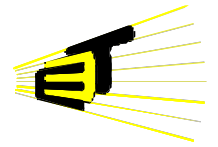




UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
Perfecta Combinación entre Energía e Intelecto



**AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS DE UNA MÁQUINA DE
TRACCIÓN LENTA, ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL.**

OSCAR ENRIQUE GONZÁLEZ MUÑOZ Cod: 2012336
DIANA CAROLINA JAIMES BALCUCHO Cod: 2012326

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

2007

**AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS DE UNA MÁQUINA DE
TRACCIÓN LENTA, ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**OSCAR ENRIQUE GONZÁLEZ MUÑOZ
DIANA CAROLINA JAIMES BALCUCHO**

**Proyecto de grado para optar el título de
Ingeniero Electrónico**

Director:

M.I. (C) JOSÉ ALEJANDRO AMAYA PALACIO

Codirector:

PH.D GUSTAVO CHIO CH

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
2007**

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que apoyaron y participaron en la realización de este proyecto de grado, especialmente a nuestro director el profesor José Alejandro Amaya por su respaldo incondicional y por los valiosos aportes académicos y de formación personal compartidos durante la realización de este trabajo. . A los directivos de la Escuela de Ingeniería Civil por su apoyo económico y compromiso total en la realización de este proyecto. Agradecemos también a nuestro codirector, por guiarnos paciente y acertadamente en la culminación de este logro, por su constante apoyo, y compromiso. Al Ingeniero Cristian Espitia por los aportes realizados, los cuales fueron determinantes para conseguir las metas propuestas. Agradecemos también a la Ingeniera Martha Sepúlveda Gómez por la ayuda brindada en todo el proceso, por el apoyo incondicional en la realización del libro y por su tiempo dedicado a la asesoría en muchas ocasiones indispensables para la realización del proyecto y a nuestros familiares y amigos, por su presencia, respaldo y optimismo, que nos impulsaron a perseverar en la realización de nuestro trabajo de grado.

Dedico este logro a Dios, por sus infinitas bendiciones y por iluminar siempre mi vida con su presencia. A mi familia, quienes son mi más grande fuente de inspiración, todo mi trabajo y mi esfuerzo se los dedico a ustedes. A mis padres Oscar y Edelmira, por su constante apoyo y afecto; a mis hermanos Sandra y Carlos, por su respaldo incondicional. A mis amigos de la universidad, por compartir conmigo momentos tristes y gratos que me ayudaron a formarme como persona y profesional; a mi compañera de proyecto-Diana, por que la realización de este trabajo me permitió conocerla, compartir su amistad y perseverar juntos para alcanzar la meta propuesta; y, a Martha, por hacer parte de mi vida durante todo este tiempo, por todas las vivencias compartidas, y por ayudarme a creer en mí mismo.

A todos ustedes siempre los recuerdo y los tengo en mi corazón...

Mensaje: Aunque no siempre la vida sea justa (En especial en la valoración que se le dio a este proyecto), siempre hay algo que rescatar y por lo cual levantar la cabeza, por esto mismo, redacte estos agradecimiento, para demostrar que yo, como autor de este proyecto, se en verdad agradecer a la vida lo que me otorga y con esta mentalidad, esperare, lo que me tiene reservado...

OSCAR ENRIQUE GONZALEZ MUÑOZ

Deseo llegar al final de mi historia humana llena de experiencias enriquecedoras y de logros muy importantes para mi vida, pero sobre todo alcanzar esto, al lado de personas tan importantes como lo son mis padres, mi familia y finalmente a Oscar.

A ellos les dedico este logro, a mis padres que me ofrecieron en esta parte de mi educación un apoyo y amor incondicional, a mis hermanos que ayudaron a que este paso fuera de mucha alegría y divertido, a mi familia en general que siempre estuvieron para darme un aliento cuando lo necesitaba y por ultimo a Oscar quien con su forma ser y sus consejos llenó este proceso de serenidad en los momentos de angustia, de fuerza en los momentos mas débiles y de felicidad en los momentos mas tristes.

Por otra parte, no puedo olvidar a mis amigos y amigas los cuales estaban ahí cuando se necesitaban varios para luchar contra una injusticia, una nota o para realizar un trabajo, de ellos no olvidare los chismes y las ganas de molestar a alguien por algo curioso. Ya para terminar gracias a mi adorado deporte el baloncesto que me dio la responsabilidad necesaria y fue un complemento durante este proceso aliviándome de los problemas.

Para todos los que estuvieron en esta etapa mil y mil gracias, espero no haberlos decepcionado.....

DIANA CAROLINA JAIMES BALCUCHO

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 MAQUINA DE TRACCION LENTA	3
2.2 AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO	5
2.2.1 Definición de Aislamiento.....	5
2.2.2 Tipos de Aislamiento.....	7
2.3 RELES.....	8
2.3.1 Definición.....	8
2.3.2 Ventajas del uso de relés.....	9
2.4 SENSORES	10
2.4.1 Definición.....	10
2.4.2 Terminología básica.....	10
2.4.3 Principio de funcionamiento de algunos sensores.....	11
2.4.4 Tecnologías más utilizadas en Sensores de Desplazamiento	12
2.5 SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS	13
2.5.1 Software LabVIEW.....	14
2.5.2 Principales características	15
2.6 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACION.....	16
2.6.1 Estructura	16
2.6.2 Rechazo de Modo Común	17
2.6.3 Aplicaciones.....	18
3. DIAGNOSTICO INICIAL DE LA MÁQUINA	19
3.1 REFERENCIAS DE LA MÁQUINA.....	19
3.2 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA	20
3.2.1 Estructura, muelle móvil y celda de carga	20

3.2.2	<i>Forma de hacer la prueba</i>	20
3.2.3	<i>Control de velocidad</i>	21
3.2.4	<i>Adquisición de datos</i>	23
3.3	ESTADO INICIAL DE LA MÁQUINA.....	25
4.	NORMAS UTILIZADAS PARA LAS PRUEBAS DE TRACCIÓN.	26
4.1	NORMA ASTM E 4-99.....	26
4.2	NORMA ASTM E 8-04.....	29
5.	SELECCIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICION.	31
5.1	DEFINICION.....	31
5.2	SELECCIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICION.....	33
6.	HARDWARE UTILIZADO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA	37
6.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HARDWARE.....	37
6.2	ETAPA DE RECTIFICACIÓN Y ALIMENTACIÓN.....	38
6.2.1	<i>Componentes</i>	38
6.2.2	<i>Función de la etapa de rectificación y alimentación</i>	38
6.3	ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DEL SENSOR Y AISLAMIENTO DEL CIRCUITO	41
6.3.1	<i>Componentes</i>	41
6.3.2	<i>Función de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal del Sensor y Aislamiento del Circuito</i>	41
6.4	ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE LA CELDA DE CARGA Y AISLAMIENTO DEL CIRCUITO.....	43
6.4.1	<i>Componentes</i>	43
6.4.2	<i>Función de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal de la Celda de Carga y Aislamiento del Circuito</i>	44
6.5	ACONDICIONAMIENTO DE LA PRUEBA.....	46
6.6	TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS.....	47
7.	DISEÑO DEL PROGRAMA EN LABVIEW.....	49
7.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE SOFTWARE	49
7.1.1.	<i>Descripción de “VI” Principal</i>	50

7.1.2 Descripción Sub-VI “RELEES”.....	63
7.1.3 Funcionamiento Sub-VI “RELEES”	63
7.1.4 Descripción Sub-VI “CONTROL TRACCIÓN.....	64
7.1.5 Funcionamiento Sub-VI “CONTROL TRACCIÓN”	65
7.1.6 Descripción Sub-VI “INPUTS”.....	65
7.1.7 Funcionamiento Sub-VI “INPUTS”	66
7.1.8 Descripción Sub-VI “VOLTA-MM-DEF”.....	66
7.1.9 Funcionamiento Sub-VI “VOLTA-MM-DEF”.....	67
7.1.10 Descripción Sub-VI “VOLTA-LBF”	67
7.1.11 Funcionamiento Sub-VI “VOLTA-LBF”.....	68
7.1.12 Descripción De Sub-VI “PROM”	69
7.1.13 Funcionamiento Sub-VI “PROM”	70
7.1.14. Otros Sub-VI	70
7.2 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SOFTWARE	72
8. IMPLEMENTACIÓN FINAL Y RESULTADO DE PRUEBAS	74
8.1 LINEALIDAD DE LOS SENSORES.	74
8.1.2 Sensor de desplazamiento LP 502-50.....	74
8.1.2 Sensor de desplazamiento LP 501-300.....	76
8.2 ESTADO REAL DEL SISTEMA.....	78
8.2.1 Etapa de rectificación y alimentación.....	78
8.2.2 Etapa de acondicionamiento de la señal del sensor y aislamiento del circuito	79
8.2.3 Acondicionamiento de la señal de la celda de carga y aislamiento del circuito	80
8.2.4 Descripción general.	81
8.3 DEMOSTRACION DEL SISTEMA.	83
8.3.1 Gráfica Deformación (mm) vs. Tiempo (seg.).....	84
8.3.2 Gráfica Tracción en LBF vs. Tiempo (seg.)	85
8.3.3 Gráfica Esfuerzo en Pascales vs. Tiempo (seg.).....	86
8.3.4 Grafica Tracción LBF vs. Deformación (mm).....	87

9. CONCLUSIONES	89
10. RECOMENDACIONES.....	90
11. BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de selección	11
Tabla 2. Tabla comparativa de Sensores L.V.D.T vs Potenciométrico.	13
Tabla 3. Características de Velocidad.	22
Tabla 4. Características del motor.	22
Tabla 5. Velocidad del muelle.	23
Tabla 6. Tarjetas de Adquisición de datos de NI.	36
Tabla 7. Datos del estudio de linealidad del Sensor LP 802-50	75
Tabla 8. Datos del estudio de linealidad del Sensor LP 801-300.	77
Tabla 9. Tabla de datos de la prueba.	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Máquina de Ensayo de Tracción.....	3
Figura 2. Curva Fuerza-Deformación de un Acero.....	4
Figura 3. Desgaste de la probeta.	5
Figura 4. Una Fuente de Señal Aterrizada Medida con un Sistema Aterrizado Introduce un Circuito a Tierra.	6
Figura 5. Aislamiento Óptico	7
Figura 6. Transformador.....	8
Figura 7. Capacitor.....	8
Figura 8. Relé de conexión	9
Figura 9. Panel frontal	15
Figura 10. Diagrama de bloques	15
Figura 11. Estructura Amplificador de Instrumentación.....	16
Figura 12. Ejemplo Rechazo en modo común.	18
Figura 13. Máquina de Tracción Lenta.....	19
Figura 14. Celda de carga.....	20
Figura 15. Interruptores para Control del Motor.	21
Figura 16. Control de velocidad.	21
Figura 17. Adquisición de datos.	23
Figura 18. Dispensador del papel.	24
Figura 19. Diagrama de Funcionamiento del proyecto.....	38
Figura 20. Diagrama de la Etapa de rectificación y alimentación.....	39
Figura 21. PCB de la Etapa de Rectificación y Alimentación.....	40
Figura 22. Diagrama de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal del Sensor y Aislamiento.....	41
Figura 23. PCB de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal del Sensor y Aislamiento.	43
Figura 24. Diagrama de la etapa de Acondicionamiento de la Señal de la Celda de Carga y Aislamiento del Circuito.	44
Figura 25. PCB de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal de la Celda de Carga y Aislamiento del Circuito.....	45
Figura 26. Diagrama de la etapa de Acondicionamiento de la Prueba.	46

Figura 27. Diagrama de Señales de Entrada de la Tarjeta de Adquisición de Datos.	47
Figura 28. Panel Frontal del VI principal.	50
Figura 29. Diagrama de bloques de Subdiagrama 0.....	51
Figura 30. Diagrama de bloques de Subdiagrama 1.....	53
Figura 31. Diagrama de bloques de Subdiagrama 2 y la Estructura “While”	55
Figura 32. Diagrama de bloques de Estructura “Case-True”	56
Figura 33. Diagrama de bloques de Estructura “Case-True”	57
Figura 34. Diagrama de bloques de Estructura “Case-False”	61
Figura 35. Diagrama de bloques Subdiagrama 3.....	62
Figura 36. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Relees”	63
Figura 37. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Control Tracción”	64
Figura 38. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Inputs”.....	65
Figura 39. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Volt-MM-DEF”.....	66
Figura 40. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Volt-LBF”	68
Figura 41. Diagrama de Bloques de Sub-VI “PROM”.....	69
Figura 42. Diagrama de Bloques de Sub-VI “TABLA”	70
Figura 43. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Excel”.....	71
Figura 44. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Graf XY”.....	71
Figura 45. Sensor LVDT LP 802-50.	74
Figura 46. Linealidad del LVDT LP 802-50.	75
Figura 47. Potenciómetro lineal LP 802-50.	76
Figura 48. Linealidad del LVDT LP 801-300.	76
Figura 49. Implementación de la etapa de rectificación y alimentación.	79
Figura 50. Implementación de la etapa de acondicionamiento de la señal del sensor, y aislamiento del circuito.	79
Figura 51. Implementación de la etapa de acondicionamiento de la señal de la celda de carga, y aislamiento del circuito.	80
Figura 52. Celda de Carga LS203-500.	81
Figura 53. Organización Interna del Sistema.	81
Figura 54. Alimentación y Salidas de las señales.	82
Figura 55. Encendido y Entrada de las Señales.	82
Figura 56. Deformación (mm) vs. Tiempo (seg.).....	84
Figura 57. Tracción en LBF vs. Tiempo (seg.).....	85

Figura 58. Esfuerzo en Pascales vs. Tiempo (seg.).....86

Figura 59. Tracción LBF vs. Deformación (mm).....87

LISTA DE GRAFICAS.

Grafica 1. Comparación del software de adquisición de datos.	14
---	----

LISTA DE ANEXOS.

Anexo A. 1 Tarjeta de adquisición de datos.....	93
Anexo A. 2 Potenciómetro lineal LP802-50.....	96
Anexo A. 3 Potenciómetro lineal LP801-300.....	97
Anexo A. 4 Manual de instrucciones de los potenciómetros lineales LP801-300 y LP802-50.	98
Anexo A. 5 Hoja de datos Fuente PT 5062.....	101
Anexo A. 6 Regulador de voltaje ADP 3338.....	104
Anexo A. 7 Regulador de Voltaje LM 7808.	109
Anexo A. 8 Amplificador de Aislamiento AD 202.....	111
Anexo A. 9 Amplificador de Instrumentación AD620.....	120
Anexo A. 10 Amplificador de Instrumentación AD627.....	129
Anexo A. 11 Optó aislador 4N25.....	139
Anexo A. 12 Celda de Carga LC203-50.....	144
Anexo A. 13 Transistor Bipolar 2N2222.....	145
Anexo B. 1 NORMA ASTM 4-99 Standard practices for Force Verification of Testing Machine.....	148
Anexo B. 2 NORMA ASTM E 8-04 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.....	151

TITULO: AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y LA PRUEBA UNA MAQUINA DE TRACCIÓN LENTA EN LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL*.

**AUTORES: GONZALEZ MUÑOZ, Oscar Enrique
JAIMES BALCUCHO, Diana Carolina****

PALABRAS CLAVES: Adquisición de Datos, LabVIEW, Punto de ruptura.

DESCRIPCIÓN

La Escuela de Ingeniería Civil cuenta actualmente con una Máquina de Tracción Lenta, que se encuentra ubicada en uno de sus laboratorios sin uso alguno debido al deterioro de sus partes eléctricas y mecánicas evitando que los estudiantes tengan la opción de realizar pruebas tan importantes como las de tracción. Por otra parte, el desactualizado y poco confiable sistema de adquisición con el que cuenta, se convierte en excusa para realizar este proyecto ya que se considera poco probable que un ensayo tomado de esta manera pueda tener veracidad alguna para dar un análisis del comportamiento de un material. El objetivo principal de este proyecto es Incrementar el aprovechamiento actual de esta máquina, mediante un sistema de adquisición de datos más eficiente y avanzado con el fin de tomar datos confiables y precisos que otorguen una orientación técnica y real en cuanto al comportamiento de materiales bajo ciertos ambientes de presión.

En definitiva, se realizó el diseño de un sistema de adquisición de datos que consta de un hardware capaz de manipular las señales de fuerza y elongación con el fin de hacerlas aptas para su análisis, mediante un software diseñado en LabVIEW capaz de recibir los datos y exportarlos a Microsoft Excel para tener una visualización de los datos mediante una tabla y gráfica apropiada. Todo este sistema se interconecta gracias a una tarjeta de adquisición de datos que sirve como puente de digitalización entre los rangos de voltaje que envía el hardware, con el fin de ser utilizados en el PC por el software implementado. Cada uno de los dispositivos utilizados fueron escogidos de una amplia gama de posibilidades con el fin de tener el máximo provecho con el mínimo costo para la escuela de Ingeniería Civil.

* Trabajo de grado

** Universidad Industrial de Santander (UIS); Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T); Programa de Ingeniería Electrónica; Msc (C) José Amaya Palacios, D

TITLE: AUTOMATION OF DATA ACQUISITION AND TEST OF A LOW TRACTION MACHINE OF THE CIVIL ENGINEERING SCHOOL.*

**AUTHORS: GONZALEZ MUÑOZ, Oscar Enrique
JAIMES BALCUCHO, Diana Carolina ****

KEY WORDS: Data acquisition, LabVIEW, Rupture point.

DESCRIPTION

The school of civil engineering possesses a slow traction machine placed in a useless laboratory due to the progressive deterioration of the electric and mechanical part of the machine, becoming an impediment to the students to develop very important traction tests. Also, the old version of the acquisition data system is an excuse to develop this project due to the non-acquired system available to perform these tests. The principal objective of this project is to increase the actual use of this machine by the implementation of an advanced and improved acquisition data system, which can give confidence of the data acquired from the tests made in this machine under certain pressure conditions.

In conclusion, the acquisition system designed contains a hardware capable of manipulating the strength and elongation signals to be analyzed by a software based on LabVIEW; these data are exported to Microsoft Excel to be visualized in a table and a proper graphic. The developed software and the machine are connected through a data acquisition board designed to send and receive the control signals during the test. Every electronic device used in this project was chosen to maximize the benefit of the machine with the minimum possible monetary cost for the school of civil engineering.

* Project Degree

** Industrial University of Santander (UIS); Faculty of Physics-Mechanics Engineering, School of Electric and Electronic Engineering (E3T); ; Msc (C) José Amaya Palacios, Project Director; PhD Gustavo Chio Ch, Project Co-Director.

INTRODUCCIÓN

Siendo la automatización un área de la ingeniería que da un dimensionamiento mas profundo hacia un futuro tecnológico, ha provocado no solo en Colombia sino en el mundo entero, una lucha incansable por optimizar procesos de toda índole, desde químicos hasta industriales. Estos últimos tienen gran influencia a nivel electrónico, ya que utilizan la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos, y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales, dando así un aporte social, económico y de interés humano a la sociedad.

Con el fin de realizar este desarrollo tecnológico dentro de la universidad se ejecuta este proyecto, que mejora el proceso de la toma de datos de una máquina de tracción lenta, y beneficia directamente a estudiantes de la escuela de Ingeniería Civil. La máquina de tracción lenta, se emplea para hacer pruebas a diferentes materiales con el propósito de calcular el punto de ruptura de cada uno de ellos por medio de una gráfica generada por la toma de datos de las variables de elongación, Fuerza y tiempo. Para la toma de datos de las pruebas y su visualización se presentan inicialmente varias soluciones. Una de ellas, es la toma de datos por medio de un dispositivo llamado Data Logger, este dispositivo toma los datos y los almacena, pero deja el problema de no poderlos visualizar en una gráfica para un mejor análisis de la práctica, sin dejar de mencionar el del costo. Finalmente la solución adoptada es utilizar una tarjeta de adquisición de datos puerto serial acompañado de un software llamado LabVIEW, el cual da al usuario una interfaz amigable, a la vez de que almacena las variables que necesitamos para crear la gráfica que muestra el objetivo de este proyecto.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVO GENERAL

Automatizar la ejecución de pruebas y la adquisición y el registro de datos para una maquina de tracción lenta en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Seleccionar el hardware requerido para el desarrollo de la prueba, de acuerdo con las especificaciones de la maquina.
- Seleccionar una tarjeta de adquisición de datos que se ajuste a los requerimientos del equipo en mención y accesible económicamente para el proyecto.
- Elaborar el software en LabVIEW para controlar la ejecución de las pruebas y la adquisición de los datos.
- Realizar las pruebas al equipo que asegure su correcto funcionamiento demostrando bases sólidas de la veracidad de los resultados obtenidos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MAQUINA DE TRACCION LENTA

Para conocer las cargas que pueden soportar los materiales, se efectúan ensayos para medir su comportamiento en distintas situaciones. El ensayo destructivo más importante es el ensayo de tracción, en donde se coloca una probeta en una máquina de ensayo (Figura 1) que consta de dos mordazas, una fija y otra móvil, y se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil.

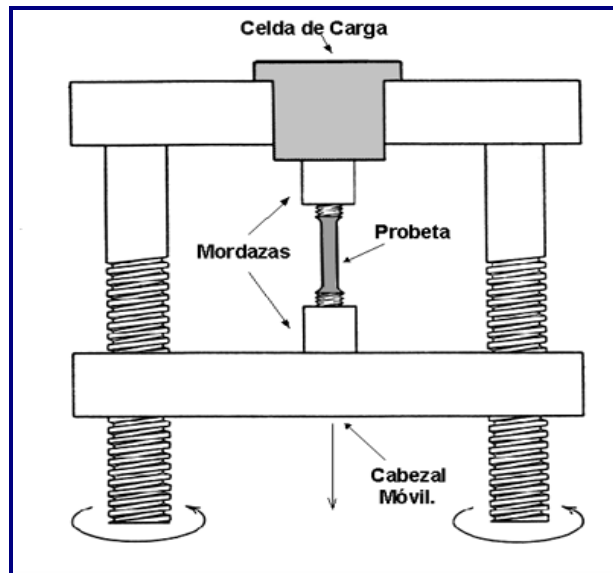


Figura 1. Máquina de Ensayo de Tracción

Fuente: Emcgrath.com

La máquina de ensayo produce la deformación desplazando el cabezal móvil a una determinada velocidad, que se selecciona dentro de un rango específico. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada, la cual se grafica en el plotter que poseen este tipo de máquinas, y que identifica en un eje el desplazamiento y en el otro, la carga producida.

La Figura 2 muestra el gráfico obtenido en un ensayo de tracción del acero.

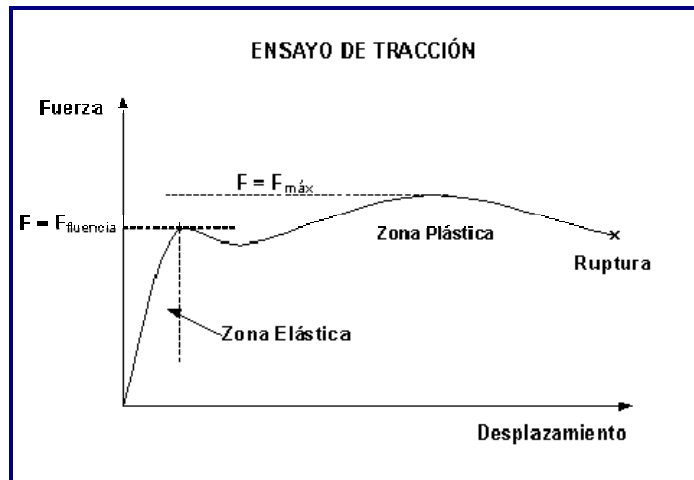


Figura 2. Curva Fuerza-Deformación de un Acero.

Fuente: Emcgrath.com

Las curvas tienen una primera parte lineal llamada zona elástica, en donde la probeta se comporta como un resorte: si se quita la carga en esa zona, la probeta regresa a su longitud inicial.

Se tiene entonces que en la **zona elástica**, la carga producida se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F = K (L - L_0)$$

F: fuerza

K: cte del resorte

L: longitud bajo carga

L₀: longitud inicial

Cuando la curva se desvía de la recta inicial, el material alcanza el **punto de fluencia**, donde el material comienza a adquirir una deformación permanente. A partir de este punto, si se quita la carga la probeta quedaría más larga que al principio. Deja de ser válida la expresión $F = K (L - L_0)$ y se define que ha comenzado la **zona plástica** del ensayo de tracción. El valor límite entre la zona elástica y la zona plástica es el punto de fluencia (yield point) y la fuerza que lo produjo se representa como:

$$F = F_{yp} \text{ (yield point)}$$

Luego de la fluencia se presenta una zona inestable, que identifica un punto máximo ($F = F_{m\acute{a}x}$) específico para cada acero en particular. Entre $F = F_{yp}$ y $F = F_{m\acute{a}x}$ la probeta se alarga en forma permanente y distribuida, a lo largo de toda su longitud.

En $F = F_{m\acute{a}x}$ la probeta experimenta su punto débil, y concentra la deformación en la zona central del material, formando un cuello (Figura 3). Al aplicar la carga en un área menor de la probeta, se supera un límite que produce la ruptura del material.

La Figura 3 muestra la forma de la probeta al inicio, al momento de llegar a la carga máxima y luego de la ruptura.

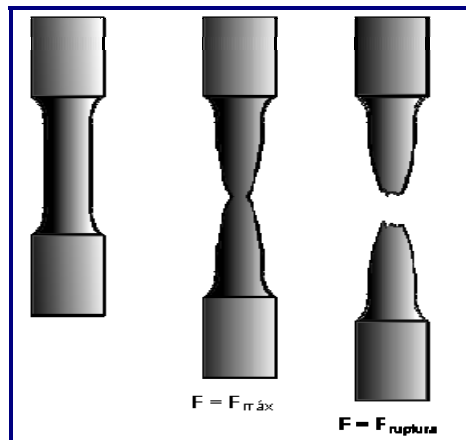


Figura 3. Desgaste de la probeta.

Fuente: Emcgrath.com

El área bajo la curva *fuerza – desplazamiento* representa la energía disipada durante el ensayo, es decir, la cantidad de energía que la probeta alcanzó a resistir. La energía es directamente proporcional a la tenacidad del material, lo cual conduce a determinar que cuanto mayor energía resista el material, éste es más *tenaz*.

2.2 AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO

2.2.1 Definición de Aislamiento

El aislamiento consiste en una separación física y eléctrica de dos partes de un dispositivo de medición, y puede catalogarse como un aislamiento eléctrico y de seguridad. El

aislamiento eléctrico existe cuando se eliminan los circuitos a tierra entre dos sistemas eléctricos. Al proporcionar el aislamiento eléctrico, puede romper esos circuitos, incrementar el rango de modo común del sistema de adquisición de datos, y nivelar la señal de referencia de tierra a un solo sistema de tierra. También posee la habilidad de que un sistema eléctrico prevenga la transmisión de altos voltajes y voltajes transitorios más allá de sus límites hacia otros sistemas eléctricos.

Incorporar aislamiento a un sistema de adquisición de datos tiene tres funciones fundamentales: prevenir de la formación de circuitos a tierra, rechazar el voltaje de modo común y proporcionar seguridad.

Por ejemplo, si un circuito a tierra se forma con líneas de potencia de AC de 60 Hz, la señal de AC que no se desea aparece como un error de voltaje senoidal en la medida.

Cuando existe un circuito a tierra, el voltaje medido, V_m , es la suma del voltaje de la señal, V_s , y la diferencia del potencial que existe entre la tierra de la fuente de la señal y la tierra del sistema de medición, ΔV_g , como se muestra en la Figura 4. Este potencial generalmente no es un nivel de DC, por tanto, el resultado es un sistema de medición ruidoso, que generalmente muestra componentes de frecuencia de la línea de potencia (60 Hz) en las lecturas.

