             RETLW  .00      ;FIN DE MENSAJE
```

```
TABLA_2      MOVLW  TABLA_2/H'100'  
             MOVWF  PCLATH  
             MOVF   CADENA,0  
             ADDWF  PCL,1  
             DT     H'01',H'01'  
             DT     " NIDIA QUINTERO "  
             DT     H'01',H'C0'  
             DT     " ERWING PARRA  "  
             RETLW  .00      ;FIN DE MENSAJE
```

```
TABLA_3      MOVLW  TABLA_3/H'100'  
             MOVWF  PCLATH  
             MOVF   CADENA,0  
             ADDWF  PCL,1  
             DT     H'01',H'01'  
             DT     "      Director"  
             DT     H'01',H'C0'  
             DT     " JOSE A. AMAYA"  
             RETLW  .00      ;FIN DE MENSAJE
```

```
TABLA_4      MOVLW  TABLA_4/H'100'  
             MOVWF  PCLATH  
             MOVF   CADENA,0  
             ADDWF  PCL,1  
             DT     H'01',H'01'  
             DT     "      U.I.S.  "  
             DT     H'01',H'C0'  
             DT     "      E3T    "  
             RETLW  .00      ;FIN DE MENSAJE
```

```

TABLA_5      MOVLW   TABLA_5/H'100'
              MOVWF   PCLATH
              MOVF    CADENA,0
              ADDWF   PCL,1
              DT      H'01',H'01'
              DT      " Pulse TARA"
              RETLW   .00      ;FIN DE MENSAJE

TABLA_6      MOVLW   TABLA_6/H'100'
              MOVWF   PCLATH
              MOVF    CADENA,0
              ADDWF   PCL,1
              DT      H'01',H'01'
              DT      " Balanza"
              DT      H'01',H'C0'
              DT      " inicializada"
              RETLW   .00      ;FIN DE MENSAJE

TABLA_7      MOVLW   TABLA_7/H'100'
              MOVWF   PCLATH
              MOVF    CADENA,0
              ADDWF   PCL,1
              DT      H'01',H'01'
              DT      " Pulse G "
              RETLW   .00      ;FIN DE MENSAJE

              ORG     0X1100

TABLA_8      MOVLW   TABLA_8/H'100'
              MOVWF   PCLATH
              MOVF    CADENA,0
              ADDWF   PCL,1
              DT      H'01',H'01'
              DT      "Grupo de trabajo"
              RETLW   .00      ;FIN DE MENSAJE

TABLA_9      MOVLW   TABLA_9/H'100'
              MOVWF   PCLATH
              MOVF    CADENA,0
              ADDWF   PCL,1
              DT      H'01',H'01'
              DT      "Numero de datos "
              RETLW   .00      ;FIN DE MENSAJE

TABLA_10     MOVLW   TABLA_10/H'100'
              MOVWF   PCLATH
              MOVF    CADENA,0
              ADDWF   PCL,1
              DT      H'01',H'01'
              DT      "Coloque objeto"
              DT      H'01',H'C0'
              DT      "y pulse PESAR "

```

```

RETLW .00 ;FIN DE MENSAJE

TABLA_11 MOVLW TABLA_11/H'100'
MOVWF PCLATH
MOVF CADENA,0
ADDWF PCL,1
DT H'01',H'01'
DT "Peso Dato"
RETLW .00 ;FIN DE MENSAJE

TABLA_12 MOVLW TABLA_12/H'100'
MOVWF PCLATH
MOVF CADENA,0
ADDWF PCL,1
DT H'01',H'01'
DT " Codirector"
DT H'01',H'C0'
DT " JUAN B. DUARTE"
RETLW .00 ;FIN DE MENSAJE

TABLA_13 MOVLW TABLA_13/H'100'
MOVWF PCLATH
MOVF CADENA,0
ADDWF PCL,1
DT H'01',H'01'
DT " Descargando"
DT H'01',H'C0'
DT "Datos de memoria"
RETLW .00 ;FIN DE MENSAJE

TABLA_14 MOVLW TABLA_14/H'100'
MOVWF PCLATH
MOVF CADENA,0
ADDWF PCL,1
DT H'01',H'01'
DT " Descarga"
DT H'01',H'C0'
DT " Finalizada"
RETLW .00 ;FIN DE MENSAJE

TABLA_15 MOVLW TABLA_15/H'100'
MOVWF PCLATH
MOVF CADENA,0
ADDWF PCL,1
DT H'01',H'01'
DT " BORRANDO "
DT H'01',H'C0'
DT " MEMORIA"
RETLW .00 ;FIN DE MENSAJE

ORG 0X1205

```

```

TABLA_16 MOVLW   TABLA_16/H'100'
                MOVWF  PCLATH
                MOVF   CADENA,0
                ADDWF  PCL,1
                DT     H'01',H'01'
                DT     "  MEMORIA"
                DT     H'01',H'00'
                DT     "  BORRADA"
                RETLW  .00      ;FIN DE MENSAJE

```

```

ORG    0X1230

```

```

;RUTINA PARA BUSCAR EL MENSAJE A MOSTRAR
BUSCARTABLA    MOVLW   BUSCARTABLA/H'100'
                MOVWF  PCLATH
                MOVF   TABLA,0
                ADDWF  PCL,1
                GOTO   TABLA_0
                GOTO   TABLA_1
                GOTO   TABLA_2
                GOTO   TABLA_3
                GOTO   TABLA_4
                GOTO   TABLA_5
                GOTO   TABLA_6
                GOTO   TABLA_7
                GOTO   TABLA_8
                GOTO   TABLA_9
                GOTO   TABLA_10
                GOTO   TABLA_11
                GOTO   TABLA_12
                GOTO   TABLA_13
                GOTO   TABLA_14
                GOTO   TABLA_15
                GOTO   TABLA_16
                END

```