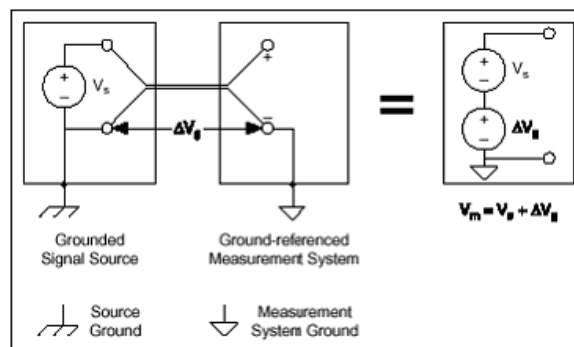


Figura 4. Una Fuente de Señal Aterrizada Medida con un Sistema Aterrizado Introduce un Circuito a Tierra.

Fuente: Emcgrath.com

Para evitar circuitos a tierra, es importante cerciorarse de que sólo haya una referencia a tierra en el sistema de medición, o bien, utilizar un hardware de medida aislado. El uso de

hardware con aislamiento elimina la conexión entre la tierra de la fuente de señal y el dispositivo de medición, previniendo cualquier flujo de corriente entre múltiples puntos a tierra.

2.2.2 Tipos de Aislamiento

El aislamiento físico es la forma más básica de aislamiento, lo que significa que hay una barrera física entre los dos sistemas eléctricos. Esto puede ocurrir en forma de aislante, una capa de aire, o una ruta no conductiva entre los dos sistemas eléctricos. Al hablar únicamente de aislamiento físico, implica que no hay transferencia de señales entre los sistemas eléctricos. Al trabajar con sistemas de medidas aislados, debe haber una transferencia, o acoplamiento, de energía a través de la barrera de aislamiento.

Existen tres tipos de aislamiento para un sistema de *adquisición de datos*, Aislamiento Óptico, Aislamiento Electromagnético y Aislamiento Capacitivo.

Aislamiento Óptico

Este tipo de aislamiento es común en sistemas de aislamiento digital. El medio para transmitir la señal es la luz y la barrera de aislamiento física es típicamente una capa de aire. La intensidad de luz es proporcional a la señal medida; la señal luminosa es transmitida a través de la barrera de aislamiento y detectada por un elemento fotoconductor en el lado opuesto a la barrera de aislamiento (Figura 5).

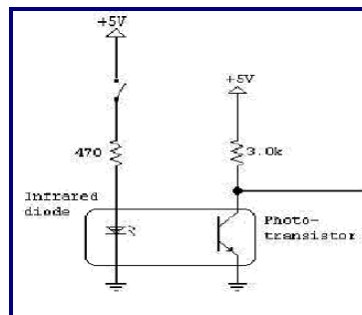


Figura 5. Aislamiento Óptico

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.pdf

Aislamiento Electromagnético

El aislamiento electromagnético utiliza un transformador (Figura 6) para acoplar una señal a través de la barrera de aislamiento al generar un campo electromagnético proporcional

a la señal eléctrica. El campo es creado y detectado por un par de bobinas conductoras. La barrera física puede ser aire u otra forma de barrera no conductiva.

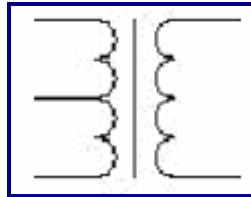


Figura 6. Transformador

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.

Aislamiento Capacitivo

El acoplamiento capacitivo es otra forma de aislamiento (Figura 7). Un campo electromagnético cambia el nivel de carga en el capacitor. Esta carga es detectada a través de la barrera y es proporcional al nivel de la señal medida.

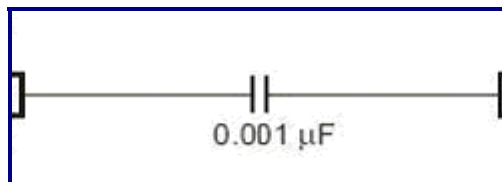


Figura 7. Capacitor

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.pdf

2.3 RELES

2.3.1 Definición

El **relé** o **relevador** (del inglés "relay") es un dispositivo electromecánico inventado por Joseph Henry en 1835. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que se acciona un juego de uno o varios contactos por medio de un electroimán; tales contactos permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

El relé puede considerarse, en un amplio sentido, una forma de amplificador eléctrico, ya que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada. Por ende, en sus comienzos, el relé fue empleado en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea.

Los contactos de un relé pueden ser Normalmente Abiertos (NO, por sus siglas en inglés), Normalmente Cerrados (NC) o de conmutación.

Los contactos Normalmente Abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos son ideales para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.

Los contactos Normalmente Cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.

Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto Normalmente Abierto y uno Normalmente Cerrado con un terminal común.

En la Figura 8 se muestra un relé de conexión para pequeñas potencias.



Figura 8. Relé de conexión

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.pdf

2.3.2 Ventajas del uso de relés.

- La gran ventaja de los relés es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento (la que circula por la bobina del electroimán) y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes o elevadas potencias con pequeñas tensiones de control.
- Posibilidad de control de un dispositivo a distancia mediante el uso de pequeñas señales de control.
- Con una sola señal de control, se pueden controlar varios relés simultáneamente.

2.4 SENSORES

2.4.1 Definición

Un sensor es un instrumento que permite medir un fenómeno físico. Normalmente convierte o traduce el fenómeno a medir en una señal eléctrica, que por medio de un sistema de adquisición de datos, se traduce a gráficas y tablas empleando diversos tipos de software.

Los sensores o transductores han sido utilizados a lo largo de la historia (como tales pueden considerarse los termómetros, las balanzas o incluso los relojes), sin embargo, su gran desarrollo y utilización actual se han visto fomentados por el progreso presentado en dos grandes áreas: electrónica y control. El desarrollo de la electrónica ha permitido producir sensores de grandes prestaciones a bajos precios, y la aplicación de la teoría de control en el funcionamiento de máquinas, ha requerido la utilización generalizada de sensores, potenciando de esta forma su desarrollo.

Adicionalmente, la utilización de sensores y su instrumentación asociada adquiere un valor importante en el análisis dinámico de máquinas. La selección del sensor más apropiado, las limitaciones asociadas a las medidas proporcionadas por el mismo, el campo de aplicación de cada tipo de sensor e incluso el conocimiento de distintos tipos de sensores disponibles para una aplicación concreta son aspectos fundamentales que pueden condicionar la calidad e incluso la validez de un análisis experimental.

2.4.2 Terminología básica

El transductor objetivo de este proyecto tiene la misión de determinar la elongación de un material, por ello, se requiere definir los términos posición, desplazamiento y medida de proximidad:

- Posición: localización coordenada de un objeto respecto a un sistema de referencia conocido.
- Desplazamiento: movimiento de una posición a otra de un objeto, sobre una distancia o ángulo específicos.
- Proximidad: distancia crítica señalada por una salida on / off.

Para conocer los parámetros que selecciona un transductor de posición, se adjunta la siguiente tabla, donde el resultado *Si / No* dependerá de la aplicación para la que se necesite el sensor:

Parámetro	¿Relevante?	Opciones
Contacto	Si / No	Contacto / No contacto
Tipo de movimiento	Si / No	Lineal / Rotatorio
Dimensiones	Si / No	De una o varias dimensiones de medida
Tipo de medida	Si / No	Absoluta / Incremental
Rango	Si / No	Menos 10mm, 10–300mm, mayor de 300
Tamaño y Peso	Si / No	Restricción de peso, De tamaño
Protección medioambiental	Si / No	Humedad, Vibraciones, Corrosión, Temperatura
Instalación / Montaje	Si / No	Instalación renovable, limite de tiempo
Exactitud	Si / No	Linealidad, Resolución, Repetitividad
Tiempo de vida	Si / No	Ciclos, Horas de operación continua
Coste	Si / No	Menos de 5 000 ptas., 5 000 – 50 000, Más de 50 000 ptas.
Entrega	Si / No	Menos de 1 semana, entre 1 – 4 más de 4
Respuesta	Si / No	Voltaje continuo, Salida digital
Respuesta en frecuencia	Si / No	Menos de 5 Hz, entre 5–50, Más de 50Hz

Tabla 1. Parámetros de selección

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.pdf

2.4.3 Principio de funcionamiento de algunos sensores

En este apartado se presentan algunos principios de funcionamiento de diferentes sensores que se pueden utilizar para medir posición en distintos elementos.

- **Encoder:** Su elemento de medida es un haz de luz, generalmente proporcionado por un diodo LED. EL haz de luz queda enfrentado a un disco con orificios, y de acuerdo a la cantidad de luz que pasa por los mismos, se crea un tren de pulsos que equivalen al desplazamiento producido.
- **Ultrasónico:** Se generan ondas de frecuencia y amplitud constante y se lanzan al objeto cuya posición se quiere medir. Dependiendo del tiempo que “tarden” o demoren dichas ondas en volver, se puede determinar donde se encuentra el objeto.
- **Potenciométrico:** Consta de una resistencia y un cursor que se desplaza sobre la misma. La resistencia se alimenta con una tensión regulada, y el voltaje resultante entre el cursor y tierra es proporcional al desplazamiento producido. Existen dos tipos de sensores potenciométricos, de acuerdo al tipo de medidas pueden ser angulares o lineales.

- **Electromagnético:** En este tipo de sensor se utiliza un núcleo ferromagnético solidario con una de las piezas, cuyo movimiento se desea medir, y una bobina que se fija a la otra pieza. La inductancia L es función de la posición relativa entre el núcleo y la bobina.
- **Láser:** El principio de funcionamiento de este tipo de sensores es igual al ultrasónico, pero la onda que se utiliza es un haz láser.
- **Inductivo:** Son instrumentos electromecánicos, en los cuales las características magnéticas de su circuito eléctrico cambian en respuesta al movimiento de un objeto. Con este movimiento se genera una respuesta electromotriz o se genera una tensión.

2.4.4 Tecnologías más utilizadas en Sensores de Desplazamiento

Se puede decir que los sensores de desplazamiento más usados son los potenciométricos y los LVDT (por sus siglas en inglés Linear Variable Differential Transducer).

En un sensor potenciométrico, como su nombre sugiere, el principio de medida reside en la variación de la resistencia con la longitud. Estos sensores, tienen un contactor móvil que produce una variación de señal al hacer contacto con una banda resistiva. Desafortunadamente, la resistencia también varía con la temperatura y con los efectos de fricción y contacto, constituyendo un factor de importancia considerable al seleccionar estos sensores.

En un LVDT, el principio de medida radica en la variación del campo magnético que produce el cambio de posición de un núcleo de acero inoxidable magnético dentro de una espiral de material conductor (en realidad, se suelen utilizar dos espirales para evitar el efecto de la temperatura en ellos).

La diferencia más importante entre estos tipos de sensores es que en el primero se produce contacto entre las dos piezas móviles, mientras que en el segundo no. Esto hace que los LVDT perduren por más tiempo, puesto que al no existir contacto entre las piezas móviles, no se presenta desgaste por fricción. Por ejemplo, con un sensor potenciométrico, en una aplicación con un rápido movimiento de ida y vuelta, el contactor

podría perder el contacto con la banda resistiva y momentáneamente se perdería la señal, lo cual en algunos casos de bucles cerrados sería inadmisibile.

Con esto, se puede concluir que en aplicaciones que manifiesten un gran numero de ciclos, velocidad de movimiento muy alta u operación bajo condiciones de alta temperatura o sumergidos en aceite, el sensor a usar deberá ser del tipo LVDT.

Sin embargo, los sensores potenciométricos son de menor tamaño que los LVDT, por lo que para condiciones menos severas, donde se dispone de poco espacio, los requerimientos de costo son bajos y la facilidad de implementación tenga importancia, se usarán sensores potenciométricos.

	L.V.D.T.	POTENCIOMETRICO
Principio de funcionamiento	Variación campo magnético	Variación de resistencia
Precisión	+/- 0,05%	+/- 0,1%
Influencia de la temperatura	Baja	Media
Linealidad	+/- 1% en toda la escala	+/- 1% en toda la escala
Contacto entre piezas móviles	NO	SI
Durabilidad	5*10 ⁸ ciclos	1*10 ⁸ ciclos
Coste	Medio	Bajo

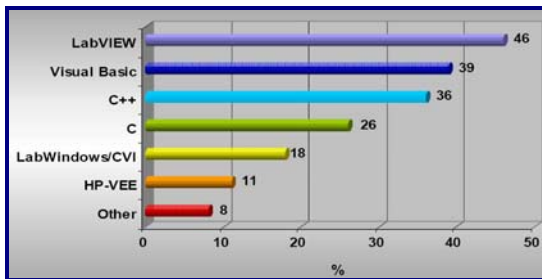
Tabla 2. Tabla comparativa de Sensores L.V.D.T vs Potenciométrico.

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.pdf

2.5 SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El software de adquisición de datos es el encargado de recibir, procesar y representar la información obtenida de un proceso específico en tiempo real. Los software de adquisición de datos más utilizados son LabVIEW, Visual Basic, C++, C, entre otros.

La gráfica 1 esquematiza los resultados obtenidos de una encuesta documentada en el PDF *Sistemas de adquisición de datos basados, realizada por la Universidad de Oviedo en el 2006*, refleja que el Software LabVIEW es el más utilizado por los ingenieros para automatización de proyectos, ya que ofrece el mayor número de herramientas para procesar y representar los datos obtenidos de un proceso real, otorgando la interfaz de usuario más amigable respecto a los demás software de adquisición de datos



Grafica 1. Comparación del software de adquisición de datos.

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.pdf

Las múltiples ventajas que ofrece el uso de la herramienta LabVIEW¹ se plantean en el ítem expuesto a continuación, y conllevaron a optar por el uso de tal software durante el desarrollo de este proyecto.

2.5.1 Software LabVIEW.

LabVIEW es un software especialmente concebido para la adquisición, el análisis y la representación de datos. Está basado en un lenguaje de programación gráfico que utiliza un modelo de programación basado en el flujo de datos. En este modelo, el orden de ejecución no es secuencial sino que se determina por el flujo de los datos entre los objetos que componen el programa.

Los programas se componen de objetos conectados entre sí y organizados de forma jerárquica, fomentándose radicalmente la programación modular, la escalabilidad y la reutilización del software.

Básicamente, el programador inicia su labor diseñando la interfaz de usuario o apariencia del instrumento que pretende realizar, analizando detalladamente los elementos que debe implementar (botones, interruptores, indicadores numéricos, gráficos, etc.). Para esto, utiliza una ventana denominada **panel frontal** (Figura 9) donde ubica los objetos con los que interactuará el usuario.

El código del programa se realiza en una ventana diferente, denominada **diagrama de bloques** (Figura 10), donde define la conexión y las operaciones a ejecutar con los objetos situados sobre el panel frontal.

En el contexto de LabVIEW, los programas se denominan instrumentos virtuales.

¹ Por sus siglas en inglés Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

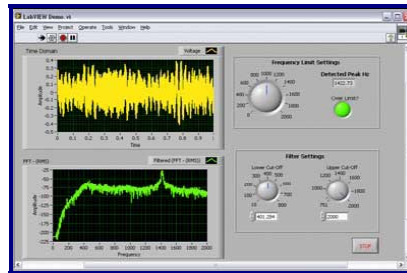


Figura 9. Panel frontal

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.

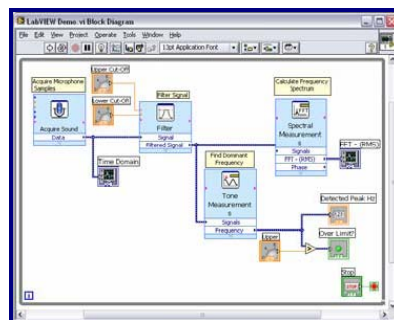


Figura 10. Diagrama de bloques

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.

LabVIEW es un software especialmente concebido para la adquisición, el análisis y la representación de datos. Está basado en un lenguaje de programación gráfico que utiliza un modelo de programación basado en el flujo de datos. En este modelo el orden de ejecución no es secuencial y se determina por el flujo de los datos entre los objetos que componen el programa.

Los programas se componen de objetos conectados entre sí y organizados de forma jerárquica fomentándose mucho la programación modular, la escalabilidad y la reutilización del software.

2.5.2 Principales características

Su principal característica es la facilidad de uso, personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. También es muy rápido hacer programas con LabVIEW y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de él. Para los amantes de lo complejo, con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VIs

(páginas de código) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, etc. Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de la programación.

2.6 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACION

El **amplificador de instrumentación** es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales. Está diseñado para tener una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común (CMRR). Se puede construir a base de componentes discretos o se puede encontrar encapsulado (por ejemplo el AD 620).

La operación que realiza es la resta de sus dos entradas multiplicada por un factor.

2.6.1 Estructura

En la siguiente figura se muestra la estructura de un amplificador de instrumentación:

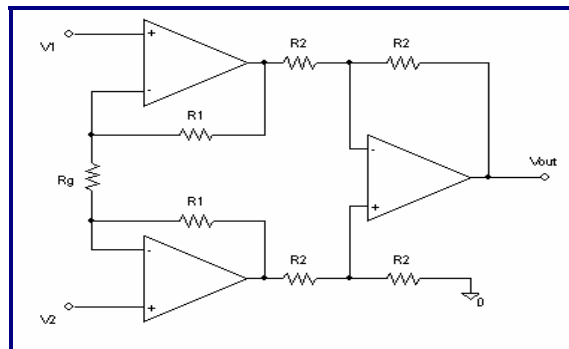


Figura 11. Estructura Amplificador de Instrumentación.

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados.

Al existir realimentación negativa se puede considerar un cortocircuito virtual entre las entradas inversora y no inversora (símbolos - y + respectivamente) de los dos operacionales. Por ello se tendrán las tensiones en dichos terminales y por lo tanto en los extremos de la resistencia R_g

Así que por ella circulará una corriente $I_g = \frac{(V_2 - V_1)}{R_g}$

Por lo tanto la tensión que cae en toda la rama formada por $R_g, R1yR1$ será:

$$V_{intermedia} = (V_2 - V_1)\left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)$$

Que será la DIFERENCIA de tensión entre la salida inmediata de los dos A.O. 's (justo antes de las R_2). Puesto que el resto del circuito es un restador de ganancia la unidad su salida será exactamente la diferencia de tensión de su entrada (sin añadir ganancia), la cual se acaba de definir.

$$V_{out} = (V_2 - V_1)\left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)$$

En circuitos integrados suele encapsularse todo excepto la resistencia R_g para poder controlar la ganancia. También puede sustituirse la conexión a tierra por otra a una tensión dada.

El amplificador de instrumentación se coloca en la etapa de entrada de un instrumento electrónico, se utiliza para aumentar la sensibilidad del circuito.

2.6.2 Rechazo de Modo Común

Los amplificadores de Instrumentación amplifican la diferencia entre dos señales. Esas señales diferenciales en la práctica provienen de sensores como: termocuplas, foto sensores, puentes de medición resistivos, etc. En la Figura 12 se ve que de un puente resistivo, en estado de equilibrio sin señal, en la mitad de las ramas del puente existe una señal de 2.5V respecto a masa. Esta señal de corriente continua es *común* a ambas entradas por lo cual es llamada Voltaje de Modo Común de la señal diferencial. Se puede ver que estas señales no contienen información útil en lo que se quiere medir y como el amplificador amplificará la *diferencia* de ambas, al ser iguales, se restan y a la salida el resultado será cero ósea idealmente no están contribuyendo a la información de salida. En la práctica, las señales de modo común nunca serán rechazadas completamente, de manera que alguna pequeña parte de la señal indeseada contribuirá a la salida.

Para cuantificar la calidad del Amplificador de Instrumentación, se especifica la llamada Relación de Rechazo de Modo Común (CMRR) que matemáticamente se expresa como:

$$CMMR[db] = 20 \cdot \log\left(\frac{A_D}{A_{CM}}\right)$$

Siendo:

A_D = Amplificación Diferencial

$A_D = V_{out} / V_{in}$ diferencial

A_{CM} = Amplificación Modo Común

V_{CM} = Voltaje de modo común en la entrada

$A_{CM} = V_{out} / V_{CM}$

V_{out} = Voltaje de salida

De la última fórmula podemos obtener la V_{out} como:

$$V_{out} = \frac{A_D}{\log^{-1}\left(\frac{CMMR}{20}\right)} * V_{CM}$$

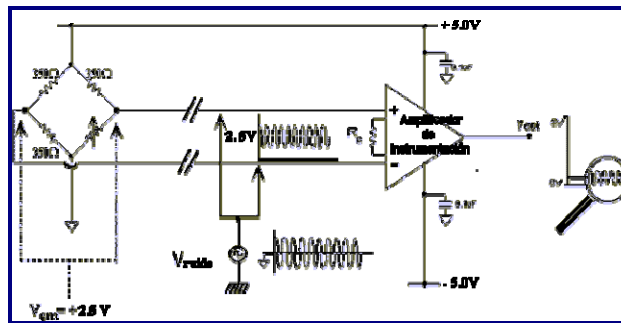


Figura 12. Ejemplo Rechazo en modo común.

Fuente: Sistemas de adquisición de datos basados

2.6.3 Aplicaciones

- Para acondicionar la salida de un puente de Wheatstone.
- Para amplificar señales eléctricas biológicas (por ejemplo en electrocardiogramas).
- Como parte de circuitos para proporcionar alimentación a corriente constante.
- En fuentes de alimentación.

3. DIAGNOSTICO INICIAL DE LA MÁQUINA

Inicialmente, para considerar la importancia que adquiere y justifica la implementación de este proyecto, es importante conocer las características principales de la máquina de tracción lenta que se automatizó, identificar las condiciones iniciales del proyecto, considerar el estado y funcionamiento de la máquina antes y durante el desarrollo del mismo, finalmente, estudiar los resultados y mejoras obtenidas para los ensayos realizados en dicha máquina.

3.1 REFERENCIAS DE LA MÁQUINA

Nombre: Máquina de Tracción Lenta 1125

Marca: Instron Corporation.

Vendedor: Instron District Sales Office Houston Texas 77079.

Comprador: Universidad Industrial de Santander apartado aéreo 678.

Fecha de adquisición: Abril 16 de 1982.

Costo: \$ 3,910.70 Dólares.



Figura 13. Máquina de Tracción Lenta

Fuente: Los Autores

3.2 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA

3.2.1 Estructura, muelle móvil y celda de carga

La máquina de tracción Instron 1125 consta de un marco de metal, con un muelle móvil que se puede desplazar a lo largo de dos barras verticales, como se observa en la Figura 13. En la mitad de dicho muelle se ubica una cabeza en forma de tenaza, en la cual se coloca la probeta del material que se desea deformar y se ajusta con otra tenaza que se encuentra fija en la parte inferior de la máquina para realizar dicho proceso.

En este muelle también hay un par de finales de carrera para limitar el ascenso o el descenso del mismo; en la parte superior una celda de 1000 Kg. (Figura 14) la cual se encarga de hacer el esfuerzo para la prueba de tracción.



Figura 14. Celda de carga

Fuente: Los Autores

3.2.2 Forma de hacer la prueba

Para el encendido de la máquina se cuenta con un interruptor que energiza el sistema, y para el control del motor se dispone de un juego de interruptores (Figura 15) que asignan la dirección del muelle para que suba o baje, según la posición en la que se encuentren las pinzas, con el fin de ajustar las distancias para que las tenazas se adapten al tamaño de la probeta de ensayo. Por motivos de seguridad, este control tiene un interruptor STOP para detener la prueba en caso de emergencias, y otro denominado RETURN, para

cambiar de dirección al muelle de una forma rápida e inmediata, aunque no es recomendable utilizarlo a velocidades muy altas.



Figura 15. Interruptores para Control del Motor.

Fuente: Los Autores

3.2.3 Control de velocidad

El sistema de control de velocidad es muy recursivo (Figura 16), ya que se utiliza un juego de engranajes (Time, Prop y Chart) que se basa en el radio de los engranes para ajustar la velocidad del motor, y por ende la velocidad de la prueba.



Figura 16. Control de velocidad.

Fuente: Los Autores

La Tabla 3 ilustra el juego de engranes a utilizar, para mantener una determinada relación de velocidad (en pulgadas contra minutos) en el motor. Por ejemplo AX y AX en los radios de los engranes (Figura 16), otorga para la medida una relación de 1 a 1 para la velocidad del motor y el tiempo del ensayo.

TIME	CHART	GEAR RATIO	SPEED in/min.
AX	AX	1:1	20
BX	BY	1:2	10
BY	BX	2:1	40
CY	CX	5:1	100
CX	CY	1:5	-
DY	DX	1,2:1	-
HY	HX	5:2	50
JX	JY	1:4	5

Tabla 3. Características de Velocidad.

Fuente: Catálogo Máquina de Tracción Lenta Instron 1125.

La Tabla 4 muestra los nombres de los engranes *Prop* y *Chart*, con los cuales se puede obtener una relación de movimiento del motor según sus radios. En la relación 5:1 y 4:1 no es recomendable utilizar el botón RETURN, ya que esta relación maneja una velocidad relativamente alta y podría comprometer el estado de la máquina y causar daños lamentables.

PROP.	CHART	GEAR RATIO	CROSSHEAD DISPLACEMENT
AX	AX	1:1	2x
BX	BY	1:2	1x
BY	BX	2:1	4x
CY	CX	5:1	10x
CX	CY	1:5	0,4x
DY	DX	1,2:1	2,4x
HX	HY	2:5	0,8x
JX	JY	1:4	0,5x
JY	JX	4:1	8x

Tabla 4. Características del motor.

Fuente: Catálogo Máquina de Tracción Lenta Instron 1125

Finalmente, la Tabla 5 denota la relación de los engranes *Time* y *Chart*, la cual tiene que ver con la velocidad del motor y la velocidad de desplazamiento del muelle.

TIME	CHART	GEAR RATIO	SPEED in/min.
AX	AX	1:1	10
BX	BY	1:2	5
BY	BX	2:1	20
CX	CY	5:2	25
CY	CX	2:5	4
DX	DY	1:4	2,5
EX	EY	1:5	-
FX	FY	1,2:1	-

Tabla 5. Velocidad del muelle.

Fuente: Catálogo Máquina de Tracción Lenta Instron 1125

Las tablas 3, 4 y 5 son características de la máquina de tracción para una celda de carga de 1000 Kg, igual que la que utiliza la máquina actualmente, por lo cual estos datos son válidos y se deben tener en cuenta en los ensayos realizados en la máquina automatizada.

3.2.4 Adquisición de datos



Figura 17. Adquisición de datos.

Fuente: Los Autores

Inicialmente la máquina Instron 1125 contaba con un sistema de adquisición de datos muy ineficiente, consistente de un lápiz y un papel milimetrado que se desplaza a medida que la celda de carga va aplicando fuerza, formando de tal manera la grafica de Fuerza vs. Elongación.

¿Qué sucede con el antiguo sistema de adquisición de datos?

Este sistema cuenta con factores que comprometen la veracidad de la prueba, los cuales se presentan a continuación:

1. El rozamiento del lápiz y la forma de la punta implica una gran imperfección en la grafica mostrada.
2. No hay forma de asegurar que el ensayo inicie al comienzo de la hoja o en un margen, para garantizar que la prueba tenga un cero como vértice.
3. El papel no esta templado, por lo cual no hay forma de asegurar que el lápiz al rozar el papel no lo doble y comprometa la prueba.
4. No se puede determinar la seguridad de la prueba, sin embargo se espera que los resultados no sean muy precisos, teniendo en cuenta los motivos descritos anteriormente y otros factores como la vibración de la máquina, el retardo de los componentes, entre otros.

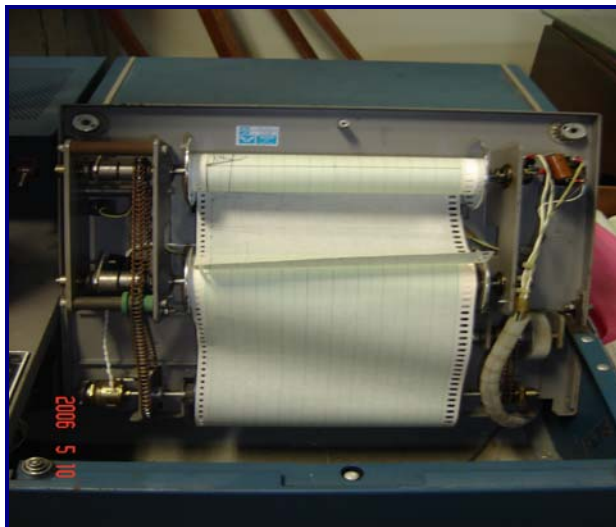


Figura 18. Dispensador del papel.

Fuente: Los Autores

En la Figura 18 se pueden apreciar algunas de las desventajas del sistema, descritas anteriormente, con respecto al manejo que aplica la máquina sobre el papel, cuando se dispone a utilizarlo para la adquisición de datos.

3.3 ESTADO INICIAL DE LA MÁQUINA.

Inicialmente se analizó la viabilidad de automatizar la máquina, y se encontró una gran cantidad de factores que dificultaron el comienzo del proyecto.

El más importante de los factores adversos del proyecto fue el estado eléctrico y físico de la máquina, el cual era crítico ya que funciones básicas como el encendido, y el control de subida y bajada estaban descompuestos, inhabilitando por completo la posibilidad de ejecutar ensayos en dicha máquina.

Para solucionar estos problemas fue indispensable realizar modificaciones sobre la máquina. El encendido y control básico se pudo reparar, reemplazando el puente rectificador y corrigiendo algunos caminos de la tarjeta impresa, por lo cual todavía se utiliza. El problema del control del motor no tuvo solución, y fue necesario sustituir la tarjeta impresa por un sistema de lógica cableada, compuesto por contactores, relevos, pulsadores y temporizadores, los cuales ejecutan una función equivalente a la realizada por la tarjeta impresa, haciendo uso únicamente de los pulsadores ya existentes en la máquina para las acciones básicas de control del motor.

Realizando las modificaciones mencionadas se garantiza que la máquina de tracción puede ejecutar los ensayos pertinentes, con el fin de otorgar a los estudiantes de Ingeniería Civil una herramienta útil para el aprendizaje, investigación y profundización de temas relacionados con su carrera.

4. NORMAS UTILIZADAS PARA LAS PRUEBAS DE TRACCIÓN.

La automatización de equipos de laboratorio debe adaptarse a las normas internacionales que estandarizan los diferentes métodos y procedimientos para el diseño y construcción de los equipos, así como para determinar el desempeño de los materiales bajo determinadas condiciones en un ensayo.

Para el desarrollo de este proyecto es indispensable considerar las Normas ASTM² E 4-99 y ASTM E 8-04, las cuales estandarizan el proceso de ensayo de tracción.

Las pruebas de tracción proveen información sobre la fuerza y ductilidad de materiales bajo tensión. Esta información puede ser usada en comparación de materiales, desarrollo de aleaciones, características de control y diseño bajo ciertas circunstancias.

4.1 NORMA ASTM E 4-99

Esta norma, incluida en el Anexo B. 1 cubre los procedimientos para la verificación de fuerza aplicada en el ensayo de tracción, mediante el análisis de las lecturas de fuerza registradas por la máquina, bajo parámetros de resolución y error en la medición.

El error, E , y el porcentaje de error, E_p , son calculados como se indica a continuación:

$$E = A - B$$
$$E_p = [(A - B) / B] * 100$$

Donde A corresponde a la fuerza registrada por la máquina que está siendo verificada en lbf o N, y B indica el valor correcto de la fuerza aplicada en lbf o N, determinado por la calibración del dispositivo.

Los dispositivos usados en la verificación de la fuerza deben estar calibrados en concordancia con la norma E 74.

² Por sus siglas en inglés American Society for Testing and Materials.

La norma indica que la verificación de la fuerza de las máquinas de prueba consiste en por lo menos dos valores obtenidos durante el proceso de verificación, contenidos en el rango de fuerza seleccionado, y se puede realizar por tres diferentes métodos, o la combinación de los mismos:

- Pesos Estándares

Este suele ser el método más exacto. Consiste en la aplicación directa de pesos (cargas) estándares para el mecanismo de pesaje de máquinas de prueba. Entre sus limitantes se encuentran: el pequeño rango de fuerzas que pueden ser verificadas, la gran cantidad existente de cargas estándares, y que no aplica para máquinas de prueba horizontales o verticales con mecanismos de pesaje que no están diseñados para ser accionados por una fuerza inclinada o descendente.

- Balanceo de brazo-equilibrado y Pesos Estándares

Este método es limitado por el pequeño rango de fuerzas fijo que implica el anterior método, y generalmente es aplicable únicamente a ciertos tipos de máquinas robustas de prueba, en las cuales la fuerza es aplicada a través de un sistema de brazo interno.

- Calibración Elástica de Dispositivos

Este método incluye la medida de fuerza de fatiga elástica o deflexión baja de un anillo, lazo, barra de tensión o compresión u otro dispositivo elástico. El dispositivo de calibración elástica está libre de las limitaciones expuestas en los anteriores métodos.

En la verificación de máquinas de prueba, donde los pesos estándares son usados para aplicar fuerzas directamente, a través de un brazo o sistemas de brazo-equilibrado, se debe corregir la fuerza para el valor local de gravedad y para la flotabilidad del aire, teniendo en cuenta la siguiente expresión:

$$Fuerza = \frac{M * g}{9.80665} \left(1 - \frac{d}{D} \right)$$

Donde M es la masa del peso o carga, g es el valor de la aceleración de la gravedad local en m/s^2 , d corresponde a la densidad del aire (0.0012 Mg/m^3), y D indica la densidad de la medida expresado en las unidades de d .

La norma expone factores numéricos que otorgan un buen ajuste de la fuerza en función de la masa de la carga, empleando aproximaciones para las diversas latitudes y elevaciones sobre el nivel del mar de las localidades. Es importante considerar estos factores al momento de realizar la prueba de tracción, para obtener los resultados esperados.

Para la selección de fuerzas de verificación la norma exhibe entre otros los siguientes parámetros:

- Para cualquier rango de fuerza, la verificación debe incluir por lo menos cinco fuerzas de prueba, llevado a cabo por lo menos dos veces, con la diferencia entre dos fuerzas sucesivas cualquiera no mayor a una tercera parte de la diferencia entre las fuerzas máxima y mínima de prueba seleccionadas. Mínimo puede ser un décimo de la máxima fuerza. El valor de fuerzas registrado se debe mantener aproximadamente durante un segundo. Reportar todos los valores, incluyendo la lectura después de eliminar la fuerza.
- Si se desea establecer el límite inferior del rango de verificación por debajo del 10% de la capacidad del rango, verificar el límite inferior por cinco aplicaciones de fuerza sucesivas, de las cuales ninguna puede diferir del límite inferior en más de $\pm 2.5\%$ de esta fuerza (únicamente la aplicación de tres fuerzas sucesivas es requerida para máquinas deslizantes con un radio de brazo fijo de 20:1, nominal, o menor). El límite de fuerza inferior debe ser al menos 100 veces el indicador de resolución. Reportar todos los valores, incluyendo la lectura después de eliminar la fuerza, y el indicador de resolución con el límite de fuerza inferior.
- Aproximadamente 30 segundos después de eliminar la fuerza máxima de un rango, revisar el retorno a cero del lector. Esta lectura suele ser $0.0 \pm$ cualquier resolución, 0.1% de la fuerza máxima recién aplicada, o 1% de la mínima fuerza verificada en el rango, en ambos casos es el mejor.

Finalmente, siguiendo los procedimientos descritos en esta norma para calcular los parámetros de evaluación de las lecturas de fuerza aplicada por la máquina de tracción, se obtuvieron los siguientes resultados:

Resolución, correspondiente al cambio más pequeño que puede ser mostrado en la máquina de tracción: 0.12 Lbf.

Error máximo de +/- 1%.

4.2 NORMA ASTM E 8-04

Esta norma, incluida en el Anexo B. 2, presenta los procedimientos para realizar ensayos de tracción y/o compresión en probetas metálicas de diferentes formas geométricas y terminales de sujeción. Esta norma es la más reciente³ y completa versión de los estándares para realizar ensayos de tracción.

Los parámetros de precisión y tendencias de la prueba dependen de la exactitud en la medición de la fuerza y el seguimiento fiel de las especificaciones de esta norma en el procedimiento para la realización del ensayo.

Inicialmente la norma sugiere la utilización probetas con dimensiones preestablecidas, y posteriormente propone reforzar los extremos de la probeta tubular con tapones, con el fin de no deformar el material por acción de las mordazas al sujetarla.

La norma también exhibe las características del espécimen bajo prueba, tales como tamaño y localización, para lo cual incluye ilustraciones gráficas que sugieren como ubicar el espécimen correctamente, de acuerdo a la forma del mismo. Incluye especificaciones de la placa o lámina a emplear durante la prueba, entre otros parámetros importantes para obtener los resultados esperados.

Una vez se fija la probeta y teniendo en cuenta la alineación y el cumplimiento de los requerimientos expuestos en la norma, se procede a determinar la velocidad de la prueba. La norma indica que esta velocidad se puede definir como la razón del esfuerzo de la probeta, razón de la deformación del espécimen, razón de la separación de las mordazas

³ La edición de la norma E 8-04 fue aprobada en abril de 2004 y publicada en mayo del mismo año.

durante el ensayo, lapso de tiempo requerido para completar parcial o totalmente el ensayo, o la velocidad de la máquina de tracción con las mordazas libres.

La norma E 8-04 especifica que el valor numérico y la selección del tipo de velocidad a aplicar es responsabilidad del comité de productos, y depende del material. Cualquier variación en la velocidad puede afectar los valores del ensayo, ya que se modifica la sensibilidad del material.

Una vez definida la velocidad del ensayo, se procede a aplicar la carga a la probeta hasta cumplir con los requerimientos establecidos; el ensayo finaliza con la ruptura de la probeta o con los parámetros definidos por el usuario. Es importante tener presente que cualquier desalineación de la probeta o fallo en los tratamientos previos al ensayo afecta la repetibilidad de los resultados obtenidos.

5. SELECCIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICION.

En este capítulo se describirá la tarjeta de adquisición de datos, la cual constituye el puente entre los datos del sistema físico y el software empleado para el procesamiento de los mismos, con el fin de conocer detalles del intercambio de datos realizado por dicha tarjeta.

5.1 DEFINICION.

La tarjeta de adquisición de datos es un dispositivo que permite capturar y procesar de forma digitalizada la información que proviene de un sistema real, empleando para ello componentes electrónicos tales como sensores, transductores, amplificadores, convertidores analógicos a digital (A/D) y digital analógico (D/A).

Su funcionamiento consiste en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un PC. Para ello se requiere una etapa de acondicionamiento que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. Una vez que las señales eléctricas se transforman en digitales y se almacenan en la memoria del PC, se pueden procesar con un programa de aplicación adecuado al análisis que se pretenda realizar a los datos obtenidos, tales como archivarlas en disco duro, graficarlas en pantalla, imprimirlas por impresora, etc.

De la misma manera que se toma una señal eléctrica y se transforma en una digital dentro del dispositivo, se puede tomar una señal digital o binaria y convertirla en una eléctrica; en este caso el elemento que hace la transformación es una tarjeta de Adquisición de Datos de salida. La señal dentro de la memoria del PC la genera un programa diseñado en un software que se ajusta a las aplicaciones requeridas, para el caso de este proyecto el software LabVIEW; al procesar la señal en mención es recibida por mecanismos que ejecutan movimientos mecánicos, a través de servomecanismos, que también son del tipo transductores.

Algunas de las ventajas que otorga el uso de las tarjetas de adquisición son la flexibilidad de procesamiento, posibilidad de realizar las tareas en tiempo real o en análisis posteriores, gran capacidad de almacenamiento, rápido acceso y análisis de la información, posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de medición y activar varios instrumentos al mismo tiempo, facilidad de automatización, entre otras.

Teniendo en cuenta que este dispositivo tiene una amplia cobertura en la industria y que ofrece variedad de tipos en el mercado según las aplicaciones, se analizaron y compararon las características de un conjunto de tarjetas de adquisición de datos y los requerimientos básicos para esta parte del proyecto, justificando la selección del dispositivo escogido⁴, el cual se ajusta satisfactoriamente al conjunto de variables examinadas inicialmente.

Por otra parte es importante analizar los modos de comunicación de Puerto Serial (USB por sus siglas en inglés *Universal Serial Bus*) y Puerto Paralelo que pueden utilizar actualmente las tarjetas de adquisición de datos. La principal diferencia entre estos modos de comunicación, es que el Puerto Serial utiliza un método de transmisión / recepción que envía la información de forma secuenciada sincrónicamente o asincrónicamente, por una sola línea full dúplex, mientras que en el Puerto Paralelo, la transmisión de datos se realiza simultáneamente por varios canales, generalmente 8 bits. Por esto se necesitan 8 cables para la transmisión de cada BIT, más otros cables necesarios para control del dispositivo que dependen del protocolo de transmisión utilizado.





En el caso de este proyecto se escogió una tarjeta de adquisición con puerto USB para la comunicación con el PC, ya que ofrece rapidez, facilidad de implementación y es el más utilizado en la actualidad.








⁴ Ver detalles en el numeral 5.2 de este libro








5.2 SELECCIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN

Por motivos de compatibilidad con el software LabVIEW se optó por realizar la búsqueda de la tarjeta de adquisición fabricada por *National Instruments*, y cuyo puerto de comunicación con el PC sea USB.

A continuación se mencionan algunas referencias de tales tarjetas con sus características principales, con el fin de confrontarlas con los requerimientos del proyecto y seleccionar la adecuada.

Tarjetas con Puerto USB	Entrada Analógica	Salida Analógica	E/S Digital	Precio en \$US
 <p>USB-6229 DAQ Multifunción</p>	32 SE/16 DI 250 kS/s 16 bits	4 833 kS/s 16 bits	48 DIO TTL	\$1,485
 <p>USB-6221 DAQ Multifunción</p>	16 SE/8 DI 250 kS/s 16 bits	2 833 kS/s 16 bits	24 DIO TTL	\$1,100
 <p>USB-6218 Aislamiento entre Bancos DAQ Multifunción</p>	32 SE/16 DI 250 kS/s 16 bits	2 250 kS/s 16 bits	8 DI/8 DO TTL	\$ 1,210
 <p>USB-6215 Aislamiento entre Bancos DAQ Multifunción</p>	16 SE/8 DI 250 kS/s 16 bits	2 250 kS/s 16 bits	4 DI/4 DO TTL	\$ 990

 <p>USB-6211 DAQ Multifunción</p>	<p>16 SE/8 DI 250 kS/s 16 bits</p>	<p>2 250 kS/s 16 bits</p>	<p>4 DI/4 DO TTL</p>	<p>\$ 770</p>
 <p>USB-6210 DAQ Multifunción</p>	<p>16 SE/8 DI 250 kS/s 16 bits</p>	<p>--</p>	<p>4 DI/4 DO TTL</p>	<p>\$ 550</p>
 <p>USB-6259 DAQ Multifunción</p>	<p>32 SE/16 DI 1.25 MS/s 16 bits</p>	<p>4 2.86 MS/s 16 bits</p>	<p>48 DIO TTL</p>	<p>\$ 2,090</p>
 <p>USB-6251 DAQ Multifunción</p>	<p>16 SE/8 DI 1.25 MS/s 16 bits</p>	<p>2 2.86 MS/s 16 bits</p>	<p>24 DIO TTL</p>	<p>\$ 1,485</p>
 <p>USB-9481 Aislamiento entre Bancos E/S Digital</p>	<p>--</p>	<p>--</p>	<p>4 DO 24 V</p>	<p>\$275</p>
 <p>USB-9421 Aislamiento entre Bancos E/S Digital</p>	<p>--</p>	<p>--</p>	<p>8 DI 24 V</p>	<p>\$ 220</p>
 <p>USB-9472 Aislamiento entre Bancos E/S Digital</p>	<p>--</p>	<p>--</p>	<p>8 DO 24 V</p>	<p>\$ 220</p>

 <p>USB-9221 Aislamiento entre Bancos DAQ Multifunción</p>	<p>8 SE 800 kS/s 12 bits</p>	--	--	\$ 735
 <p>USB-9201 Aislamiento entre Bancos DAQ Multifunción</p>	<p>8 SE 500 kS/s 12 bits</p>	--	--	\$ 580
 <p>USB-9215A BNC Aislamiento entre Bancos DAQ Multifunción</p>	<p>4 DI 100 kS/s/c 16 bits</p>	--	--	\$ 705
 <p>USB-9233 Analizadores de Señales Dinámicas</p>	<p>4 DI 50 kS/s/c 24 bits</p>	--	--	\$ 1,750 - \$5,060
 <p>USB-6501 E/S Digital</p>	--	--	24 DIO TTL	\$ 110
 <p>USB-6008 DAQ Multifunción</p>	<p>8 SE/4 DI 10 kS/s 12 bits</p>	<p>2 150 S/s 12 bits</p>	12 DIO TTL	\$ 175
 <p>DAQ-Pad-6015 (USB) DAQ Multifunción</p>	<p>16 SE/8 DI 200 kS/s 16 bits</p>	<p>2 300 S/s 16 bits</p>	8 DIO TTL	\$ 1,430 - \$1,980


 <p>USB-6009 DAQ Multifunción</p>	<p>8 SE/4 DI 48 kS/s 14 bits</p>	<p>2 150 S/s 12 bits</p>	<p>12 DIO TTL</p>	<p>\$ 295</p>
---	--	----------------------------------	-----------------------	---------------

Tabla 6. Tarjetas de Adquisición de datos de NI.

Fuente: Los Autores

Teniendo en cuenta las características mencionadas en la Tabla 6 se escogió la tarjeta de adquisición USB 6009⁵, ya que proporciona la adquisición de datos confiable a un bajo precio, ofrece 8 pines de Entrada/Salida diferenciales, cantidad suficiente para implementar la aplicación⁶, cumple con los requerimientos de rangos de tensión Entrada/Salida, y el paso de muestreo de los datos se ajusta satisfactoriamente a la velocidad que maneja la maquina de tracción.

Las principales especificaciones de este dispositivo se citan a continuación:

- Dispositivo de adquisición de datos de multifunción pequeños, portátiles.
- 14 bit de resolución de entrada, en hasta 48 kS/s.
- Conectores movibles incorporados, desprendibles para conectividad más fácil y más rentable.
- 2 salidas DAC análogas para señales de salida absolutas.
- 12 líneas de entrada - salida digitales (TTL/LVTTL/CMOS).
- Contador de 32 bites.
- Equipos disponibles para estudiantes.

La tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009 usa el software de conductor NI-DAQMX de alto rendimiento que cuenta con una configuración de registro de datos.

⁵ Ver hoja de datos del dispositivo USB 6009 en el anexo A.1

⁶ Ver detalles del hardware y software del sistema de automatización implementado en capítulos 6 y 7 de este libro

6. HARDWARE UTILIZADO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA

El proyecto consta de dos partes fundamentales, el hardware y el software, y solo el correcto funcionamiento de ambas partes garantizará el perfecto funcionamiento del mismo.

Aunque el hardware y el software son igualmente importantes, resulta un poco más complicado implementar el hardware, ya que para trabajar con elementos reales se debe de tener en cuenta ciertas consideraciones y cuidados que aseguren el bienestar de los equipos, el menor efecto económico y cronológico posible en la ejecución del proyecto.

6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HARDWARE

El hardware del proyecto aparte de contar con la maquina en general, consta también de elementos indispensables para la automatización de la misma, tales como los sensores de desplazamiento, la tarjeta de adquisición de datos y dispositivos importantes de tamaño inferior como amplificadores de instrumentación, fuentes PT, diodos, condensadores, amplificadores de aislamiento, entre otros, con los cuales se ensamblan la respectiva configuración para lograr el funcionamiento ideal de cada etapa del diseño.

El diseño del hardware esta compuesto por cinco partes fundamentales, las cuales se describen a continuación:

1. Etapa de rectificación y alimentación.
2. Acondicionamiento de la señal del sensor y aislamiento.
3. Acondicionamiento de la señal de la celda de carga y aislamiento.
4. Acondicionamiento de la prueba.
5. Tarjeta de adquisición.

La Figura 19 ilustra el funcionamiento del sistema y la interacción de las cinco etapas con el mismo.

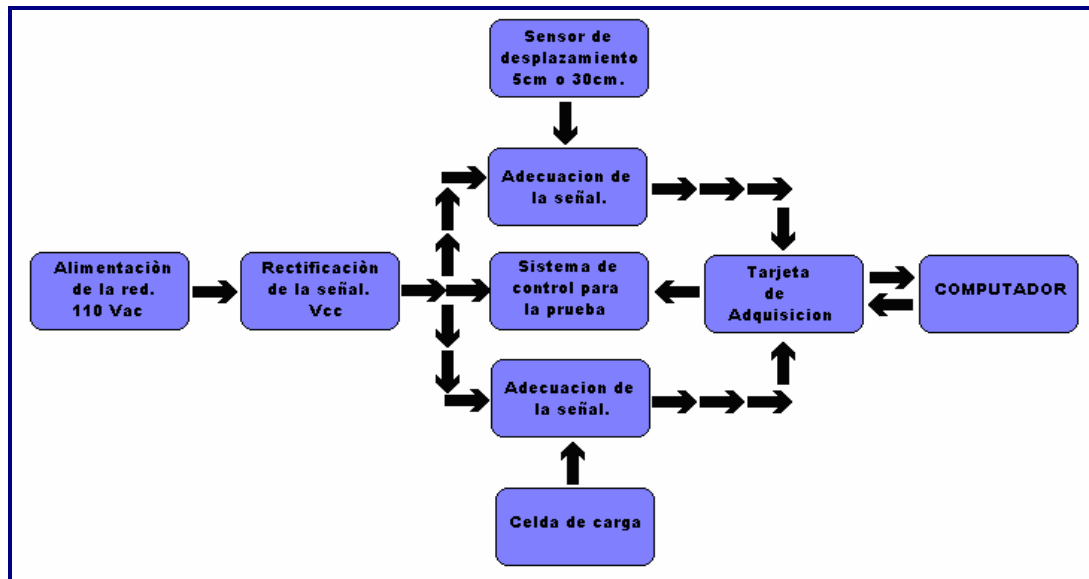


Figura 19. Diagrama de Funcionamiento del proyecto

Fuente: Los Autores

6.2 ETAPA DE RECTIFICACIÓN Y ALIMENTACIÓN

6.2.1 Componentes

Los elementos que se utilizan en esta etapa son:

- 1 Transformador reductor de 110V a 7V con 2 bobinados.
- 2 Puentes rectificadores de botón.
- 2 Condensadores de 3300uF.
- 2 Fuentes PT 5062.
- 1 Regulador LM 7806.
- 1 Regulador ADP 3338 a 5V.
- 2 Condensadores de 1uF superficiales.

6.2.2 Función de la etapa de rectificación y alimentación

La función principal de esta etapa consiste en rectificar la señal de alterna proveniente del transformador y convertirla en una señal continua de 3 valores diferentes, dos de ellos de 15V y -15V para la polarización de los amplificadores y el último de 5V para la alimentación del sensor de desplazamiento y de la celda de carga de la prueba.

A continuación se ilustra el esquema de esta etapa del sistema en el software Orcad 9.2:

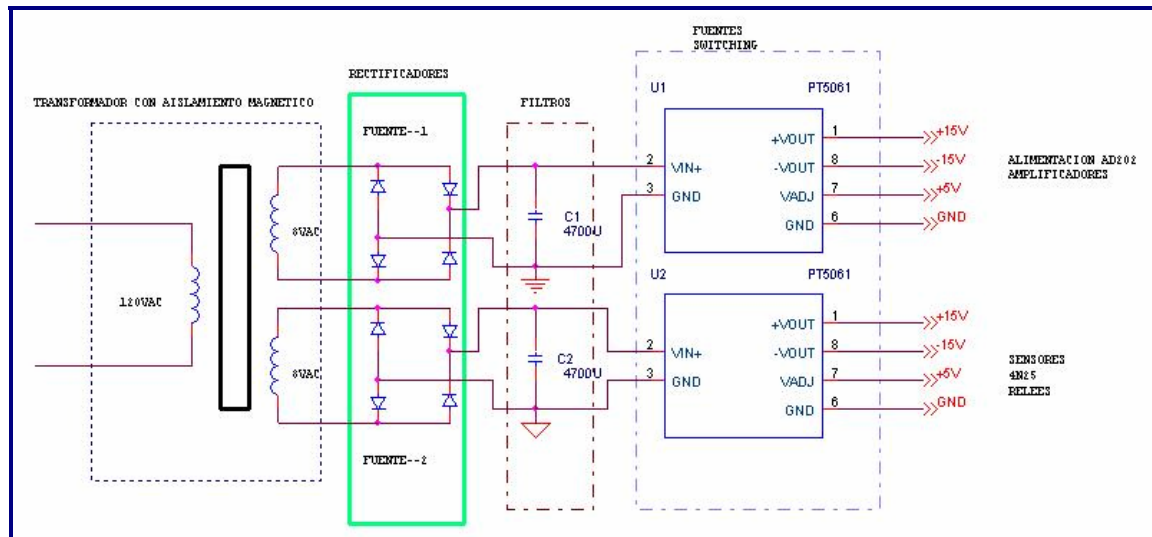


Figura 20. Diagrama de la Etapa de rectificación y alimentación.

Fuente: Los Autores

El transformador tiene la tarea de alimentar el circuito directamente desde la red, recibe los 110V y los reduce a 7V, de igual forma suministra en alterna 1A de corriente para dos bobinados independientes de similares características, lo cual permite trabajar por separado las alimentaciones de la celda de carga y del sensor de desplazamiento, en conclusión se consiguen dos fuentes independientes de alimentación para el sistema.

Los siguientes elementos en la trayectoria del circuito son el puente rectificador y el condensador, los cuales se encargan de rectificar parcialmente la señal con el fin de transformar la corriente alterna en corriente continua, ya que todos los dispositivos electrónicos utilizados trabajan con este tipo de alimentación. La señal a la salida del puente rectificador se mejora gracias al condensador que disminuye el voltaje de rizo considerablemente, sin embargo aun no es apta para alimentar un dispositivo sensible como el sensor de desplazamiento, por lo cual se sigue manipulando la señal obtenida. Posteriormente se encuentran las fuentes PT 5062 y el Regulador ADP 3338, las cuales ejecutan la tarea más importante de esta etapa, recibir la señal a la salida del condensador, terminar de rectificarla y llevarla a un nivel de voltaje adecuado para

alimentar los diferentes dispositivos de la forma más estable posible. En el caso de las fuentes PT, otorga a la salida niveles de tensión de 15V y -15V, los cuales polarizan los amplificadores de instrumentación; por otra parte, la salida del regulador superficial ofrece un valor de 5V, indispensable para la alimentación del sensor de desplazamiento.

Esta etapa también contiene un rectificador LM 7808, el cual recibe los 15V de la fuente PT y entrega 8V en su respectiva salida para alimentar al ADP 3808, ya que este funciona con valores menores de 8V y finalmente reduce la tensión al nivel de 5V que se necesita para alimentar el sensor.

El diseño del circuito impreso o **PCB**⁷, es un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de *rut*as o *pistas* de material conductor grabados desde hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor.

La imagen del PCB de la fuente de alimentación se adjunta a continuación:

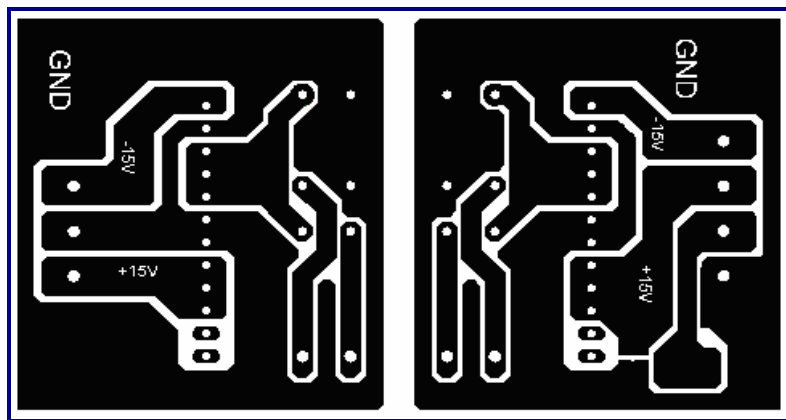


Figura 21. PCB de la Etapa de Rectificación y Alimentación.

Fuente: Los Autores

⁷ PCB por sus siglas en inglés *Printed Circuit Board*.

6.3 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DEL SENSOR Y AISLAMIENTO DEL CIRCUITO

6.3.1 Componentes

Los elementos implementados en esta etapa son los siguientes:

- 1 Sensor LVDT LP802-50
- 1 Sensor LVDT LP801-300
- 1 Trimmer de 1M Ω .
- 1 Trimmer de 20K Ω .
- 1 Trimmer de 2K Ω .
- 2 Amplificadores de instrumentación AD 620.
- 1 Amplificador de aislamiento AD 202.

6.3.2 Función de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal del Sensor y Aislamiento del Circuito

Las funciones principales de esta etapa consisten en amplificar la señal entregada por el sensor, con el fin de hacerla más adecuada para su correspondiente lectura, y aislar las tierras por medio de un optoacoplador, otorgando la protección que requiere un dispositivo sensible eléctricamente, como lo es la tarjeta de adquisición de datos⁸.

A continuación se ilustra el esquema de esta etapa del sistema en el software Orcad 9.2:

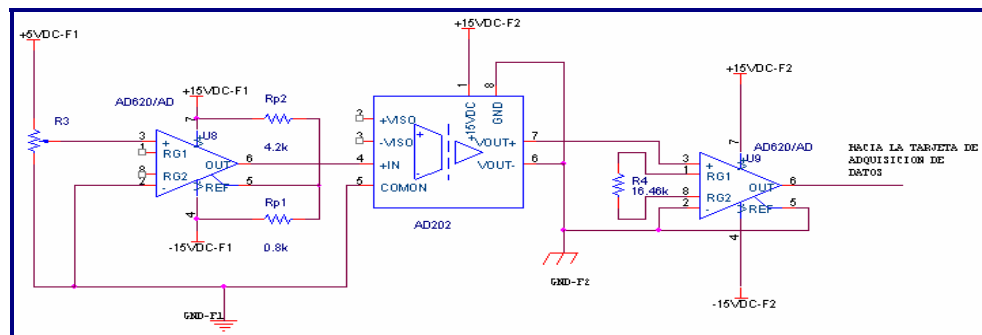


Figura 22. Diagrama de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal del Sensor y Aislamiento.

Fuente: Los Autores

⁸ Para ver detalles de la tarjeta de adquisición de datos, referirse al capítulo 5 de este libro.

La señal que recibe el proceso de adecuación, puede provenir de cualquiera de los sensores previos a esta etapa. Estos sensores son los que realizan el proceso de transducción de la señal física de elongación que presenta el material, en una la señal de tensión que constituye la entrada de la etapa de acondicionamiento de la señal y aislamiento del circuito. Se requiere trabajar con dos sensores de diferente referencia, debido a que los materiales presentan diversas características de maleabilidad. Al analizar este hecho se optó por utilizar los sensores potenciométricos LP802-50 y LP801-300⁹, el primero trabaja con los materiales menos maleables (un máximo de 5 cm.), y por lo tanto con menos habilidad para deformarse como lo son el hierro o la madera; mientras que el segundo sensor se utiliza en materiales que ofrecen mejores cualidades de deformación (un máximo de 30 cm.) como lo es el caucho o alguna clase de goma. Estos sensores de desplazamiento son de tipo potenciométrico y fueron adquiridos en la empresa *Omega*, ubicada en la ciudad de Stanford - Estados Unidos, en el presente año. Es importante resaltar que los dos sensores no pueden trabajar simultáneamente, se debe utilizar el que mejor se adapte a las cualidades del material que se pretende analizar.

La salida del sensor va directamente al amplificador de instrumentación AD 620¹⁰, el cual posee una ganancia unitaria; este dispositivo utiliza dos trimmers, uno de 100K Ω y otro de 1M Ω , que permiten ajustar la ganancia y el valor de offset requeridos para realizar una correcta lectura de la señal.

Al final de la etapa de acondicionamiento de la señal, se presenta el circuito de aislamiento eléctrico proporcionado por el amplificador AD 202¹¹; el objetivo principal de este dispositivo consiste en separar física y eléctricamente las tierras, con el fin de ofrecer las tres funciones primarias de un sistema de adquisición de datos, prevenir la formación de circuitos a tierra, rechazar el voltaje de modo común y proporcionar seguridad.

⁹ Ver detalles de las hojas de datos de estos dispositivos en los anexos A.2 y A.3 de este libro.

¹⁰ Ver detalles de la hoja de datos de este dispositivo en el anexo A.9 de este libro.

¹¹ Ver detalles en la hoja de datos de este dispositivo en el anexo A.8 de este libro.

La etapa de amplificación final consta de otro amplificador AD620 y solo un trimmer de 100K Ω , ya que el valor de offset se ajustó en la etapa anterior y por ende, solo se requiere regular la ganancia para otorgar el nivel de tensión necesario a la salida del sistema, que constituye el voltaje de entrada para la tarjeta de adquisición de datos.

La imagen del PCB de la etapa de acondicionamiento de la señal del sensor y aislamiento del circuito se adjunta a continuación:

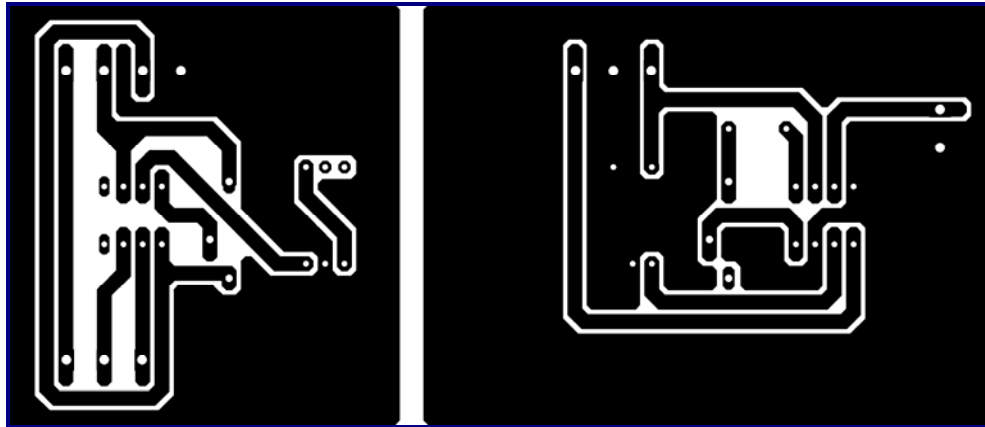


Figura 23. PCB de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal del Sensor y Aislamiento.

Los Autores

6.4 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE LA CELDA DE CARGA Y AISLAMIENTO DEL CIRCUITO.

6.4.1 Componentes

Los elementos implementados en esta etapa son los siguientes:

- 1 Celda de Carga Instron de 500 Lbf.
- 1 Trimmer de 1M Ω .
- 1 Trimmer de 20K Ω .
- 1 Trimmer de 2K Ω .
- 1 Amplificadores de instrumentación AD 620.
- 1 Amplificadores de instrumentación AD 627.
- 1 Amplificador de aislamiento AD 202.

6.4.2 Función de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal de la Celda de Carga y Aislamiento del Circuito

La función principal de esta etapa consiste en amplificar la señal entregada por la celda de carga LC 203-500¹², dispositivo proporcionado por la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander, con el fin de adelantar las pruebas del que conducen a determinar que el sistema funciona correctamente.

A continuación se ilustra el esquema de esta etapa del sistema en el software Orcad 9.2:

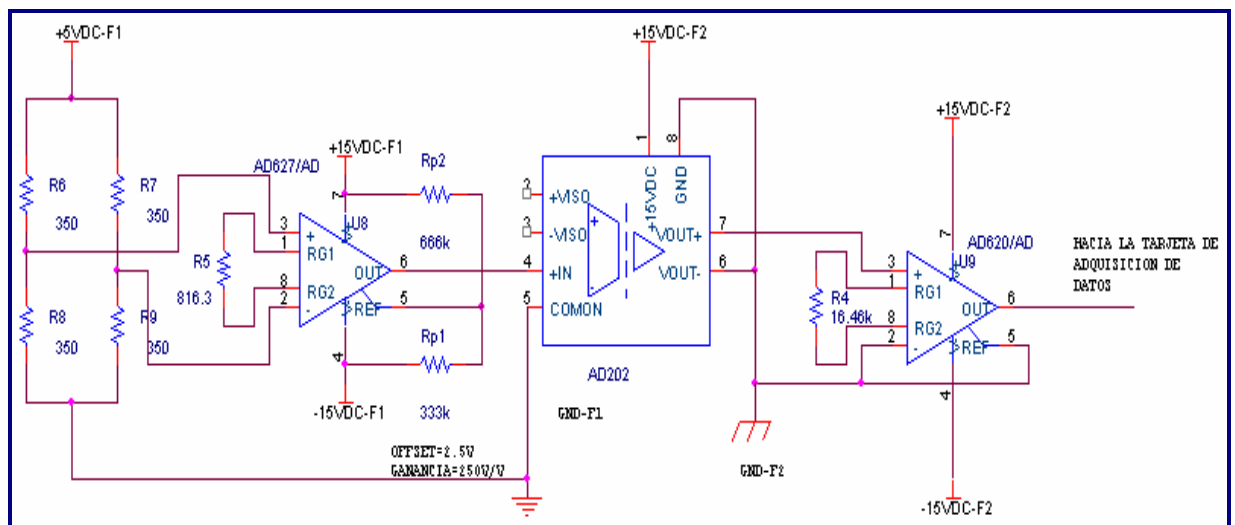


Figura 24. Diagrama de la etapa de Acondicionamiento de la Señal de la Celda de Carga y Aislamiento del Circuito.

Fuente: Los Autores

La celda de carga LC 203-500 ofrece una relación proporcional voltaje – fuerza, que permite determinar la fuerza partiendo de la amplitud de la señal de voltaje obtenida a la salida de la etapa. La señal de salida de la celda de carga oscila entre 0 y 10mV, debido a que su función de transferencia es de 2mV/V, y es alimentada con una tensión de 5V a la entrada.

¹² Ver detalles de la hoja de datos de este dispositivo en el anexo A.12 de este libro.

La señal de salida de la celda de carga se le aplica el mismo tratamiento de la señal recibida por el sensor; ingresa por las borneras y pasa al amplificador AD 627¹³, que es el primer dispositivo al cual se le agrega un valor de offset y se le proporciona una ganancia significativa por medio de dos trimmers, de 1M Ω y 20K Ω respectivamente.

Al final de la etapa de acondicionamiento de la señal, se presenta el circuito de aislamiento eléctrico proporcionado por el amplificador AD 202; que constituye un sistema de seguridad para la tarjeta de adquisición de datos.

La última parte de este circuito consta de un amplificador AD 620, cuya ganancia se regula por medio de un trimmer de 20K Ω , entregando a la salida la tensión adecuada para aplicar a la tarjeta de adquisición de datos.

La imagen del PCB de la etapa de acondicionamiento de la señal de la celda de carga y aislamiento del circuito se adjunta a continuación:

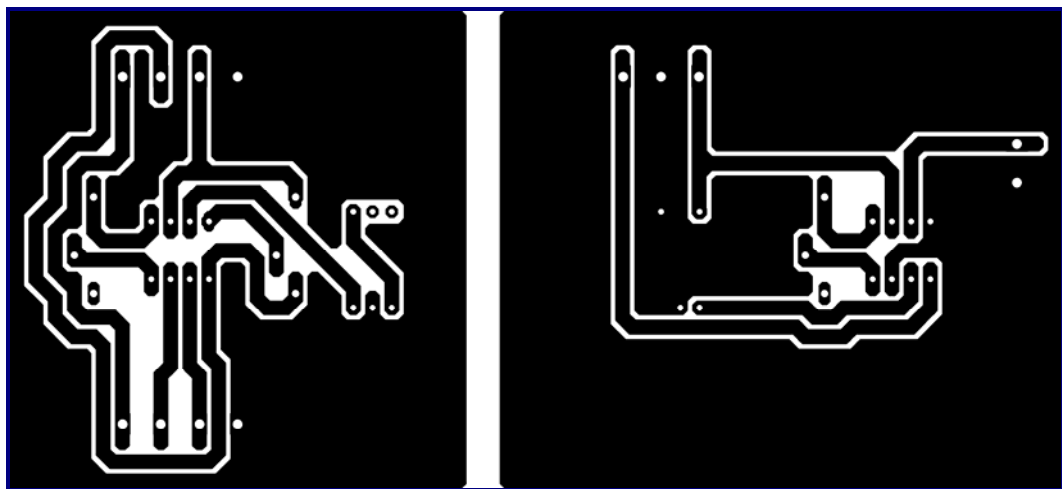


Figura 25. PCB de la Etapa de Acondicionamiento de la Señal de la Celda de Carga y Aislamiento del Circuito.

Fuente: Los Autores

¹³ Ver detalles de la hoja de datos de este dispositivo en el anexo A.10 de este libro.

6.5 ACONDICIONAMIENTO DE LA PRUEBA.

6.5.1 Componentes

Los elementos implementados en esta etapa son los siguientes:

- 3 Relés de 10V.
- 3 Diodos.
- 3 Resistencias de 220Ω .
- 3 Resistencias de 1000Ω .
- 3 Resistencias de 100Ω .
- 3 Resistencias de 600Ω .
- 3 BJT NPN 2222.

6.5.2 Función de la etapa de acondicionamiento de la prueba

Esta etapa es independiente a las mencionadas anteriormente, ya que su función principal es controlar la dirección y detención del motor para realizar la prueba, esto se logra mediante algunos relés, los cuales se encargan de reemplazar a los interruptores propios de la maquina.

A continuación se ilustra el esquema de esta etapa del sistema en el software Orcad 9.2:

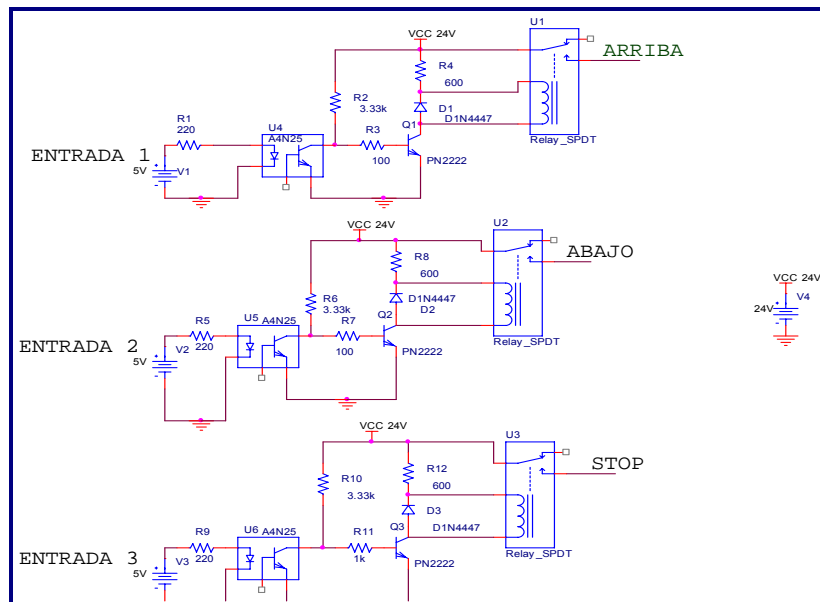


Figura 26. Diagrama de la etapa de Acondicionamiento de la Prueba.

Fuente: Los Autores

La señal representada por la fuente de 5V corresponde a la salida de la tarjeta de adquisición de datos, la cual genera el disparo deseado al ingresar al optoacoplador 4N25¹⁴. Este dispositivo brinda una protección para la tarjeta de adquisición de datos, gracias al aislamiento de tierras que ofrece, y se polariza a si mismo y al transistor BJT2222¹⁵ con la fuente de 24V. Este transistor tiene un diodo de libre paso en paralelo con el relé para asegurar la descarga de la bobina del mismo; además, teniendo en cuenta que el voltaje máximo permisible en la bobina del relé es de 10V, se requiere una resistencia de 600Ω para asegurar que el valor de tensión permanezca en la resistencia y aun así permita el flujo de corriente suficiente para excitar la bobina.

6.6 TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS.

Finalmente, la tarjeta de adquisición de datos, funciona como puente entre el hardware y el software del sistema, permitiendo analizar y graficar los datos adquiridos al realizar ensayos en la maquina de tracción lenta.

Las señales de entrada las recibe la tarjeta en forma diferencial, y se ilustran en la figura que se adjunta a continuación:

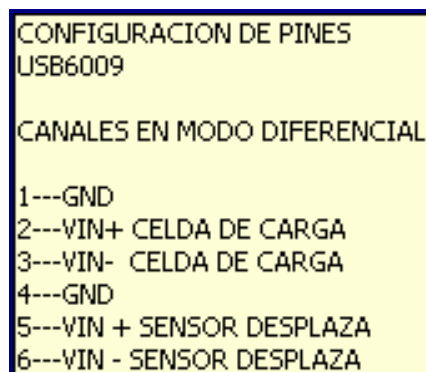


Figura 27. Diagrama de Señales de Entrada de la Tarjeta de Adquisición de Datos.

Fuente: Los Autores

¹⁴ Ver detalles en la hoja de datos de este dispositivo en el anexo A.11 en este libro.

¹⁵ Ver detalles en la hoja de datos de este dispositivo en el anexo A.13 en este libro.

Es importante apreciar que las señales que provienen de la celda de carga y el sensor de desplazamiento tienen tierras independientes; caso contrario a lo que sucede a la salida de la tarjeta de adquisición de datos, donde se cuenta con una única tierra (PIN 32) para todas las señales de salida que suministra.

Las salidas de la tarjeta de adquisición de datos al igual que las entradas de la celda de carga y el sensor de desplazamiento, tienen una configuración predeterminada, a cada salida le corresponde una función diferente, subir, bajar o en determinado caso detener la prueba.

- La salida compuesta por los pines 17 y 32 otorga la señal de subida para el muelle de la maquina de tracción, con el único fin de acomodar la probeta de ensayo en la mordaza.
- La salida ubicada entre los pines 18 y 32 representa la señal de bajada para el muelle, la cual también intenta acomodar la probeta en la mordaza.
- Y por ultimo la señal de salida generada entre los pines 19 y 32 tiene como función frenar el motor, lo que conlleva a detener la prueba.

7. DISEÑO DEL PROGRAMA EN LABVIEW

La parte complementaria de este proyecto incluye el diseño del programa para automatizar el proceso de toma de datos de la máquina de tracción lenta, haciendo uso del software LabVIEW¹⁶. Esta plataforma se utiliza para analizar y visualizar, en una interfaz amigable y completa, los resultados de los ensayos realizados por el usuario, los cuales deben cumplir con los requerimientos expuestos en las normas que rigen los procesos de la prueba¹⁷, y considerando los resultados finales en tiempo real.

7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE SOFTWARE

Según el hardware descrito en el capítulo anterior, la tarjeta de adquisición cuenta con dos señales de entrada, deformación y esfuerzo, que corresponden a los resultados que se obtienen al realizar un ensayo de tracción. Estas señales deben ser visualizadas y analizadas por la aplicación diseñada, la cual opera los resultados de la prueba (o salidas del hardware) con algunos componentes del software LabVIEW.

El diseño realizado incluye la interfaz de usuario o panel frontal mostrado en la Figura 28; contiene selectores, pulsadores, controles numéricos e instrumentos de visualización, como la grafica - Waveform y los leds; la ventana que muestra el diseño de las operaciones y Sub-VI en un diagrama de bloques se denomina "PROJECT", e incluye todas las rutinas realizadas a los datos para obtener los resultados esperados, alcanzando los objetivos propuestos de la prueba.

¹⁶ Profundizar detalles del software LabVIEW en el capítulo 2 de este libro

¹⁷ Revisar capítulo 4 de este libro, Normas utilizadas en Pruebas de Tracción.

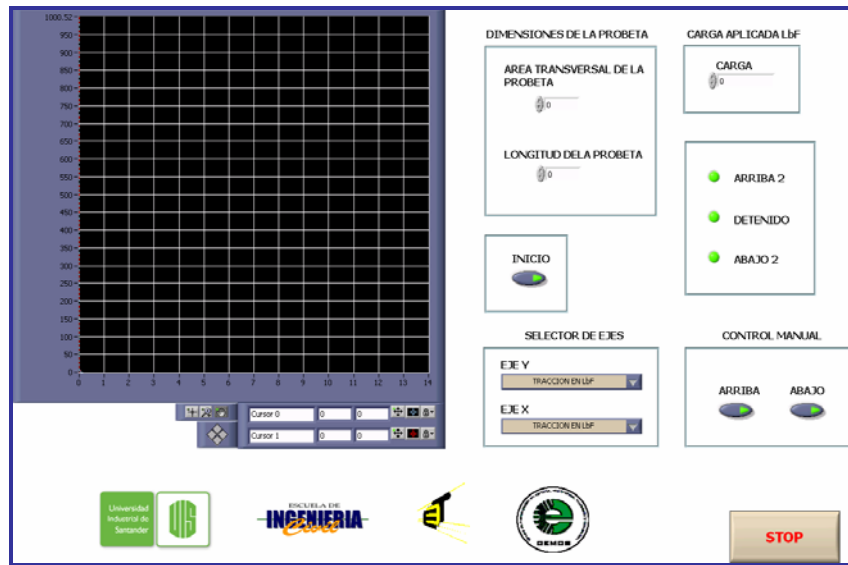


Figura 28. Panel Frontal del VI principal.

Fuente: Los Autores

A continuación se describe el diagrama de bloques del VI principal y los Sub-VI que conforman el software:

7.1.1. Descripción de “VI” Principal

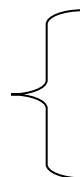


Para el funcionamiento del VI se utiliza una estructura denominada “sequence case”, la cual incluye y ejecuta cuatro programas (o subdiagramas) secuenciales superpuestos, que se mencionan a continuación:

- Subdiagrama 0
- Subdiagrama 1
- Subdiagrama 2
- Subdiagrama 3

Subdiagrama 0

Subdiagrama 0



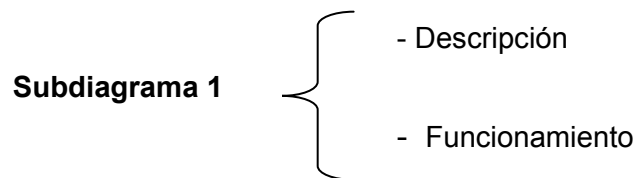
- Descripción
- Funcionamiento

- 1 Pulsador inicio
- 1 Pulsador arriba control manual
- 1 Pulsador abajo control manual
- 1 Arreglo de indicadores booleanos
- 1 Sub-VI “RELES”
- 1 Indicador booleano Arriba
- 1 Indicador booleano Abajo
- 1 Indicador booleano Detenido
- 1 Arreglo de Indicadores numéricos con la coordenada de la grafica
- 6 Constantes Booleanos

- Funcionamiento Subdiagrama 0

El funcionamiento del subdiagrama 0 está determinado por dos factores principales, el primero es la señal que recibe de la tarjeta de adquisición (señal de tensión proveniente de los relés), la cual acciona el inicio de la prueba y el movimiento de la máquina; y el segundo, consiste en llevar a cero todas las variables de la prueba, preparando de tal forma el programa para recibir los datos que el usuario se dispone a ingresar en la interfaz correspondiente.

Subdiagrama 1



- Descripción subdiagrama 1

El subdiagrama 1 se muestra en la Figura 30, contiene cuatro estructuras “While”, un conjunto de diplays que enuncian observaciones e indicaciones para que el usuario seleccione secuencialmente las variables del sistema, el Sub-VI “relees”, algunos comandos de operaciones que se especifican a continuación:

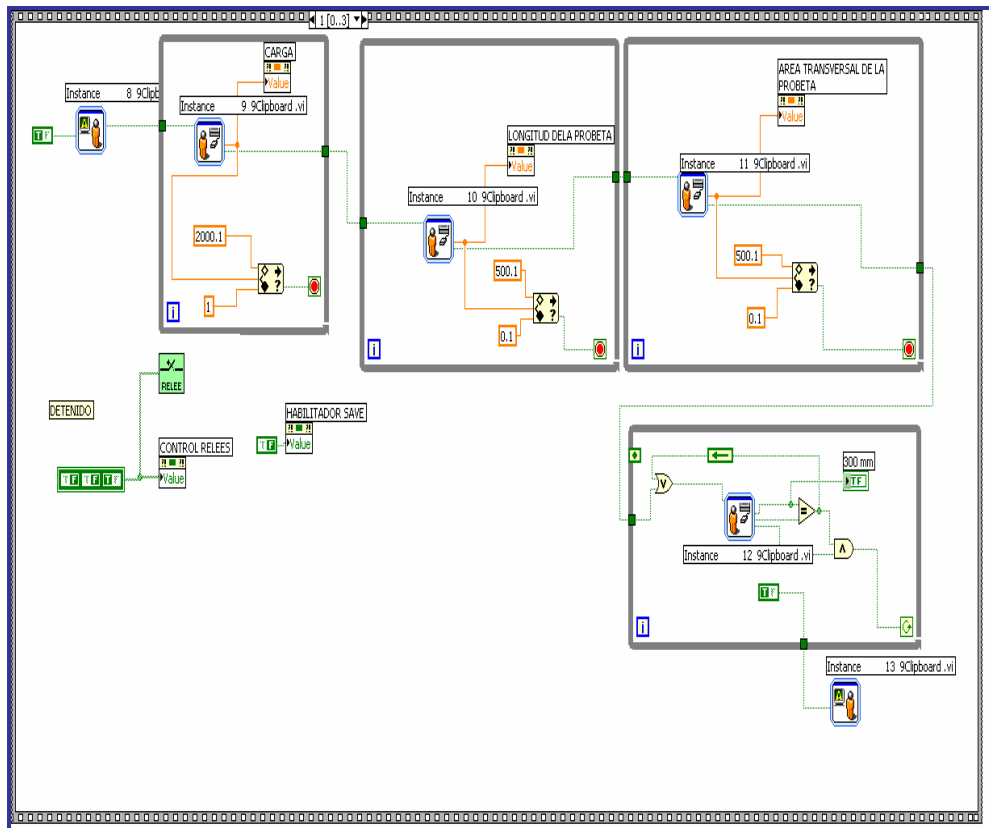


Figura 30. Diagrama de bloques de Subdiagrama 1

Fuente: Los Autores

- 4 Estructuras “While”
- Display de mensajes
- Display de pregunta al usuario
- 1 Control numérico Carga aplicada
- 1 Control numérico Longitud de la Probeta
- 1 Control numérico Área transversal de la probeta
- Limitador Numérico
- 1 Compuerta OR
- 1 Comando Igual que
- 1 Compuerta AND
- 1 Pulsador ON-OFF
- 1 Nodo de retroalimentación
- 1 Sub-VI “RELEES”

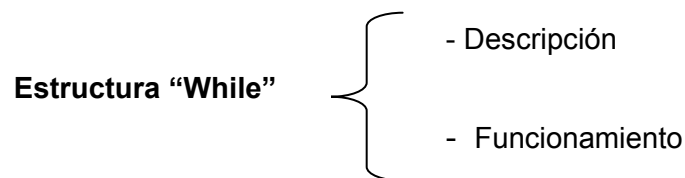
- 1 Arreglo de 3 indicadores booleanos del control de relees
- 1 Pulsador booleano “guardar”
- Constantes booleanos

- Funcionamiento subdiagrama 1

El funcionamiento de este subdiagrama está determinado por las estructuras “While”, las cuales emiten una serie de preguntas al usuario por medio de displays para que inserte los datos requeridos para desarrollar la prueba; estos displays están programados para evitar cualquier error que pueda cometer el usuario mientras inserta los datos. Las funciones del movimiento del motor diseñadas en el programa permanecen inhabilitadas mientras el usuario ingresa los datos, manteniendo fija la función DETENIDO, una vez se culmina el proceso de selección de datos, esta función, habilita los pulsadores que ejecutan la función de movimiento del motor (ARRIBA y ABAJO).

Por otro lado, se incluye un pulsador para guardar los datos de la prueba, el cual se encuentra por defecto en estado apagado o “False”, y se habilita únicamente en el momento de generar los resultados de la prueba, para ofrecer la posibilidad de capturarlos y almacenarlos, para ser analizados o visualizados posteriormente.

Subdiagrama 2



- Descripción Estructura “While”

Esta estructura esta compuesta por una compuerta OR, que otorga la opción de trabajar con dos tipos de Control Numérico (ABAJO MANUAL o ARRIBA MANUAL), la cual está conectada en serie con una estructura “Case” . La siguiente figura ilustra el diagrama de bloques correspondiente a esta etapa:

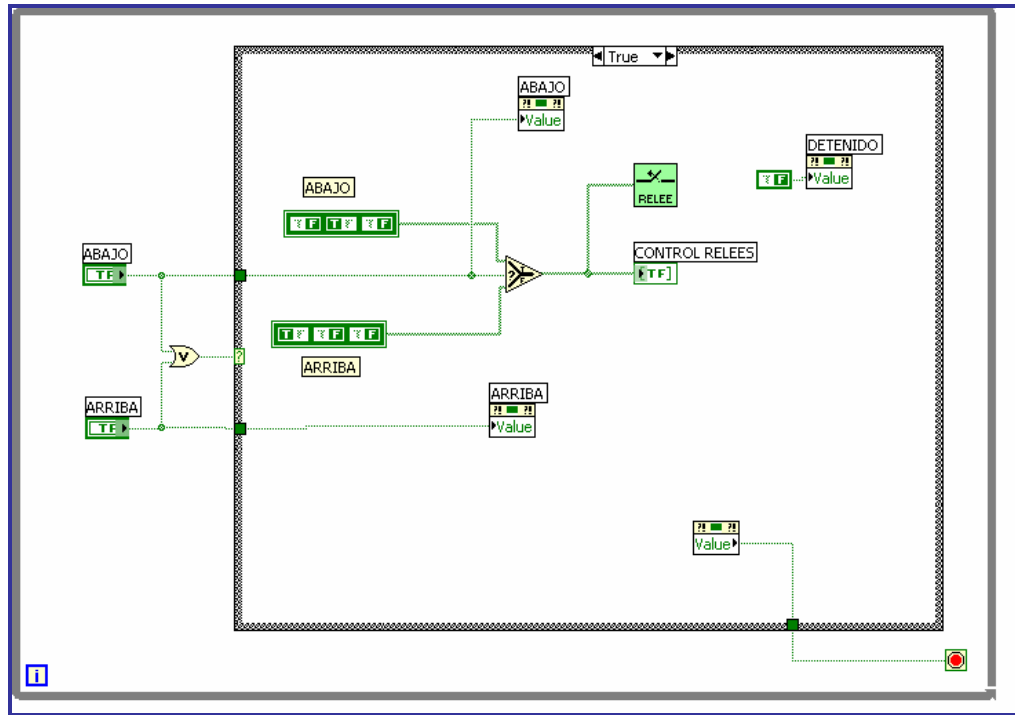


Figura 31. Diagrama de bloques de Subdiagrama 2 y la Estructura “While”

Fuente: Los Autores

- Funcionamiento Estructura “While”

La estructura “While” se utiliza para acumular los datos que se crean en la frontera de salida, de manera que cuando finalicen las iteraciones, se obtenga una matriz como resultado. El “Case” que hay dentro de este “While” tiene la posibilidad de permanecer en estado “True” o “False”, dependiendo de la indicación que otorgue la operación OR que se presenta entre los pulsadores ARRIBA y ABAJO MANUALES; al pulsar cualquiera de estas dos opciones se activa la estructura en el caso “True”, de lo contrario activara la estructura en el caso “False”.

Estructura “Case”-True {

- Descripción
- Funcionamiento

- Descripción Estructura “Case”- Trae

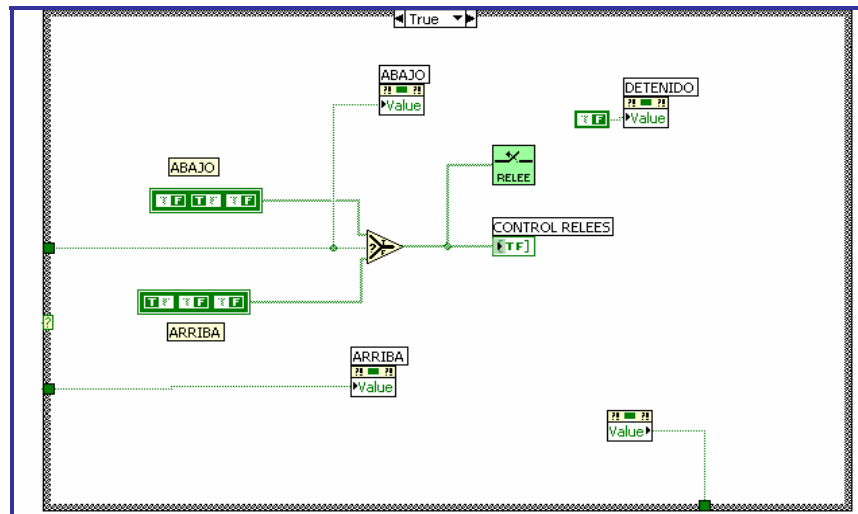


Figura 32. Diagrama de bloques de Estructura “Case-True”

Fuente: Los Autores

La estructura “Case”-True esta compuesta por un Sub-VI “Relees”, un comparador booleano, indicadores, pulsadores y constantes booleanas, como se muestra en la Figura 32 y se detalla a continuación:

- 1 Indicador booleano Arriba
- 1 Indicador booleano Abajo
- 1 Indicador booleano Detenido
- 1 Arreglo con 3 indicadores booleanos
- 1 Sub-VI “RELEES”
- 1 Pulsador de Stop
- 7 Constantes Booleanas
- 1 Selector Booleano

- Funcionamiento Estructura “Case”- True

La estructura “Case” en el caso “True” funciona para habilitar los selectores de ARRIBA o ABAJO MANUAL, por medio del Sub-VI “Relees” y la tarjeta de adquisición de datos y finalmente enviar la señal a la máquina para que se ejecute el movimiento seleccionado.

Estructura "Case"-False

- Descripción
- Funcionamiento

- Descripción Estructura "Case"- False

Esta estructura esta compuesta por un pulsador para inicio, el cual se encuentra conectado a una estructura "Case" que contiene:

- Estructura CASE-TRUE
- Estructura CASE-FALSE

Si se oprime el pulsador de inicio, se ejecuta la estructura CASE-TRUE, en caso contrario se ejecuta por defecto el diseño correspondiente al CASE-FALSE.

- Descripción Estructura "Case"- True

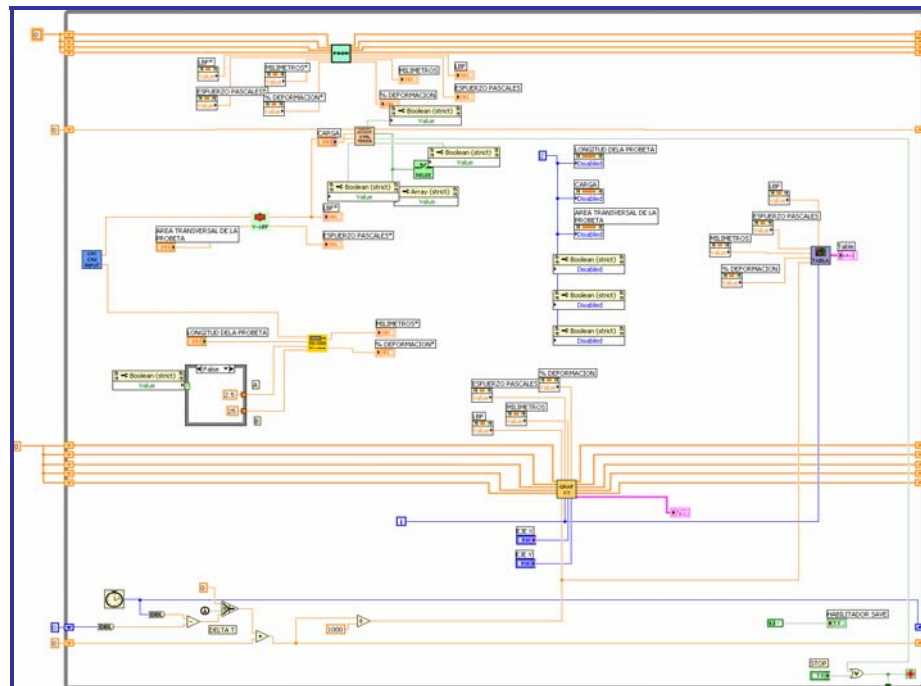


Figura 33. Diagrama de bloques de Estructura "Case-True"

Fuente: Los Autores

Esta etapa esta compuesta por una estructura “While” que contiene los elementos que se observan en la Figura 33 y se detallan a continuación:

- 1 Control numérico Carga aplicada
- 1 Control numérico Longitud de la Probeta
- 1 Control numérico Área transversal de la probeta
- 1 Indicador numérico elongación en mm
- 1 Indicador numérico % de deformación
- 1 Indicador numérico esfuerzo en Pascales
- 1 Indicador numérico carga en LBF
- 1 Indicador numérico elongación* en mm
- 1 Indicador numérico % de deformación*
- 1 Indicador numérico esfuerzo* en Pascales
- 1 Indicador numérico carga en LBF*
- 1 Indicador para tabla
- 1 Indicador booleano Arriba
- 1 Indicador booleano Abajo
- 1 Indicador booleano Detenido
- 1 Sub-VI “GRAFICACION”
- 1 Sub-VI “VOLTA-MM-DEF”
- 1 Sub-VI “TABLA”
- 1 Sub-VI “VOLTA-LBF”
- 1 Sub-VI “RELEES”
- 1 Sub-VI “INPUTS”
- 1 Sub-VI “promedio móvil”
- 1 Sub-VI “Control Tracción”
- 1 Selector para eje X
- 1 Selector para eje Y
- 1 Pulsador ON-OFF
- 1 Estructura “Case”
- 1 Pulsador booleano “guardar”
- 1 Contador
- Convertidores de doble precisión

- 1 Comando División
- 1 Selector Booleano
- 1 Comando Sustracción
- 1 Comando Adición
- 1 Expresión de “Primero Llamo a ?”
- 1 Pulsador para Stop
- 1 Arreglo de Ejes

- Funcionamiento Estructura “Case”- True

La estructura “Case-True” es la etapa principal de esta aplicación, ya que contiene todos los Sub-VI y se ejecutan las opciones para realizar la prueba.

La estructura “While” acumula los datos que se procesen en las salidas de los Sub-VI, para obtener una representación gráfica y numérica que permita realizar un análisis de los mismos. Existen 5 etapas en este diagrama de Bloques.

La **Primera Etapa** se encarga principalmente de realizar la conversión de unidades para adaptarlas a las variables del proceso, y de realizar la detención del mismo en caso de que se presente ruptura del material. Esto se lleva a cabo en el Sub-VI “Inputs”, que alimenta la estructura “While” con dos señales, una es la proveniente de la celda de carga y la otra corresponde a la del sensor de desplazamiento, por medio de la tarjeta de adquisición de datos, para posteriormente dirigirlas al Sub-VI “VOLTA-LBF” y al Sub-VI “VOLTA-MM-DEF”, respectivamente, los cuales realizan la conversión de unidades necesaria para adaptarse a las variables que se utilizan en el sistema, deformación en mm, % de deformación, tracción en LBF y esfuerzo en Pascales. Como entradas a estos dos Sub-VI se tienen el área transversal de la probeta para el primero, los coeficientes correspondientes de cada sensor y la longitud de la probeta para el segundo.

Para finalizar esta etapa, las salida del Sub-VI de “VOLTA-LBF” pasan a ser entradas del Sub-VI de “Control Tracción” quien realiza la detención del programa por medio del Sub-VI “Relees”, cuando ocurre la ruptura del material puesto a prueba.

La **Segunda Etapa** se ejecuta con cuatro variables mencionadas previamente, con el fin de calcular un promedio de las mismas por medio del Sub-VI “Prom”, para pasar a la siguiente fase.

La **Tercera Etapa** la constituye la variable Tiempo, y el proceso consiste en crear la señal de reloj en segundos, que es el resultado de operaciones llevadas a cabo inicialmente por el contador, quien es el encargado de construir un delta de tiempo con operaciones básicas y al que se le adiciona la iteración anterior de tiempo, para finalmente dividirlo por mil y obtener la señal esperada.

Por último, la **Cuarta Etapa** es la encargada de realizar la representación gráfica y numérica de los datos obtenidos, la grafica se construye con tres datos fundamentales, las variables que provienen de la segunda etapa e ingresan al Sub-VI “Graf XY”, la variable de tiempo obtenida en la Tercera Etapa y las iteraciones de la estructura “While”, además, se conectan las opciones de selector para dos ejes que el usuario escoja en el desarrollo de la prueba.

La representación numérica se realiza mediante una tabla, la cual también se construye con las variables que provienen de la segunda etapa, quienes ingresan en un diferente, denominado Sub-VI “Tabla”. Los datos obtenidos se envían al software Microsoft Excel, para tabular y operar los mismos desde esta plataforma.

Unido a estas etapas se encuentra el habilitador el cual se puede activar únicamente en el caso TRUE para guardar los resultados obtenidos del proceso, y al final de este se deshabilite por completo, y el habilitador de Stop para esperar la señal del Sub-VI “Control Tracción” cuando sea necesario.

-Descripción Estructura “Case”- False

Esta estructura esta compuesta por indicadores, constantes booleanas y el Sub-VI “Reles”, y contiene los siguientes comandos, como se ilustra en la Figura 34 y se detallan a continuación:

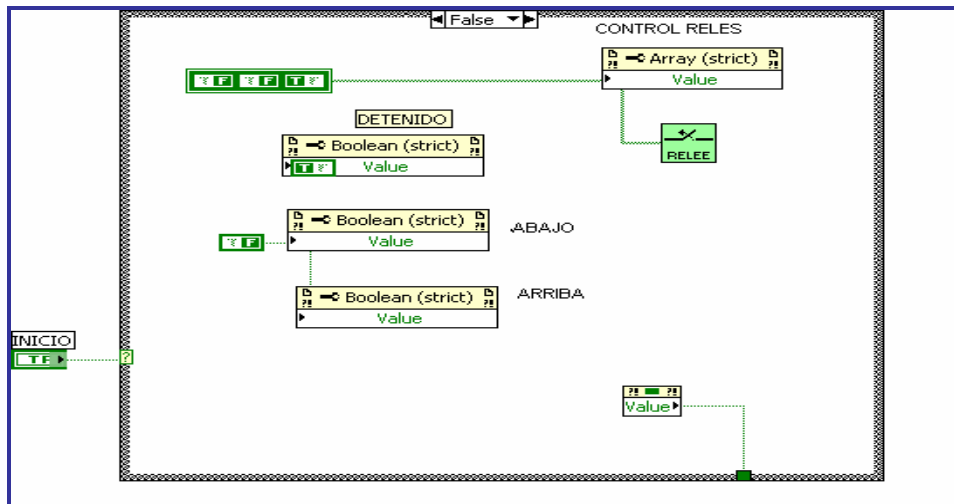


Figura 34. Diagrama de bloques de Estructura “Case-False”

Fuente: Los Autores

- 1 Indicador booleano Arriba
- 1 Indicador booleano Abajo
- 1 Indicador booleano Detenido
- 1 Arreglo con 3 indicadores booleanos
- 1 Sub-VI “RELEES”
- 1 Pulsador de Stop
- 5 Constantes Booleanas

- Funcionamiento Estructura “Case”- False

La estructura “Case-False” funciona por medio de un False en Inicio, si el usuario no solicita el inicio a la prueba con esta estructura, tiene la posibilidad de activar las opciones de arriba, abajo y detenido según lo requiera.

Subdiagrama 3

Subdiagrama 3

- Descripción
- Funcionamiento

- Descripción subdiagrama 3

Este subdiagrama esta compuesto por indicadores, controles numéricos, pulsadores, el Sub-VI “Relees”, constantes booleanas y displays de mensajes, como se ilustran en la Figura 35 y se nombran a continuación:

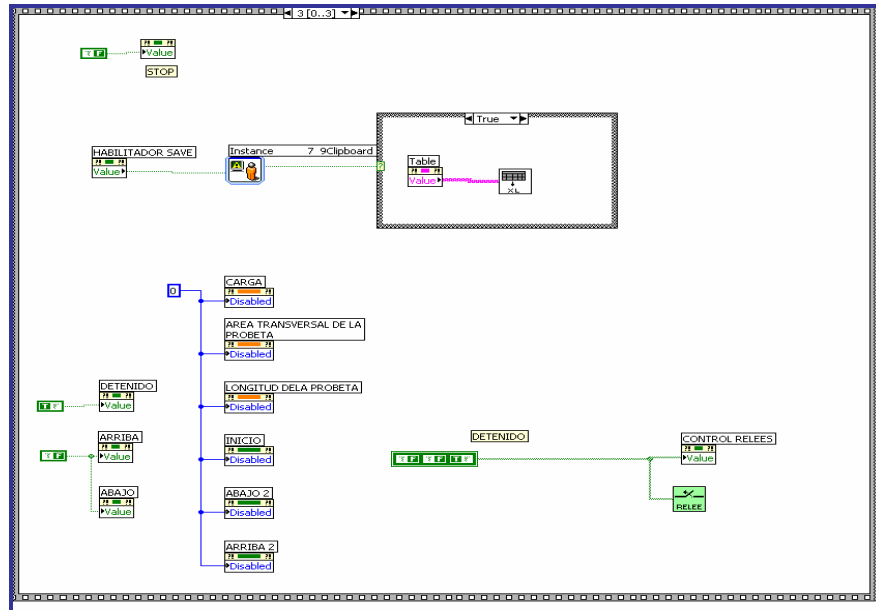


Figura 35. Diagrama de bloques Subdiagrama 3

Fuente: Los Autores

- 1 Estructura “Case”
- 1 Indicador tabla
- 1 Control numérico Longitud de la Probeta
- 1 Control numérico Área transversal de la probeta
- 1 Indicador para Guardar
- 1 pulsador para Stop
- Display de Mensaje
- 1 Pulsador para inicio
- 1 Pulsador arriba control manual
- 1 Pulsador abajo control manual
- 1 Sub-VI “RELEES”
- 1 Indicador booleano Arriba

- 1 Indicador booleano Abajo
- 1 Indicador booleano Detenido
- 1 Arreglo de 3 Indicadores booleanos
- 6 Constantes Boléanos

- **Funcionamiento subdiagrama 3**

El subdiagrama 3 tiene la función de guardar y visualizar los datos en Excel. Al terminar el proceso del Subdiagrama 2 y obtener los datos de la Prueba, se habilita el pulsador para guardar la tabla, gracias al mensaje que autoriza o no al usuario guardar los datos obtenidos. Si por lo contrario se cancela la opción, el programa se detiene y resetea todas las variables del panel frontal.

7.1.2 Descripción Sub-VI “RELEES”



Este Sub-VI tiene los siguientes comandos, como se observa en la Figura 36 y se nombran a continuación:

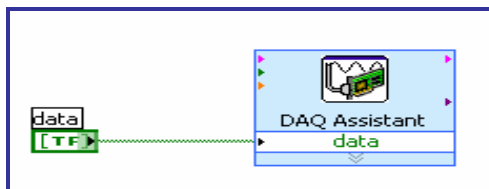


Figura 36. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Relees”

Fuente: Los Autores

- 1 Control Numérico relees
- 1 arreglo de 3 Indicadores Booleanos
- 1 Asistente DAQ

7.1.3 Funcionamiento Sub-VI “RELEES”

La función de este Sub-VI es enviar la señal del usuario desde el software, para realizar el encendido, la detención y el movimiento arriba o abajo de la maquina. La señal es remitida por medio de la tarjeta de adquisición de Datos USB-6009 al hardware e inmediatamente a la maquina.



7.1.4 Descripción Sub-VI “CONTROL TRACCIÓN”

Este Sub-VI tiene controladores Numéricos, indicadores, selectores, compuertas, comparadores y un Display, como se observa en la Figura 37 y se mencionan posteriormente:

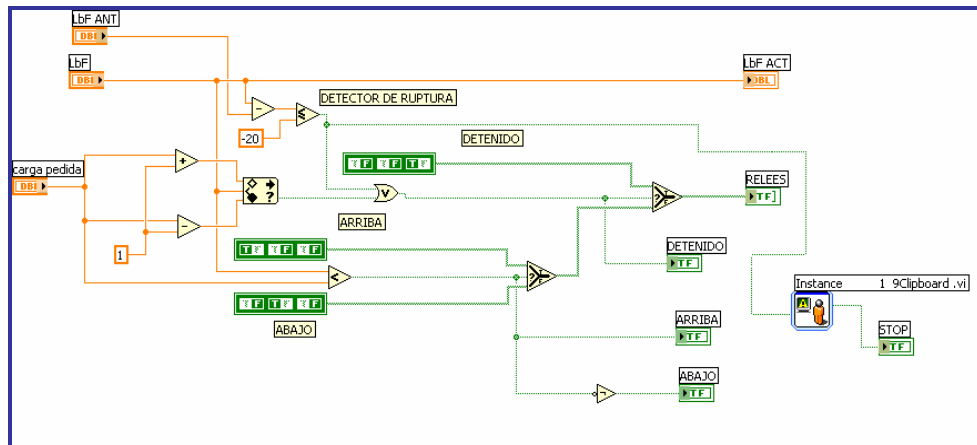


Figura 37. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Control Tracción”

Fuente: El Los Autores

- 1 Control Numérico LBF
- 1 Control Numérico LBF ANT
- 1 Control Numérico Carga Pedida
- 1 Indicador Numérico LBF ANT
- Selector booleano
- 1 Limitador booleano
- 1 Compuerta OR
- Comandos Sustracción
- 1 Comando Adición
- 1 Comparador Menor que
- 1 Comparador Menor o igual que
- 1 Compuerta NOT
- 1 Indicador booleano Arriba
- 1 Indicador booleano Abajo

- 1 Indicador booleano Detenido
- 1 Indicador booleano con control numérico para los relees
- 1 Indicador Stop
- 1 Display para mensaje
- 9 Constantes Booleanas

7.1.5 Funcionamiento Sub-VI “CONTROL TRACCIÓN”

Este Sub-VI se crea para identificar el momento en el cual la probeta tiene su ruptura y las acciones siguientes al hecho.

La función se ejecuta con la variable LBF (CARGA), comparando la resta del dato anterior y el dato presente de esta variable con una constante de -20, si este resultado es menor, sigue trabajando con las condiciones programadas pero si es mayor o igual, envía una señal con la cual se detiene el proceso, informando al usuario con un mensaje, la ruptura y la culminación de la prueba. Por otro parte compara la carga pedida con la LBF presente, para realizar el movimiento hacia arriba o hacia abajo del muelle, de tal forma que al detenerse la prueba, este lista para empezar otro proceso al lado contrario al cual estaba trabajando anteriormente.



7.1.6 Descripción Sub-VI “INPUTS”

Este Sub-VI contiene indicadores, un asistente DAQ, convertidores y un separador de señales, como ilustra la Figura 38 el y se especifican a continuación:

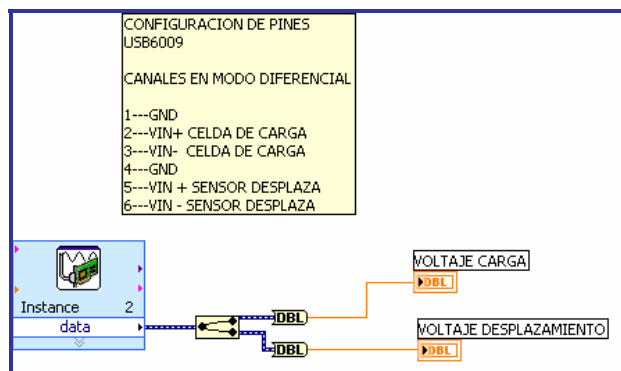


Figura 38. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Inputs”

Fuente: El Los Autores

- 1 Indicador de Voltaje de Carga
- 1 Indicador de Voltaje de desplazamiento
- 1 Asistente DAQ
- Convertidores de precisión doble flotante
- 1 Separador de Señales

7.1.7 Funcionamiento Sub-VI “INPUTS”

El Sub-VI “Inputs” funciona con la tarjeta de adquisición de datos, la cual envía dos señales, celda de carga y sensor de desplazamiento, que se bifurcan gracias al separador de señales y por unos convertidores flotantes de doble precisión. Estas señales son digitales, y son entregadas a los demás Sub-VI y posteriormente se utilizan como variables.

7.1.8 Descripción Sub-VI “VOLTA-MM-DEF”



Este Sub-VI tiene controles numéricos, indicadores y comandos de operaciones, los cuales se observan en la Figura 39 y se nombran a continuación:

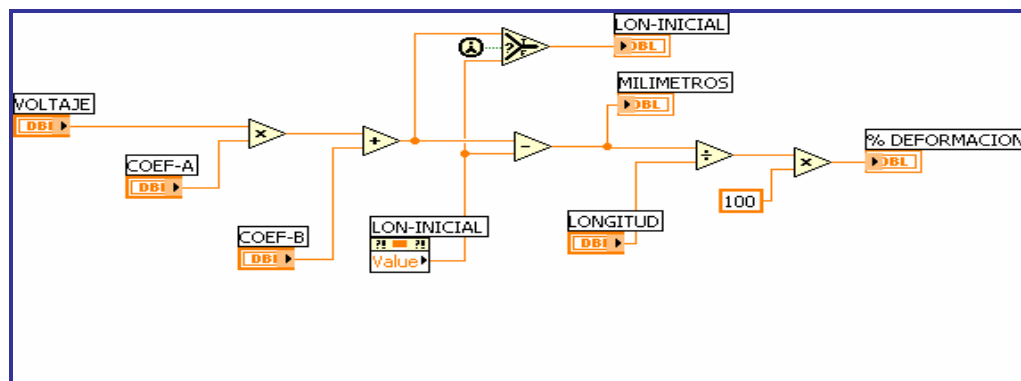


Figura 39. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Volt-MM-DEF”

Fuente: Los Autores

- 1 Control Numérico Voltaje del Sensor
- 1 Control Numérico coeficiente A
- 1 Control Numérico coeficiente B
- 1 Control Numérico Longitud de la Probeta

- 1 Indicador de Longitud Inicial
- 1 Indicador de Milímetros
- 1 Indicador de % de Deformación
- 1 Comando de Sustracción
- 1 Comando de Adición
- Comando de Multiplicación
- 1 Comando de División
- 1 selector de Entradas
- 1 comando de Primero llamo a?

7.1.9 Funcionamiento Sub-VI “VOLTA-MM-DEF”

Este Sub-VI se utiliza para la conversión de volts a milímetros. El hardware envía la entrada de la variable de deformación a la tarjeta de adquisición de datos en volts, la cual debe convertirse a milímetros. Para el funcionamiento de este Sub-VI se tiene un voltaje a la entrada que se modela matemáticamente con unos coeficientes A y B, que representan las constantes de linealidad dadas por la ecuación general de la recta,

$$y = Ax + B, \text{ donde } A= 2.5 \text{ y } B= 25 \text{ para sensor de 50mm}$$

$$A= 15 \text{ y } B= 150 \text{ para sensor de 300mm}$$

Con esta función lineal y con la longitud anterior que viene dada de cada iteración, se obtiene un delta de longitud; este delta se divide sobre longitud de la probeta, adquiriéndose la deformación en mm. Finalizando este proceso se divide por 100 para conseguir el % de deformación. Posteriormente con este Sub-VI se obtienen dos variables, deformación en mm y % de deformación.

7.1.10 Descripción Sub-VI “VOLTA-LBF”



Este Sub-VI contiene controles numéricos, indicadores y comandos de operaciones, que se ilustran en la Figura 40 y se mencionan a continuación:

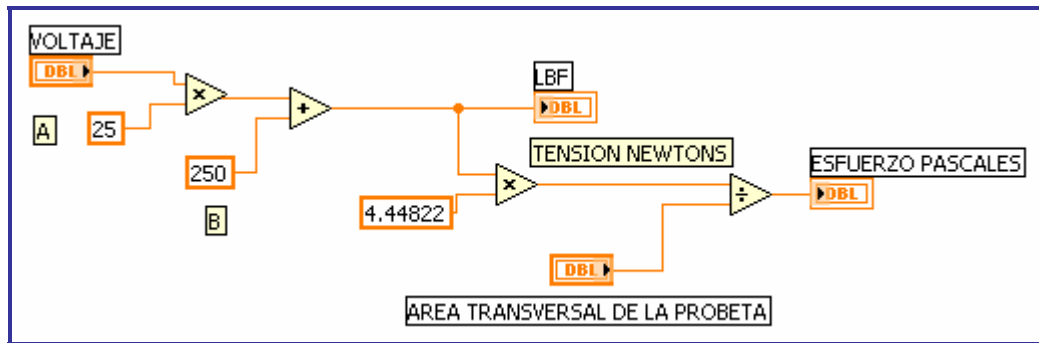


Figura 40. Diagrama de Bloques de Sub-VI "Volt-LBF"

Fuente: Los Autores

- 1 Control Numérico Voltaje
- 1 Control Numérico Área Transversal de la probeta
- 1 Indicador LBF
- 1 Indicador Esfuerzo en Pascales
- 1 Comando Adición
- Comandos Multiplicación
- 1 Comando División

7.1.11 Funcionamiento Sub-VI "VOLTA-LBF"

Este Sub-VI tiene la función de convertir volts a Lbf y pascales. Este proceso se inicia con las señales que envía el hardware mediante la tarjeta de adquisición en Volts, las cuales son convertidas a unidades de Esfuerzo. Para el funcionamiento de este Sub-VI se presenta un voltaje a la entrada, el cual se modela matemáticamente con unas constantes A y B, constantes de linealidad que vienen dadas por la ecuación general de la recta,

$$y = Ax + B, \text{ donde } A=25 \quad \text{y} \quad B=250.$$

Mediante este modelo el voltaje es convertido en Libras Fuerza; este valor es multiplicado por una constante 4.44822 obteniendo tensión en Newton, que al ser dividido por el área transversal de la probeta se convierte a PASCALES. Finalmente con este Sub-VI se obtienen dos variables, Tracción en LBF (Libra Fuerza) y Esfuerzo en Pascales



7.1.12 Descripción De Sub-VI “PROM”

Este Sub-VI tiene controles numéricos, indicadores, arreglos, conversores de doble precisión, comandos de operaciones y selectores booleanos, que se observan en la Figura 41 y se nombran a continuación:

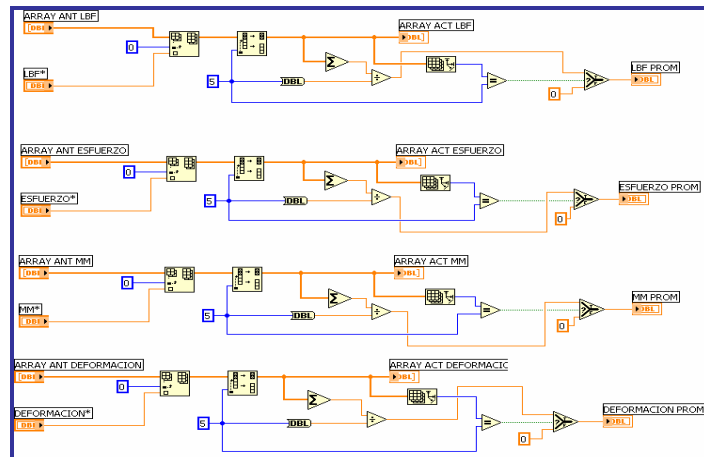


Figura 41. Diagrama de Bloques de Sub-VI “PROM”

Fuente: Los Autores

- 1 Control Numérico Esfuerzo*
- 1 Control Numérico Deformación*
- 1 Control Numérico MM*
- 1 Control Numérico LBF*
- 1 Indicador MM PROM
- 1 Indicador Esfuerzo PROM
- 1 Indicador Deformación PROM
- 1 Indicador LBF PROM
- 4 Comando División
- 4 Comandos de Igual que
- 4 Comandos de Sumatoria
- 4 Conversores flotantes de doble precisión
- 4 Selectores Booleanos
- 4 Divisores de Arreglos
- 4 Convertidores de arreglos a N dimensiones

7.1.13 Funcionamiento Sub-VI “PROM”

Este Sub-VI se utiliza para promediar los datos que se adquieren de la prueba, ya que se reciben muchos datos y debido a esto se realiza un promedio de cada 5 datos para una mejor tabulación, este procedimiento empieza con la entrada de la variables de deformación y esfuerzo, acompañadas por los arreglos de los datos anteriores con los que se forma un solo registro, con el cual se escogen 5 datos consecutivos uno del otro y se promedian, entonces las variables están listas para pasar a otra etapa del procesos.

7.1.14. Otros Sub-VI

Labview posee muchos procesos ya desarrollados y almacenados como ejemplos, por lo tanto se implementaron algunos de ellos con cambios mínimos, para el óptimo funcionamiento del software propuesto. Los Sub-VI son:

- Tabla
- Excel
- Graf XY
- Otros

Sub-VI “TABLA”



El Sub-VI de la, utiliza las variables que se han venido trabajando en el proceso y las entrega a un asistente de crear tabla, para luego visualizarlas en un indicador de tabla. Esto se logra con un contador.

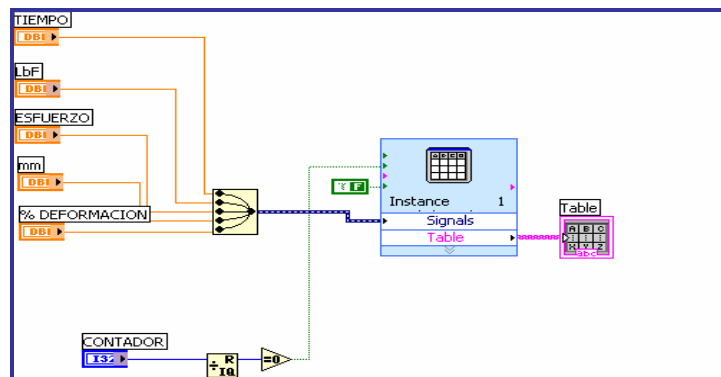


Figura 42. Diagrama de Bloques de Sub-VI “TABLA”

Fuente: Los Autores

Sub-VI “EXCEL” 

El Sub-VI genera la tabla en Excel, a este Sub-VI se le realizo un cambio en el nombre de las columnas de la tabla a las cuales, se le agregaron las variables de, deformación, % deformación, Tiempo, Esfuerzo LBF, Esfuerzo en Pascales

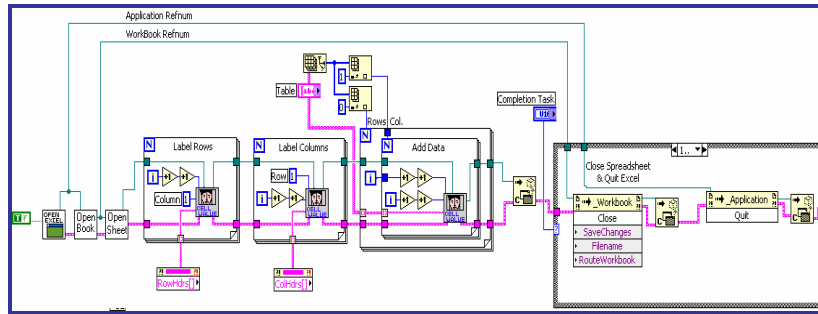


Figura 43. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Excel”

Fuente: Los Autores

Sub-VI “GRAF XY” 

A este Sub-VI se asignan las variables, deformación, esfuerzo y tiempo con sus respectivos arreglos, con los cuales se realizan la selección de las variables que corresponden a cada eje, mediante los selectores y algunas operaciones, representándolas gráficamente utilizando el comando “Waveform”.

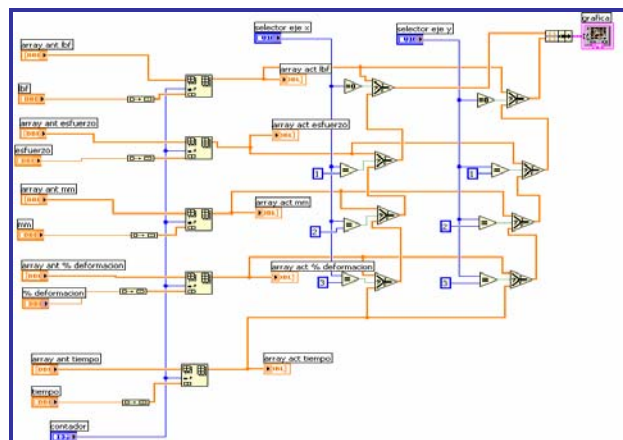


Figura 44. Diagrama de Bloques de Sub-VI “Graf XY”

Fuente: Los Autores

Otros

Otros de los Sub-VI que se utilizan son:



Este Sub-VI se encuentra dentro del Sub-VI “Excel”, y su función es abrir Microsoft Excel.



Este Sub-VI se encuentra dentro del Sub-VI “Excel”, y su función es transferir el valor que proviene de los arreglos a las celdas correspondientes en la hoja de Excel.



Este Sub-VI se encuentra dentro del Sub-VI “Excel”, y su función es abrir el libro de Excel.



Este Sub-VI se encuentra dentro del Sub-VI “Cell Value”, y su función es convertir la fila y la columna, que representa la coordenada de las variables, al formato de celda de Excel.

7.2 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SOFTWARE

Cuando el programa es abierto por el usuario, el software diseñado se habilita ofreciendo un cuadro de dialogo con una serie de instrucciones y observaciones. Después de aceptar aparecen cinco cuadros de dialogo, secuencialmente; en el primero se pide el valor de tracción que no puede ser menor o igual a 0, ni mayor o igual a 2000 LBF. Después de proporcionar el valor y presionar “OK” aparece el segundo cuadro de dialogo, solicitando el valor del tamaño de la probeta, el cual se encuentra entre 1mm y 499mm. Al introducir el valor y oprimir “OK” aparece el tercer cuadro de dialogo, que requiere el valor del área transversal de la probeta, el cual es menor que 500 mm^2 , sin incluir números negativos ni el cero. Proporcionado el dato, se oprime “OK” mostrando inmediatamente el cuarto cuadro de dialogo que solicita seleccionar el sensor a utilizar, colocado manualmente por el usuario. Finalmente se suministra el valor y después de oprimir “OK”, se presenta el último cuadro de dialogo que solicita ubicar la probeta manualmente y pulsar el interruptor “INICIO”.

Antes de comenzar la prueba se seleccionan las variables que representará cada eje; inmediatamente el usuario debe pulsar “INICIO”, llevando a que el software adquiera los

datos y construyendo la gráfica simultáneamente; en el instante requerido se detiene la prueba por medio del pulsador "STOP", proporcionando la grafica final y un cuadro de dialogo que guardara los datos, si la repuesta es afirmativa (pulsando "OK"), apareciendo en la pantalla un Libro en Excel con todos los datos tomados del ensayo, pero si la respuesta es negativa (oprimiendo "CANCEL"), terminará la prueba.

8. IMPLEMENTACIÓN FINAL Y RESULTADO DE PRUEBAS

Gracias a todo el proceso descrito en este libro se llega a la etapa que deberá comprobar la eficiencia del proyectó, la asociación hardware y software sustentada por la veracidad de los resultados que se obtendrán a medida que se vayan realizando las pruebas correspondientes.

8.1 LINEALIDAD DE LOS SENSORES.

Para comprobar la utilidad de los dispositivos importantes, tenemos que comprobar que tanto la celda de carga, como los sensores de desplazamiento sean lineales para que sean aptos para la realización de pruebas para el proyecto. La forma utilizada para comprobar la linealidad de los potenciómetros lineales, fue la medición manual de la distancia de los sensores por medio de un calibrador y su correspondiente resistencia para esta extensión del potenciómetro lineal por medio de un multímetro.

8.1.2 Sensor de desplazamiento LP 502-50¹⁸.



Figura 45. Sensor LVDT LP 802-50.

Fuente: Los Autores

Para el sensor LP 802-50 (Ver Figura 45) se utilizó un paso de medición de 2mm debido que, la distancia de intervalo para la cual se requiere este dispositivo es de 5cm y con este paso se realizan las suficientes muestras para adquirir una gráfica confiable.

¹⁸ Para mayor información sobre este dispositivo, puede remitirse al capítulo 6 o a su respectiva hoja de cálculo anexo A.2 de este libro.

TABLA DEL SENSOR LP 802-50.

DESPLAZAMIENTO[mm]	RESISTENCIA[kΩ]
0	2.16
2	2.19
4	2.35
6	2.46
8	2.59
10	2.68
12	2.81
14	2.92
16	3.01
18	3.14
20	3.25
22	3.35
24	3.49
26	3.58
28	3.69
30	3.81
32	3.93
34	4.03
36	4.15
38	4.25
40	4.36
42	4.48
44	4.59
46	4.71
48	4.81
50	4.92
52	5.01
54	5.05
56	5.05
56.3	5.05

Tabla 7. Datos del estudio de linealidad del Sensor LP 802-50

Fuente: Los Autores

Con los datos de las tablas se realizan la regresión lineal correspondiente, comprobando con la Figura 46, el comportamiento lineal del potenciómetro lineal.

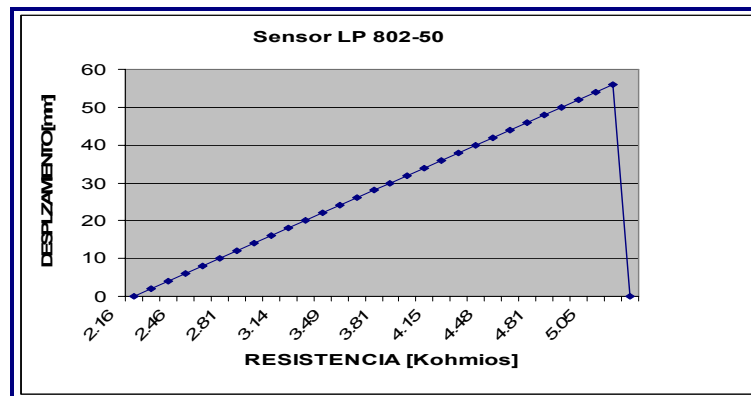


Figura 46. Linealidad del LVDT LP 802-50.

Fuente: Los Autores

La respectiva expresión matemática de la regresión lineal es la siguiente:

$$d = 18.372526 * R - 39.567818, \text{ donde } R \text{ es la resistencia y } d \text{ el desplazamiento.}$$

0.05427 es la constante de la relación entre mm sobre Ω y 2.158257 es el desplazamiento inicial.

8.1.2 Sensor de desplazamiento LP 501-300¹⁹



Figura 47. Potenciómetro lineal LP 802-50.

Fuente: Los Autores

Con los datos de las tablas se realiza la regresión lineal correspondiente, comprobando con la siguiente grafica, el comportamiento totalmente lineal de los potenciómetros lineales.

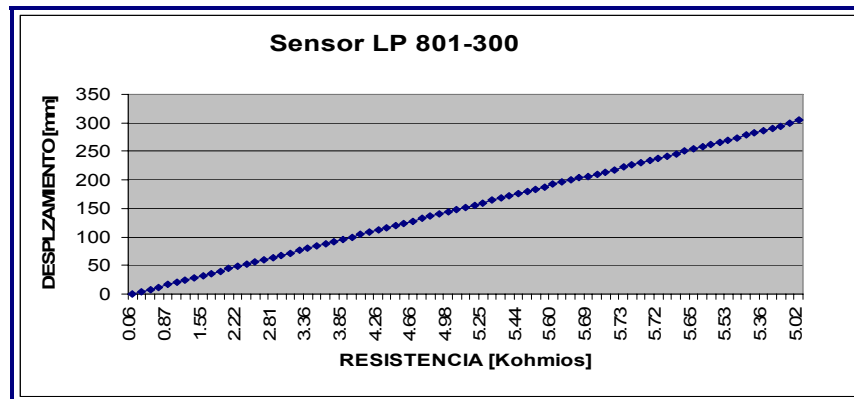


Figura 48. Linealidad del LVDT LP 801-300.

Fuente: Los Autores

Para el LP 801-300 se utilizo un paso pero esta vez de 4mm, tomando las muestras necesarias para entregar soporte a la tabla con su respectiva grafica.

¹⁹ Para mayor información sobre este dispositivo, puede remitirse al capítulo 6 o a su respectiva hoja de cálculo anexo A.3 de este libro

TABLA DEL SENSOR LP 801-300.

DESPLAZAMIENTO[mm]	RESISTENCIA[kΩ]
0	0.06
4	0.29
8	0.46
12	0.67
16	0.87
20	1.03
24	1.19
28	1.38
32	1.55
36	1.72
40	1.89
44	2.06
48	2.22
52	2.36
56	2.52
60	2.67
64	2.81
68	2.96
72	3.11
76	3.24
80	3.36
84	3.50
88	3.61
92	3.74
96	3.85
100	3.97
104	4.07
108	4.18
112	4.26
116	4.37
120	4.47
124	4.57
128	4.66
132	4.75
136	4.82
140	4.90
144	4.98
148	5.06
152	5.11
156	5.19
160	5.25
164	5.30
168	5.35
172	5.41
176	5.44
180	5.49
184	5.53
188	5.57
192	5.60
196	5.63
200	5.66
204	5.68
206	5.69
210	5.71
214	5.72
218	5.73
222	5.73
226	5.74
230	5.74
234	5.72
238	5.72
242	5.70
246	5.70
250	5.68
254	5.65
258	5.63
262	5.60
266	5.57
270	5.53
274	5.50
278	5.45
282	5.41
286	5.36
290	5.30
294	5.24
300	5.16
306	5.02

Tabla 8. Datos del estudio de linealidad del Sensor LP 801-300.

Fuente: Los Autores

Ecuación de la regresión lineal:

$d = 37.991213 * R - 31.340553$, donde R es la resistencia y d el desplazamiento.

0.05427 es la constante de la relación entre mm sobre ohms y 2.158257 es el desplazamiento inicial.

8.2 ESTADO REAL DEL SISTEMA.

EL sistema de adquisición de datos desarrollado durante este libro, a tenido un enfoque muy teórico con el fin de demostrar, que los cimientos que llevaron a la realización del mismo no son mas que las bases inculcadas a lo largo de todo el recorrido estudiantil realizado por los autores.

A continuación se observa la forma final y material de cada una de las etapas, explicadas en el capítulo 6, con el fin de demostrar la implementación de todos los diseños realizados²⁰.

8.2.1 Etapa de rectificación y alimentación.

En la Figura 49 se observa la etapa de rectificación y alimentación del sistema, encargada de energizar las otras etapas, se pueden apreciar la implementación de los materiales mencionados en su diseño, su ubicación y forma. Esta etapa tiene las siguientes características:

Altura: 3 cm.

Largo: 8 cm.

Ancho: 4 cm.

²⁰ Para mayor información de los diseños, remitirse al capítulo 6 de este libro.



Figura 49. Implementación de la etapa de rectificación y alimentación.

Fuente: Los Autores

8.2.2 Etapa de acondicionamiento de la señal del sensor y aislamiento del circuito

En la Figura 50 se observa la etapa de acondicionamiento de la señal del sensor y aislamiento del circuito, encargada de procesar la señal del sensor, y brindar la respectiva seguridad eléctrica a los dispositivos sensibles utilizados como los sensores y la tarjeta de adquisición, se pueden apreciar la implementación de los materiales mencionados en su diseño, su ubicación y forma. Esta etapa tiene las siguientes características:

Altura: 1.5 cm.

Largo: 13 cm.

Ancho: 5.5 cm.



Figura 50. Implementación de la etapa de acondicionamiento de la señal del sensor, y aislamiento del circuito.

Fuente: Los Autores

8.2.3 Acondicionamiento de la señal de la celda de carga y aislamiento del circuito

En la Figura 51 se ve la etapa de acondicionamiento de la señal de la celda de carga y aislamiento del circuito, que tiene la tarea de procesar la señal de la celda de carga y otorgar la respectiva seguridad eléctrica a los dispositivos sensibles como lo son la celda de carga y la tarjeta de adquisición de datos, se pueden apreciar la implementación de los materiales mencionados en su diseño, su ubicación y forma. Esta etapa tiene las siguientes características:

Altura: 1.5 cm.

Largo: 14 cm.

Ancho: 6.5 cm.

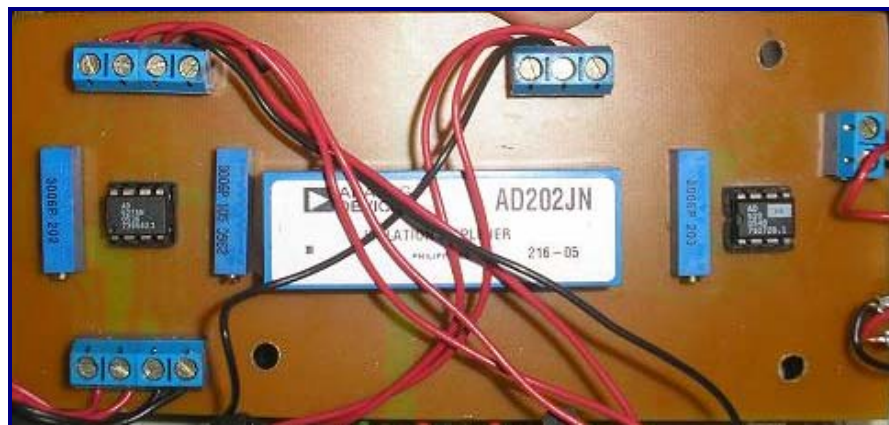


Figura 51. Implementación de la etapa de acondicionamiento de la señal de la celda de carga, y aislamiento del circuito.

Fuente: Los Autores

La celda de carga LC 203-500 (Ver Figura 52), aunque no es la celda originaria de la maquina, fue el dispositivo de fuerza utilizado para realizar las pruebas al sistema diseñado con el fin de comprobar la utilidad del mismo, ya que consta con un método de calibración por medio de trimmers, el cual se puede adecuar a varias clases de celdas de carga, claro esta después de hacer el calculo y comprobar la calidad del ajuste.



Figura 52. Celda de Carga LS203-500.

Fuente: Los Autores

8.2.4 Descripción general.

A continuación se presenta la forma final del sistema, sus entradas y salidas, organización interna y apariencia general, para tener una idea de las dimensiones del mismo.

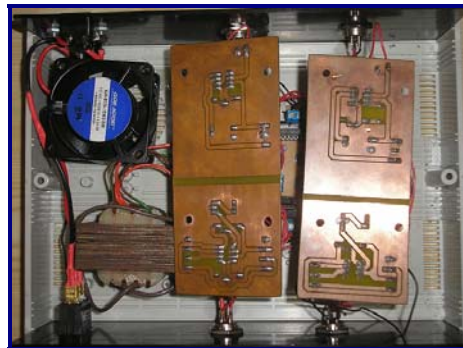


Figura 53. Organización Interna del Sistema.

Fuente: Los Autores

El sistema diseñado no solo consta de las tres baquelitas nombradas anteriormente, también contiene materiales indispensables para su funcionamiento como son el transformador, el fusible, el ventilador, el interruptor, entre otros, que se pueden observar en la Figura 53, ellos también deben ser tenidos en cuenta en el hardware. Estos dispositivos no se mencionan en ninguna etapa por que su funcionamiento tiene que ver

con cada una de ellas, y por esto deben tener un lugar en el interior de la caja de almacenamiento del sistema.

Las dimensiones generales del sistema son:

Altura: 9 cm.

Largo: 26 cm.

Ancho: 18 cm.

Visto desde la parte exterior (Ver Figura 54) se encuentran las salidas del sistema, el porta fusibles y la entrada de poder la cual es la conexión a la red.



Figura 54. Alimentación y Salidas de las señales.

Fuente: Los Autores

Al reverso de la caja se encuentran las entradas del sensor y la celda de carga, y el interruptor que tiene la finalidad de otorgar el encendido al sistema.



Figura 55. Encendido y Entrada de las Señales.

Fuente: Los Autores

8.3 DEMOSTRACION DEL SISTEMA.

Teniendo la implementación de los diseños explicados durante el libro, solo queda demostrar la eficacia del sistema con las graficas correspondientes a un ensayo de adquisición.

Debido al mal estado eléctrico de la maquina y a la falta de compromiso del personal de mantenimiento de la universidad, no se pudieron ejecutar pruebas en la misma, y aunque se buscaron maquina en distintas sedes como Guatiguara, no se consiguió un ensayo con un material que nos permitiera tomar una curva clara para analizar. Por todos estos inconvenientes antes mencionados, se llego a la conclusión de demostrar la eficiencia del sistema de forma manual, que significa aplicar fuerza a la celda utilizando una persona normal, que genere un cambio de tensión en la salida de este dispositivo y otro individuo que realice un cambio en la extensión del LVDT, con el fin de comprobar que el sistema adquiere datos al observar en las diferentes graficas, los cambios que se generan en las señales de salida de los sensores.

Las graficas obtenidas se detallaran a continuación, cabe resaltar que todas se tomaron con las mismas condiciones iniciales las cuales son:

AREA TRANVERSAL DE LA PROBETA: 50mm²

LONGITUD DE LA PROBETA: 10mm

CARGA APLICADA EN LBF: 500Lbf

8.3.1 Gráfica Deformación (mm) vs. Tiempo (seg.)

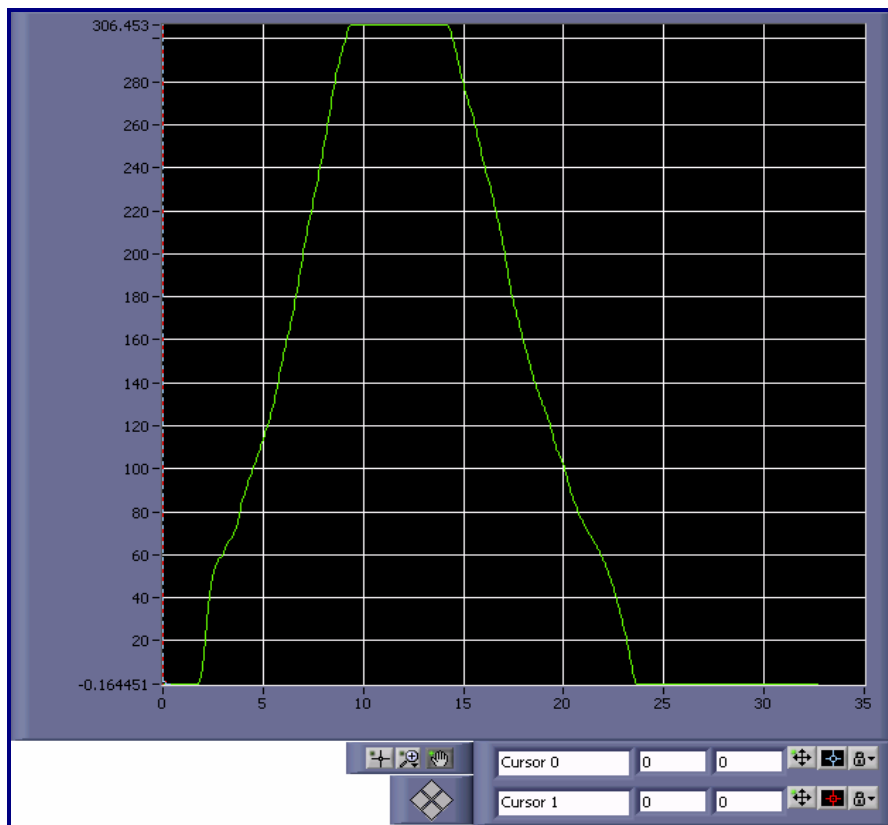


Figura 56. Deformación (mm) vs. Tiempo (seg.)

Fuente: Los Autores

En esta prueba se ubica en el eje “Y” la medida del sensor de desplazamiento de LP 801-300 de treinta centímetros, el cual es cerrado y abierto en su totalidad con el fin de observar el cambio en la pantalla, de igual manera se asigna una señal en eje “X” que consiste en la variable tiempo que no tuvo una duración mayor a treinta y cuatro segundos.

El sensor desliza desde un valor cercano a 0 hasta 306.453 mm valor existente entre el rango normal de error del sensor de desplazamiento que es del 20% en la variación de la resistencia.

8.3.2 Gráfica Tracción en LBF vs. Tiempo (seg.)

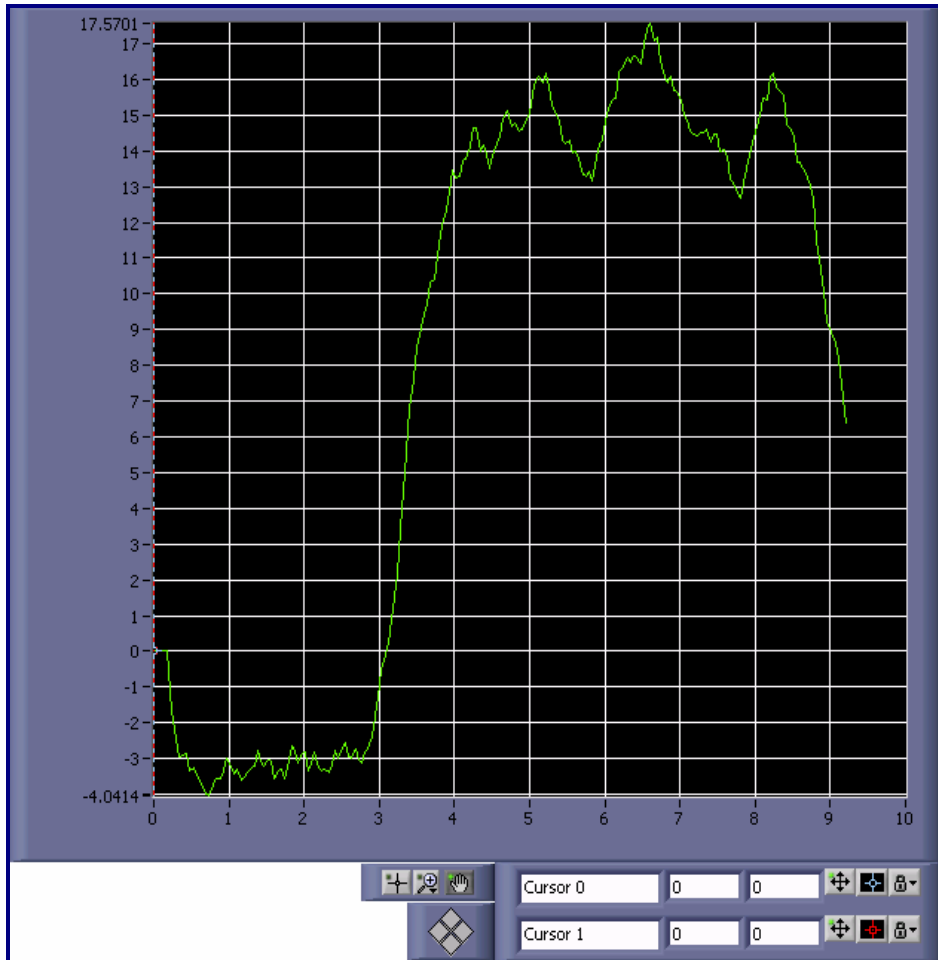


Figura 57. Tracción en LBF vs. Tiempo (seg.)

Fuente: Los Autores

Se implementó un método similar al utilizado en la deformación. La celda de carga genera la variación entre sus salidas debido a la fuerza, que es aplicada entre sus extremos, por una persona mostrando en el gráfico la fuerza generada y el tiempo de duración de la prueba.

8.3.3 Gráfica Esfuerzo en Pascales vs. Tiempo (seg.)

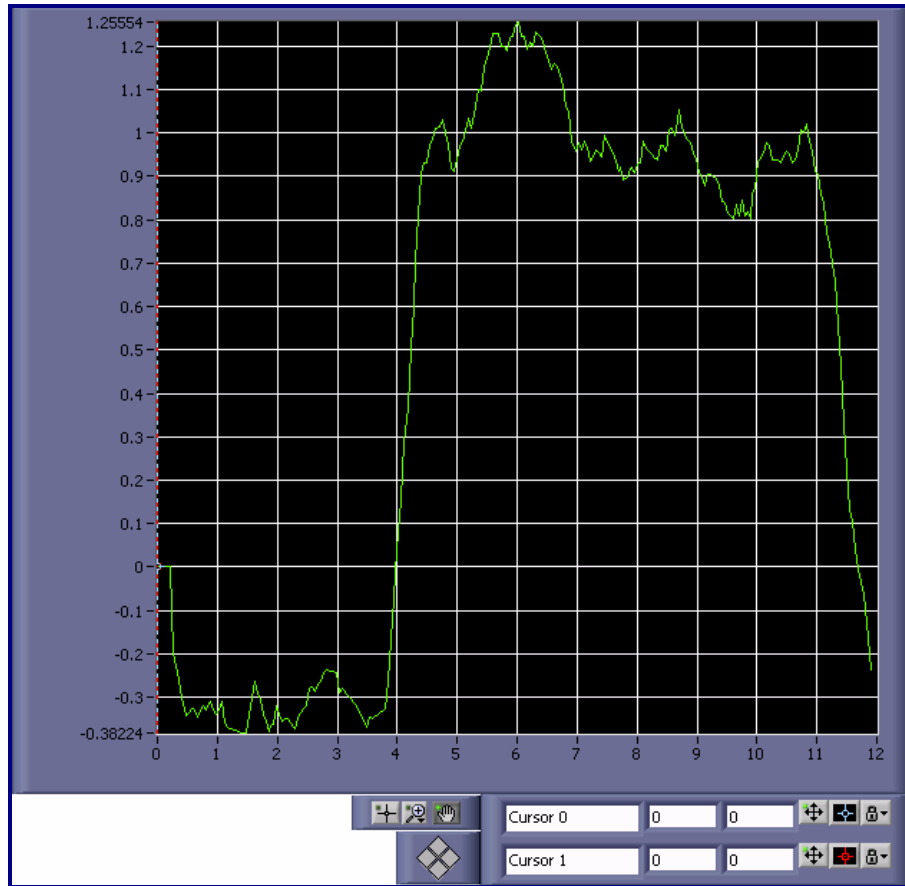


Figura 58. Esfuerzo en Pascales vs. Tiempo (seg.)

Fuente: Los Autores

La celda de carga genera la variación entre sus salidas debido a la fuerza, que es aplicada entre sus extremos por una persona, mostrando el esfuerzo en pascales. El pascal es una unidad de presión que deducimos al dividir la fuerza ejercida entre el área transversal de la probeta, graficada con respecto al tiempo.

8.3.4 Grafica Tracción LBF vs. Deformación (mm)

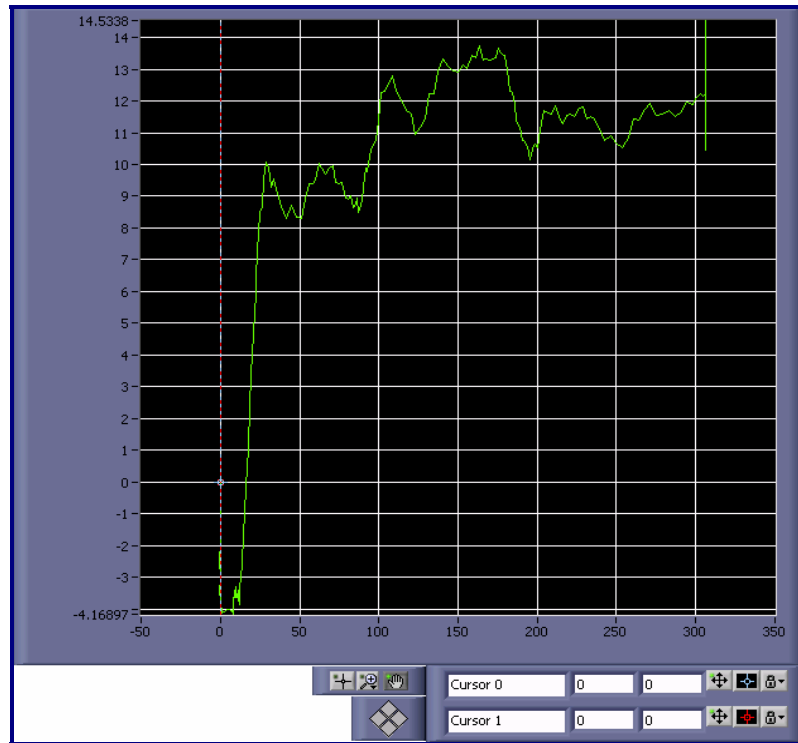


Figura 59. Tracción LBF vs. Deformación (mm)

Fuente: Los Autores

La finalidad de este proyecto es analizar esta grafica en especial, aquí se comprenden las dos variables que entregaran las propiedades de un material al estar sometido a una fuerza. En el eje “Y” se encuentra la tracción nuevamente ejercida por una persona, con el fin de representar un cambio con respecto a su estado normal, finalmente en el eje “X” se encuentra la deformación resultante al ejercer un cambio en la posición del potenciómetro de medida.

A continuación se presentara una tabla exportada a EXCEL por el programa al finalizar la prueba, esta tabla representa los datos tomados por el software de adquisición, con el fin de ofrecerle la facilidad al usuario de comprobar la grafica obtenida, en un programa diferente, que posee una herramienta de graficación muy completa así como es EXCEL.

TIEMPO	LIBRAS FUERZA DE TENSION	ESFUERZO EN PASCALES	DEFORMACION EN mm	% DE DEFORMACION
0	0	0	0	0
0,46	-1,910864	-0,169999	-0,191222	-1,912221
0,834	-2,229806	-0,198373	-0,084138	-0,841377
1,192	-2,676325	-0,238098	-0,160627	-1,606265
1,567	-4,105186	-0,365215	7,427065	74,270655
1,922	-3,301452	-0,293712	9,534333	95,343328
2,293	-3,352482	-0,298252	12,322351	123,223507
2,674	3,294271	0,293073	19,607912	196,079118
3,051	8,690772	0,773169	26,182127	261,821269
3,413	8,295283	0,737985	41,411053	414,110531
3,775	10,030328	0,892342	62,18542	621,854196
4,133	8,945925	0,795869	78,783496	787,83496
4,483	8,75456	0,778844	88,941213	889,412127
4,844	11,408158	1,01492	99,928833	999,288333
5,193	11,599524	1,031945	120,160129	1201,601291
5,558	13,079415	1,163602	143,596307	1435,963069
5,902	13,27078	1,180627	165,678632	1656,786324
6,259	13,423872	1,194247	179,874959	1798,749595
6,615	10,770274	0,958171	190,766969	1907,66969
6,975	11,714343	1,042159	204,248125	2042,481255
7,333	11,51022	1,024	223,672464	2236,724641
7,694	10,910609	0,970656	246,274914	2462,749137
8,05	11,561251	1,02854	274,931454	2749,314542
8,408	12,237408	1,088694	303,259093	3032,590928
8,761	12,046043	1,071669	306,414257	3064,142571
9,113	10,438574	0,928661	306,414257	3064,142571
9,469	12,135346	1,079614	306,414257	3064,142571

Tabla 9. Tabla de datos de la prueba.

Fuente: Los Autores

9. CONCLUSIONES

- El proyecto desarrollado por los autores es un sistema de adquisición de datos, que contiene un sistema de hardware y software soportado en la plataforma LabVIEW, los cuales se conectan a la tarjeta de adquisición de datos USB 6009 para su correspondiente lectura en el PC.
- Aunque no se realizó una prueba en la máquina de Tracción Lenta de la Escuela de Ingeniería Civil, se comprobó que el sistema desarrollado adquiere los datos de las señales del sensor de desplazamiento y celda de carga, procesándolos y visualizándolos en una gráfica en tiempo real.
- El proceso de calibración de las señales correspondientes al sensor y la celda de carga, es un método de vital importancia para la adquisición de los datos, ya que de otro modo su identificación en el programa sería errónea y no realizaría una verdadera y equivalente lectura.
- Mediante el software diseñado en LabVIEW el usuario puede realizar el análisis completo de los datos adquiridos, obteniendo una representación gráfica generada por la selección de las variables requeridas, y la tabulación de datos de la gráfica ilustrados en una tabla de Excel.
- Dentro de las ventajas ofrecidas por la tarjeta de adquisición de datos, se destacan el ahorro en tiempo de descarga de los valores que ingresan en este dispositivo, la conexión por el puerto USB al PC, sus rangos de tensión de entrada y salida adecuados para esta aplicación, y su economía frente a algunas tarjetas existentes en el mercado.

10. RECOMENDACIONES.

- Se espera que en un futuro se asigne una continuación para este proyecto, para lograr la implementación del sistema desarrollado por los autores en la maquina de Tracción Lenta de la Escuela de Ingeniería Civil.
- Se recomienda ejercer proyectos de grado que involucren la reparación de maquinas sin uso en diferentes laboratorios de la universidad, con el propósito de beneficiar tanto a los estudiantes que desarrollen el proyecto como a las escuelas involucradas.
- Se propone que al realizar el mantenimiento de las máquinas a automatizar, se contraten agentes externos con el fin de agilizar y cumplir con todas las expectativas propuestas.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MANSFELD, F. Polarization Resistance Measurements – Today's Status. Artículo.
- [2] TIRADO ARIZA, Edwin Yesid. Automatización de un equipo para la evaluación de recubrimientos mediante el ensayo tensil. Diseño y Construcción. Tesis de Grado. UIS.
- [3] MENDEZ LARROTTA, Martha Lucia, JIMENEZ OSORIO, Oscar Fernando Automatización de la maquina de tracción lenta; director Jaime G. Barrero Pérez.
- [4] ESPITIA GONZALEZ, Christian Hernando, Sistema de adquisición de datos en una máquina de fatiga para el estudio de materiales con memoria de forma; director José Alejandro Amaya Palacio.
- [5] HOROTWITZ, Paul HILL, Winfield. The Art of Electronics. U.S.A: Cambridge University Press, 1999. 1125p
- [6] JOHNS & MARTIN. Analog Integrated Circuit Design. Prentice Hall, 1997.
- [7] National Instruments Corporation. PCI-1200 User Manual. USA. 1998. 100p.
- [8] National Semiconductors. National Analog and Interface Products Databook. U.S.A. 2002. 1870p.
- [9] Burr-Brown Corporation. Burr-Brown Integrated Circuits Data Book. U.S.A. 1998. 1436p.
- [10] Paul Gray & Robert G Meyer. Analisis y Diseño de Circuitos Integrados Analógicos. Universidad de California. Prentice Hall. Mexico. 1995.

[11] SEDRA Adel S & SMITH Kenneth C. Circuitos Microelectrónicos. Oxford University Press. Mexico. 2002.

- ✓ www.national.com : National Semiconductors
- ✓ www.instron.com : Instron
- ✓ www.ti.com : Texas Instruments y Burr Brown
- ✓ www.digikey.com : Digi-Key
- ✓ www.maxim-ic.com : Maxim y Dallas semiconductor
- ✓ www.microchip.com : Mircochip
- ✓ www.ni.com : National Instruments
- ✓ www.omega.com : Omega
- ✓ www.amalog.com : Analog Device
- ✓ <http://www.semelab.co.uk> : SemeLAB
- ✓ www.astm.org/ : Normas para Pruebas de Tracción Lenta
- ✓ www.emcgrath.com/catalog/lab/testing.html : Catálogos Máquinas
- ✓ www.ceit.es/Servicios/Bolsa-Trabajo/Enero98/pfc.html : Proyecto de Modernización de una máquina de ensayos de tracción.
- ✓ www.labh2.coppe.ufrj.br/sarra//artigos/artigo10406/
- ✓ www.arquitectuba.com.ar/textos/Ensayos%20de%20traccion.pdf
- ✓ www.materiales-sam.org.ar/sitio/revista/32005TrabajoPatriciaLapitz.pdf
- ✓ www.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/index.html: Principios básicos físicos y químicos de una maquina de tracción.
- ✓ http://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador_de_instrumentaci%C3%B3n
- ✓ <http://www.huarpe.com/electronica/ao1/aoicmrr1.html>
- ✓ http://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_impreso

ANEXOS

ANEXO A. HOJAS DE DATOS.

En este anexo se presentan las hojas de datos de los dispositivos tales como sensores, amplificadores y elementos que componen el sistema de adquisición de datos elaborado en el Proyecto de grado.

Anexo A. 1 Tarjeta de adquisición de datos.

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

NI USB-6008, NI USB-6009

- Small, portable multifunction data acquisition devices
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/LVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available
- OEM versions available

Operating Systems

- Windows 2000/XP
- Mac OS X¹
- Linux^{2,1}
- Pocket PC
- Win CE

Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx
- Ready-to-run data logger

¹Mac OS X and Linux users need to download NI-DAQmx Base.



Product	Bus	Analog Inputs ¹	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

¹SE = single ended, DI = differential

Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition modules provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements, but versatile enough for more complex measurement applications.

Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 use NI-DAQmx high-performance, multithreaded driver software for interactive configuration and data acquisition on Windows OSs. All NI data acquisition devices shipped with NI-DAQmx also include VI Logger Lite, a configuration-based data-logging software package.

Mac OS X and Linux users can download NI-DAQmx Base, a multiplatform driver with a limited NI-DAQmx programming interface. You can use NI-DAQmx Base to develop customized data acquisition applications with National Instruments LabVIEW or C-based development environments. NI-DAQmx Base includes a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data.

PDA users can download DAQmx Base for Pocket PC and Win CE to develop customized handheld DAQ applications.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-6008/09 Accessory Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-6008/09 Prototyping Accessory provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:

- Data logging – Log environmental or voltage data quickly and easily.
- Academic lab use – The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. (Academic pricing available. Visit ni.com/academic for details.)
- Embedded OEM applications.

Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 Student Kits which include LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost hands-on learning tool. Visit ni.com/academic for more details.



Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

¹ Input voltages may not exceed the working voltage range. (where is reference?)

Absolute accuracy at full scale, differential

Number of channels..... 8 single-ended/4 differential
Type of ADC Successive approximation

ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended..... ±10 V
Input range, differential..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
Maximum working voltage..... ±10 V
Overvoltage protection ±35 V
FIFO buffer size 512 B
Timing resolution 41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy 100 ppm of actual sample rate
Input impedance 144 k
Trigger source..... Software or external digital trigger
System noise..... 0.3 LSB_{rms} (±10 V range)

Analog Output

Absolute accuracy (no load) 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
Number of channels..... 2
Type of DAC Successive approximation
DAC resolution..... 12 bits

Maximum update rate 150 Hz, software-timed
Output range 0 to +5 V
Output impedance..... 50 Ω
Output current drive..... 5 mA
Power-on state..... 0 V
Slew rate..... 1 V/μs
Short-circuit current..... 50 mA

Digital I/O

Number of channels..... 12 total
8 (P0.<0..7>)
4 (P1.<0..3>)
Direction control Each channel individually programmable as input or output
Output driver type
USB-6008..... Open-drain
USB-6009..... Each channel individually programmable as push-pull or open-drain
Compatibility CMOS, TTL, LVTTL
Internal pull-up resistor 4.7 kΩ to +5 V
Power-on state Input (high impedance)
Absolute maximum voltage range..... -0.5 to +5.8 V

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	-	50	μA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	-	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I = -8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I = -0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	-	V

Counter

Number of counters 1
Resolution 32 bits
Counter measurements..... Edge counting (falling edge)
Pull-up resistor..... 4.7 kΩ to 5 V
Maximum input frequency..... 5 MHz
Minimum high pulse width..... 100 ns
Minimum low pulse width..... 100 ns
Input high voltage 2.0 V
Input low voltage 0.8 V

Power Available at I/O Connector

+5 V output (200 mA maximum)..... +5 V typical
+4.85 V minimum
+2.5 V output (1 mA maximum)..... +2.5 V typical
+2.5 V output accuracy 0.25% max
Voltage reference temperature drift... 50 ppm/°C max

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors)	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors)	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors)	59 g (2.1 oz.)
Weight (with connectors)	84 g (3 oz.)
I/O connectors	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC)	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend	300 μ A typical 500 μ A maximum

Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating Environment	
Ambient temperature range	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Storage Environment	
Ambient temperature range	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Maximum altitude	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution degree	2

Certifications and Compliances

The USB-6008 and USB-6009 are designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1
- CAN/CSA C22.2 No. 61010-1

Note: For UL and other safety certifications, refer to the product label, or visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Voltages

Connect only voltages that are within the absolute maximum limits of the connection point. See pertinent specification section for appropriate limits.

Hazardous Locations

The USB-6008 and USB-6009 are not certified for use in hazardous locations.

Electromagnetic Compatibility

Emissions	EN 55011 Class A at 10 m FCC Part 15A above 1 GHz
Immunity	Industrial levels per EN 61326:1997 + A2:2001, Table 1
EMC/EMI	CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant

Note: The USB-6008 and USB-6009 may experience temporary variations in analog input readings when exposed to radiated and conducted RF noise. Device returns to normal operation after RF exposure is removed.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

Low-Voltage Directive (safety)	73/23/EEC
Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)	89/336/EEC

Note: Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Anexo A. 2 Potenciómetro lineal LP802-50.

SHORT-STROKE LINEAR POTENTIOMETERS FOR DISPLACEMENT MEASUREMENT

LP802 Series
25 to 150 mm
(1 to 6") Ranges

All Models
\$350



DP41-E, meter, \$545,
see page D-31.



- ✓ Rugged Construction and Shaft Seals for Protection in Factory Environments
- ✓ Precious-Metal Wipers Ensure High Performance and Low Noise
- ✓ Plastic Film Element Reduces Wear for Extremely Long Life

LP802-25, \$350, shown smaller than actual size.

The OMEGA® LP802 Series linear potentiometers measure linear position or displacement up to 150 mm (6") in a wide variety of manufacturing and process applications. With their long life, front and rear bearings, anodized extruded aluminum housings, stainless steel shafts, and precious-metal wipers and contacts, these devices are suitable for harsh factory environments. Based on a conductive plastic film element, the LP802 provides high resolution and absolute position measurement without using external signal conditioners.

SPECIFICATIONS

Linearity: $\pm 1\%$ FS
Hysteresis: ± 0.025 mm (0.001")
Repeatability: ± 0.012 mm (0.0005")
Incremental Sensitivity: 0.00127 mm (0.00005")
Power Rating: 0.75 W/stroke inch

Temperature Range: -65 to 105°C (-85 to 221°F)

Operating Force: 450 g (1 lb) maximum
Shaft: 6 mm (0.236") diameter with 1/4-28 threaded-end adaptor

Life: 100 million operations minimum at travel rate of 250 mm (10")/s

Weight: 0.11 to 0.23 kg (0.25 to 0.5 lb)

MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!

To Order (Specify Model Number)								
MODEL NO.	PRICE	ELECTRICAL TRAVEL		MECHANICAL TRAVEL		"X" DIMENSION (NOMINAL)	RESISTANCE (Ω)	COMPATIBLE METERS*
		mm	in	mm	in			
LP802-25	\$350	25.00	1.00	30.5	1.20	103.0	4.05	1500 $\pm 20\%$
→ LP802-50	350	50.00	2.00	55.9	2.20	128.0	5.05	3000 $\pm 20\%$
LP802-75	350	75.00	3.00	80.0	3.15	151.0	5.95	4500 $\pm 20\%$
LP802-100	350	100.0	4.00	105.4	4.15	176.0	6.95	6000 $\pm 20\%$
LP802-150	350	150.0	5.96	156.2	6.15	227.0	8.95	9000 $\pm 20\%$

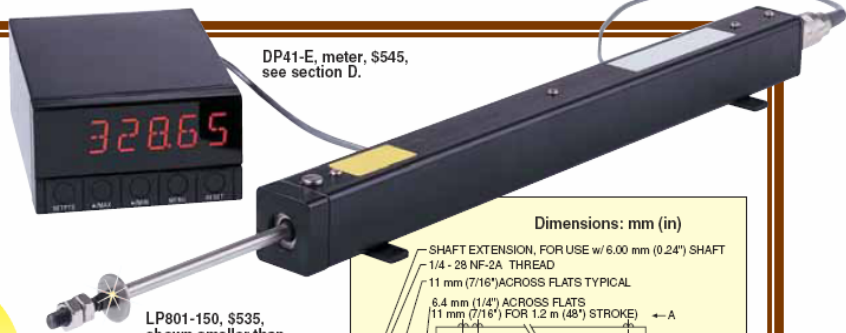
Comes with complete operator's manual.
* See section D for compatible meters.
Ordering Example: LP802-25, linear potentiometer with 25 mm (1") stroke, \$350.

ACCESSORY		
MODEL NO.	PRICE	DESCRIPTION
ES-2132	\$125	Reference Book: Hydraulic Design Handbook

Anexo A. 3 Potenciómetro lineal LP801-300

LONG-STROKE LINEAR POTENTIOMETERS FOR DISPLACEMENT MEASUREMENT

LP801 Series
150 mm to 1.2 m
(6 to 48") Ranges



DP41-E, meter, \$545, see section D.

Starts at
\$535

LP801-150, \$535, shown smaller than actual size.



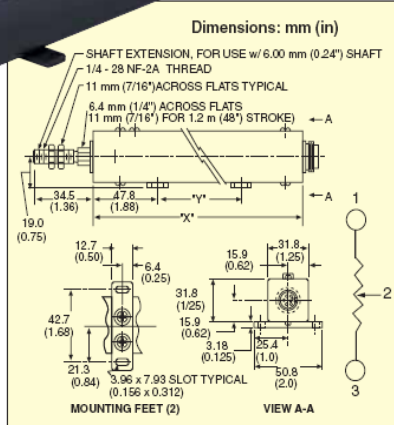
- ✓ Rugged Construction and Shaft Seals for Protection in Factory Environments
- ✓ Precious-Metal Wipers Ensure High Performance and Low Noise
- ✓ Plastic Film Element Reduces Wear for Extremely Long Life

The OMEGA® LP801 Series linear potentiometers can measure linear position or displacement up to 1.2 m (48") in a wide variety of

manufacturing and process applications. With their long life, front and rear bearings, anodized extruded aluminum housings, stainless steel shafts, and precious-metal wipers and contacts, these devices are suitable for harsh factory environments. Based on a conductive plastic film element, the LP801 provides high resolution and absolute position measurement without using external signal conditioners.

SPECIFICATIONS

- Total Resistance: 5000 Ω ± 20%
- Linearity: ±1% FS
- Hysteresis: ±0.025 mm (0.001")
- Repeatability: ±0.012 mm (0.0005")
- Incremental Sensitivity: 0.0013 mm (0.00005")



- Power Rating: 0.75 W/stroke inch
- Temp. Range: -65 to 105°C (-85 to 221°F)
- Operating Force: 450 g (1 lb) max
- Shaft: 6 mm (0.236") diameter with 1/4-28 threaded-end adaptor
- Weight: 0.36 to 2.2 kg (0.8 to 4.9 lb)
- Life: 100 million operations up to 300 mm (12") stroke—derated proportionally for longer units [standard rate of travel 50 mm/s (2"/s)]

MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!

To Order (Specify Model Number)

MODEL NO.	PRICE	ELECTRICAL TRAVEL		MECHANICAL TRAVEL		"X" DIMENSION (NOMINAL)		"Y" DIMENSION (NOMINAL)		COMPATIBLE METERS*
		mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	
LP801-150	\$535	152	6.0	155	6.10	233	9.19	127	5.00	DP25B-E, DP41-E
LP801-225	535	229	9.0	231	9.10	301	12.19	200	7.88	DP25B-E, DP41-E
LP801-300	535	305	12.0	307	12.10	380	15.19	279	11.00	DP25B-E, DP41-E
LP801-450	575	457	18.0	460	18.12	533	21.19	432	17.00	DP25B-E, DP41-E
LP801-600	645	610	24.0	613	24.13	685	27.19	584	23.00	DP25B-E, DP41-E
LP801-750	685	762	30.0	765	30.13	838	33.19	737	29.00	DP25B-E, DP41-E
LP801-900	785	914	36.0	918	36.13	990	39.19	889	35.00	DP25B-E, DP41-E
LP801-1200	995	1219	48.0	1224	48.18	1295	51.19	1194	47.00	DP25B-E, DP41-E

Comes with complete operator's manual.
* See section D for compatible meters.
Ordering Example: LP801-150, 152 mm (6") stroke linear potentiometer, \$535.

ACCESSORY

MODEL NO.	PRICE	DESCRIPTION
ES-2070	\$210	Reference Book: Hazardous Materials Handbook

J-36

DISPLACEMENT

Anexo A. 4 Manual de instrucciones de los potenciómetros lineales LP801-300 y LP802-50.



LP801/LP802 Series

LINEAR POTENTIOMETERS

INSTRUCTION
SHEET

M2034-0405

Shop online at: omega.com e-mail: info@omega.com
For latest product manuals: omegamannual.info



LP802

Unpacking Instructions

Remove the Packing List and verify that you have received ail equipment, including the following (quantifies in parentheses):

LP800 Series Linear Potentiometer (1)
Operator's Manual (1)

If you have any questions about the shipment, please call the OMEGA Customer Service Department at 1-800-622-2378 or 203-359-1660. We can also be reached on the Internet at omega.com e-mail: info@omega.com

When you receive the shipment, inspect the container and equipment for signs of damage. Note any evidence of rough handling in transit. Immediately report any damage to the shipping agent.

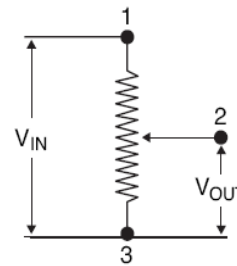
NOTE

The carrier will not honor any damage claims unless all shipping material is saved for inspection. After examining and removing contents, save packing material and carton in the event reshipment is necessary.

General Description

The OMEGA® LP801/LP802 Series linear potentiometers can be used to measure linear position or displacement up to 48 inches in a wide variety of manufacturing and process equipment. These units feature front and rear bearings, anodized extruded aluminum housing, stainless steel shaft, and precious metal wipers and contacts for long trouble free life in harsh factory environments. Based on a conductive plastic film element, the LP801/LP802 Series provides high resolution, absolute position measurement without external signal conditioners.

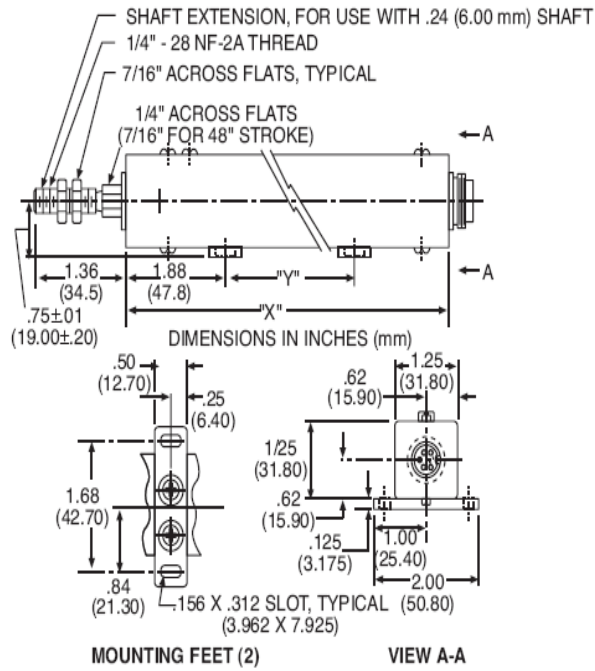
Wiring Diagram



Specifications

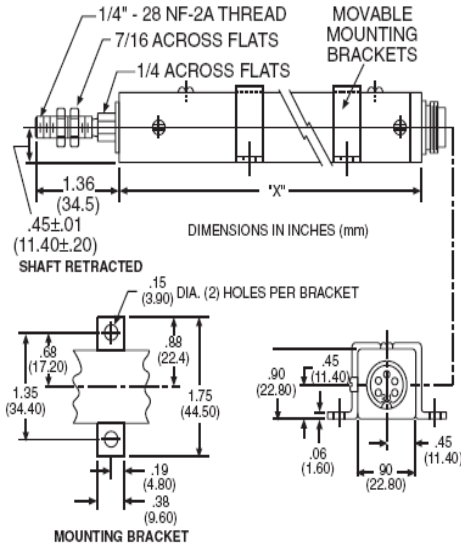
Total Resistance:	LP801: 5000 ohms $\pm 20\%$ LP802: See available models
Linearity:	$\pm 1\%$ FS
Hysteresis:	0.025 mm ($\pm 0.001''$)
Repeatability:	0.012 mm ($\pm 0.0005''$)
Incremental Sensitivity:	0.00005"
Power Rating:	0.75 watts/stroke inch
Temp. Range:	-85 to 221°F (-65 to 105°C)
Operating Force: maximum	450 grams (1 lb.)
Shaft:	6 mm (0.236") diameter with 114 - 28 threaded end adaptor
Life:	100 million operations up to 12" stroke - derated proportionally for longer units (standard rate of travel 2"/second for LP801, 10"/second for LP802)

LP801 Dimensions



MODEL NO.	EFFECTIVE TRAVEL		MECHANICAL TRAVEL		"X" DIMENSION (NOMINAL)		"Y" DIMENSION (NOMINAL)		COMPATIBLE METERS
	IN.	MM	IN.	MM	IN.	MM	IN.	MM	
LP801-150	6.00	150.0	6.10	155.0	8.98	228	5.00	127	DP25-E, DP41-E
LP801-225	9.00	225	9.10	231.1	11.84	301	7.875	200	DP25-E, DP41-E
LP801-300	12.0	300	12.10	307.4	14.98	380	11	279	DP25-E, DP41-E
LP801-450	18	450	18.12	460.3	20.98	533	17	432	DP25-E, DP41-E
LP801-600	24	600	24.13	613.0	26.98	685	23	584	DP25-E, DP41-E
LP801-750	30	750	30.13	765.3	32.98	838	29	737	DP25-E, DP41-E
LP801-900	36	900	36.13	917.7	38.98	990	35	889	DP25-E, DP41-E
LP801-1200	48	1200	48.18	1223.8	51.00	1295	47	1194	DP25-E, DP41-E

LP802 Dimensions



MODEL NO.	EFFECTIVE TRAVEL		MECHANICAL TRAVEL		"X" DIMENSION (NOMINAL)		RESISTANCE (OHMS)	COMPATIBLE METERS
	IN.	MM	IN.	MM	IN.	MM		
LP802-25	1.00	25.00	1.20	30.50	4.05	103.0	1500 ±20%	DP25-E, DP41-E
LP802-50	2.00	50.00	2.20	55.90	5.05	128.0	3000 ±20%	DP25-E, DP41-E
LP802-75	3.00	75.00	3.15	80.00	5.95	151.0	4500 ±20%	DP25-E, DP41-E
LP802-100	4.00	100.0	4.15	105.4	6.95	176.0	6000 ±20%	DP25-E, DP41-E
LP802-150	6.00	150.0	6.15	156.2	8.95	227.0	9000 20%	DP25-E, DP41-E

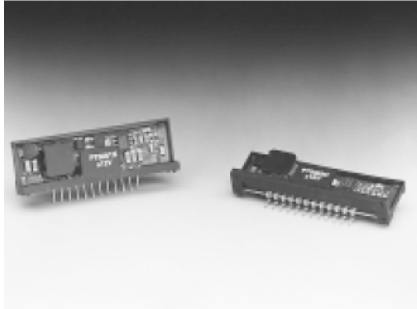
Anexo A. 5 Hoja de datos Fuente PT 5062.

PT5060 Series

9-W +5V-Input Dual-Output
Integrated Switching Regulator

SLTS027B

(Revised 12/19/2001)



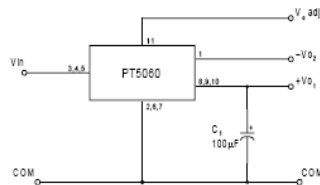
Features

- Single Device: +5V Input
- Complimentary Dual Output: $\pm 12V$, $\pm 15V$
- Wide Input Voltage Range
- 85% Efficiency
- Adjustable Output Voltage
- Laser-trimmed

Description

The PT5060 series of dual-output Integrated Switching Regulators (ISRs) provide a complimentary $\pm 12V$ or $\pm 15V$ from a single +5V input. Applications include systems that require power for analog interface circuitry, such as D/A and A/D converters, and Op Amps. The output voltage can be adjusted with an external resistor. These ISRs are made available in a 12-pin single in-line pin (SIP) package. Note that these modules are not short-circuit protected.

Standard Application



C₁ = Required 100µF electrolytic

Pin-Out Information

Pin	Function
1	-V _{O2}
2	GND
3	V _{in}
4	V _{in}
5	V _{in}
6	GND
7	GND
8	+V _{O1}
9	+V _{O1}
10	+V _{O1}
11	V _O Adj
12	Do Not Connect

Ordering Information

PT5061□ = ± 12 Volts
PT5062□ = ± 15 Volts

PT Series Suffix (PT1234x)

Case/Pin Configuration	Order Suffix	Package Code *
Vertical	N	(ECD)
Horizontal	A	(ECA)
SMD	C	(ECC)
Vertical, Side Tabs	R	(ECE)
Horizontal, Side Tabs	G	(ECG)
SMD, Side Tabs	B	(ECK)

* Previously known as package style 300.
(Reference the applicable package code drawing for the dimensions and PC board layout)

Specifications (Unless otherwise stated, T_a = 25°C, V_{in} = +5V, I_o = I_omax, C₁ = 100µF)

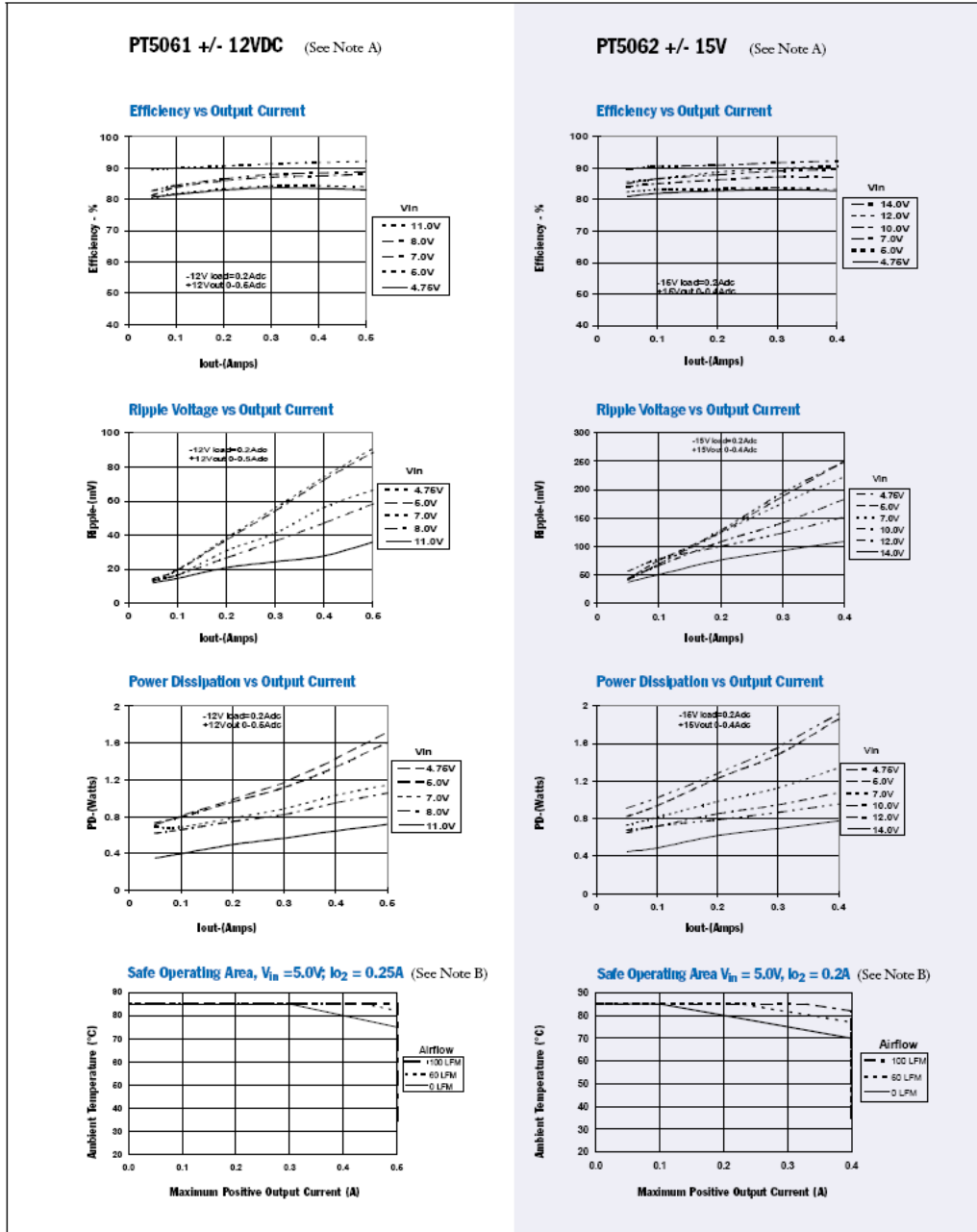
Characteristics	Symbol	Conditions	PT5060 SERIES			Units	
			Min	Typ	Max		
Output Current	I _o	Over V _{in} range	V _{O1} = +12V	0.05	—	0.50	A
			V _{O2} = -12V	0.05 (1)	—	0.25	
Current Limit	I _{lim}	On start up	V _{O1} = +15V	0.05	—	0.40	A
			V _{O2} = -15V	0.05 (1)	—	0.20	
Inrush Current	I _r	On start up	—	5.5 (3)	—	A	
Input Voltage Range	V _{in}	Over I _o range	—	2	—	mSec	
Output Voltage Tolerance	ΔV _o	Over V _{in} and I _o ranges T _a = 0°C to SOA limit (3)	4.75	—	+V _o -1	V	
Line Regulation	Reg _{line}	Over V _{in} range	—	±1.5	±3.0	% V _o	
Load Regulation	Reg _{load}	0.1 ≤ I _o ≤ I _o max	—	±5	±10	% V _o	
V _o Ripple (pk-pk)	V _n	20MHz bandwidth	—	±0.5	±1.0	% V _o	
Transient Response	t _{tr} V _{os}	25% load change V _o over/undershoot	—	100	—	µSec	
			—	3	5	% V _o	
Efficiency	η	I _o = 0.2A each output	—	85	—	%	
Switching Frequency	f _s	Over V _{in} and I _o ranges	—	650	—	kHz	
Operating Temperature Range	T _a	—	0	—	+85 (4)	°C	
Storage Temperature	T _s	—	-40	—	+125	°C	
Mechanical Shock		Per Mil-STD-883D, Method 2002.3, 1 msec, Half Sine, mounted to a fixture	—	500	—	G's	
Mechanical Vibration		Per Mil-STD-883D, Method 2007.2 20-2000 Hz, Soldered in a PC board	—	15	—	G's	
Weight			—	6.5	—	grams	

- Notes: (1) Do not operate the negative output rail of these ISRs below the minimum load.
(2) ISRs based on a boost topology are not short-circuit protected.
(3) The inrush current stated is above the normal input current for the associated output load.
(4) See Safe Operating Area curves or consult the factory for the appropriate derating.

PT5060 Series

Typical Characteristics

9-W +5V-Input Dual-Output
Integrated Switching Regulator



Note A: Characteristic data has been developed from actual products tested at 25°C. This data is considered typical data for the Converter.
Note B: Thermal derating graphs are developed in free-air convection cooling, which corresponds to approximately 40–60 LFM of airflow.

Application Notes

PT5060 Series

Adjusting the Output Voltage of the PT5060 Dual-Output Boost Converter Series

The dual output voltage of the PT5060 series modules can be adjusted higher or lower than the factory pre-set voltage with the addition of a single external resistor. Table 1 gives the applicable adjustment range for each model in the series as V_a (min) and V_a (max).

Adjust Up: An increase in the output voltage is obtained by adding a resistor R_2 , between pin 11 (V_o adj) and pins 2, 6, or 7 (GND).

Adjust Down: Add a resistor (R_1), between pin 11 (V_o adj) and pins 8, 9 or 10 (V_{o1}).

Refer to Figure 1 and Table 2 for both the placement and value of the required resistor, either (R_1) or R_2 as appropriate.

Notes:

- Both the positive and negative voltage outputs from the ISR are adjusted simultaneously.
- Use only a single 1% resistor in either the (R_1) or R_2 location. Place the resistor as close to the ISR as possible.
- Never connect capacitors from V_o adj to either GND or V_o . Any capacitance added to the V_o adjust pin will affect the stability of the ISR.
- An increase in the output voltage must be accompanied by a corresponding reduction in the specified maximum current at each output. For V_{o1} and $-V_{o2}$, the revised maximum output current must be reduced to the equivalent of 6 watts and 3 watts respectively. i.e.

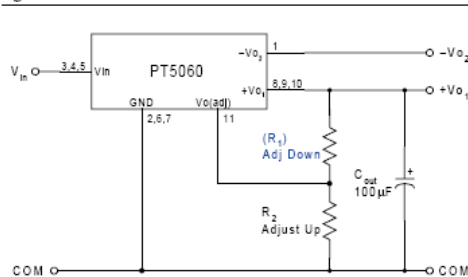
$$I_{o1}(\text{max}) = \frac{6}{V_a} \text{ A dc}$$

$$\text{and } I_{o2}(\text{max}) = \frac{3}{V_a} \text{ A dc,}$$

where V_a is the adjusted output voltage.

- Adjustments to the output voltage will also limit the maximum input voltage that can be applied to the ISR. The maximum input voltage that may be applied is limited to $(V_o - 1)\text{Vdc}$ or 14Vdc, whichever is less.

Figure 1



The values of (R_1) [adjust down], and R_2 [adjust up], can also be calculated using the following formulas.

$$(R_1) = \frac{3.65 (V_a - 2.5)}{(V_o - V_a)} - 0.1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{9.125}{V_a - V_o} - 0.1 \text{ k}\Omega$$

Where: V_o = Original output voltage
 V_a = Adjusted output voltage

Table 1

PT5060 ADJUSTMENT AND FORMULA PARAMETERS		
Series Pt #	PT5061	PT5062
V_o (nom)	$\pm 12.0\text{V}$	$\pm 15.0\text{V}$
V_a (min)	$\pm 7.5\text{V}$	$\pm 7.5\text{V}$
V_a (max)	$\pm 14.0\text{V}$	$\pm 20.0\text{V}$

Table 2

PT5060 ADJUSTMENT RESISTOR VALUES		
Series Pt #	PT5061	PT5062
Current	0.5/0.25A dc	0.4/0.2A dc
V_o (nom)	$\pm 12.0\text{Vdc}$	$\pm 15.0\text{Vdc}$
V_a (req'd)		
7.0		
7.5	(4.0)k Ω	(2.3)k Ω
8.0	(4.9)k Ω	(2.8)k Ω
8.5	(6.2)k Ω	(3.3)k Ω
9.0	(7.8)k Ω	(3.9)k Ω
9.5	(10.1)k Ω	(4.6)k Ω
10.0	(13.6)k Ω	(5.4)k Ω
10.5	(19.4)k Ω	(6.4)k Ω
11.0	(30.9)k Ω	(7.7)k Ω
11.5	(65.6)k Ω	(9.3)k Ω
12.0		(11.5)k Ω
12.5	18.2k Ω	(14.5)k Ω
13.0	9.0k Ω	(19.1)k Ω
13.5	6.0k Ω	(26.7)k Ω
14.0	4.5k Ω	(41.9)k Ω
14.5		(87.5)k Ω
15.0		
15.5		18.2k Ω
16.0		9.0k Ω
16.5		6.0k Ω
17.0		4.5k Ω
17.5		3.6k Ω
18.0		2.9k Ω
18.5		2.5k Ω
19.0		2.2k Ω
19.5		1.9k Ω
20.0		1.7k Ω

R_1 = (Blue) R_2 = Black

Anexo A. 6 Regulador de voltaje ADP 3338.



High Accuracy, Ultralow I_Q , 1 A, anyCAP® Low Dropout Regulator

ADP3338

FEATURES

- High accuracy over line and load: $\pm 0.8\%$ @ 25°C , $\pm 1.4\%$ over temperature
- Ultralow dropout voltage: 190 mV (typ) @ 1 A
- Requires only $C_O = 1.0 \mu\text{F}$ for stability
- anyCAP is stable with any type of capacitor (including MLCC)
- Current and thermal limiting
- Low noise
- 2.7 V to 8 V supply range
- -40°C to $+85^\circ\text{C}$ ambient temperature range
- SOT-223 package

APPLICATIONS

- Notebook, palmtop computers
- SCSI terminators
- Battery-powered systems
- Bar code scanners
- Camcorders, cameras
- Home entertainment systems
- Networking systems
- DSP/ASIC supplies

GENERAL DESCRIPTION

The ADP3338 is a member of the ADP33xx family of precision, low dropout (LDO), anyCAP voltage regulators. The ADP3338 operates with an input voltage range of 2.7 V to 8 V and delivers a load current up to 1 A. The ADP3338 stands out from conventional LDOs with a novel architecture and an enhanced process that offers performance advantages and higher output current than its competition. Its patented design requires only a 1 μF output capacitor for stability. This device is insensitive to output capacitor equivalent series resistance (ESR), and is stable

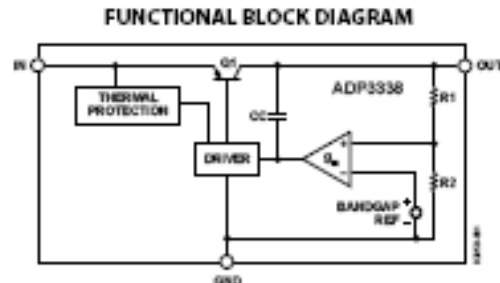


Figure 1.



Figure 2. Typical Application Circuit

with any good quality capacitor, including ceramic (MLCC) types for space-restricted applications. The ADP3338 achieves exceptional accuracy of $\pm 0.8\%$ at room temperature and $\pm 1.4\%$ over temperature, line, and load variations. The dropout voltage of the ADP3338 is only 190 mV (typical) at 1 A. The device also includes a safety current limit and thermal overload protection. The ADP3338 has ultralow quiescent current: 110 μA (typical) in light load situations.

Rev. B

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 infringement of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.229.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.2112 ©2005 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

SPECIFICATIONS

$V_{IN} = 6.0\text{ V}$, $C_{IN} = C_{OUT} = 1\ \mu\text{F}$, $T_J = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter ^{1,2,3}	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
OUTPUT						
Voltage Accuracy	V_{OUT}	$V_{IN} = V_{OUT(NOM)} + 0.4\text{ V}$ to 8 V , $I_L = 0.1\text{ mA}$ to 1 A , $T_J = 25^\circ\text{C}$	-0.8		+0.8	%
		$V_{IN} = V_{OUT(NOM)} + 0.4\text{ V}$ to 8 V , $I_L = 0.1\text{ mA}$ to 1 A , $T_J = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	-1.4		+1.4	%
		$V_{IN} = V_{OUT(NOM)} + 0.4\text{ V}$ to 8 V , $I_L = 50\text{ mA}$ to 1 A , $T_J = 150^\circ\text{C}$	-1.6		+1.6	%
Line Regulation		$V_{IN} = V_{OUT(NOM)} + 0.4\text{ V}$ to 8 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.04		mV/V
Load Regulation		$I_L = 0.1\text{ mA}$ to 1 A , $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.006		mV/mA
Dropout Voltage	V_{DROP}	$V_{OUT} = 98\%$ of $V_{OUT(NOM)}$				
Peak Load Current	$I_{L(PK)}$	$I_L = 1\text{ A}$		190	400	mV
		$I_L = 500\text{ mA}$		125	200	mV
		$I_L = 100\text{ mA}$		70	150	mV
Output Noise	V_{RMS}	$V_{IN} = V_{OUT(NOM)} + 1\text{ V}$ $f = 10\text{ Hz}$ to 100 kHz , $C_L = 10\ \mu\text{F}$, $I_L = 1\text{ A}$		95		μV_{RMS}
GROUND CURRENT						
In Regulation	I_{GND}	$I_L = 1\text{ A}$		9	30	mA
		$I_L = 500\text{ mA}$		4.5	15	mA
		$I_L = 100\text{ mA}$		0.9	3	mA
		$I_L = 0.1\text{ mA}$		110	190	μA
In Dropout	I_{GND}	$V_{IN} = V_{OUT(NOM)} - 100\text{ mV}$, $I_L = 0.1\text{ mA}$		190	600	μA

¹ All limits at temperature extremes are guaranteed via correlation using standard statistical quality control (SQC) methods.

² Application stable with no load.

³ $V_{IN} = 2.7\text{ V}$ for models with $V_{OUT(NOM)} \leq 2.2\text{ V}$.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Unless otherwise specified, all voltages are referenced to GND.

Table 2.

Parameter	Rating
Input Supply Voltage	-0.3 V to +8.5 V
Power Dissipation	Internally limited
Operating Ambient Temperature Range	-40°C to +85°C
Operating Junction Temperature Range	-40°C to +150°C
θ_{JA}	62.3°C/W
θ_{JC}	26.8°C/W
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 10 sec)	300°C
Vapor Phase (60 sec)	215°C
Infrared (15 sec)	220°C

Stresses 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.

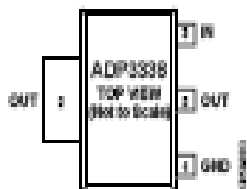
Only one absolute maximum rating may be applied at any one time.

ESD CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although this product 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.



PIN CONFIGURATION AND FUNCTION DESCRIPTIONS



NOTE: PIN 2 AND TAB ARE INTERNALLY CONNECTED

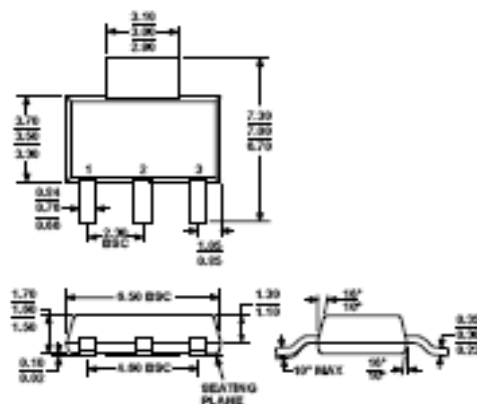
Figure 3. Pin Configuration

Table 3. Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Description
1	GND	Ground Pin.
2	OUT	Regulator Output. Bypass to ground with a 1 μ F or larger capacitor.
3	IN	Regulator Input. Bypass to ground with a 1 μ F or larger capacitor.

ADP3338

OUTLINE DIMENSIONS



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS TO-261-AA
 Figure 23. 3-Lead Small Outline Transistor Package (SOT-223)
 (K1-1)
 Dimensions shown in millimeters

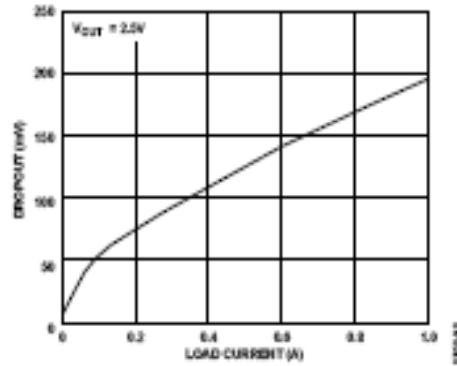


Figure 10. Dropout Voltage vs. Load Current

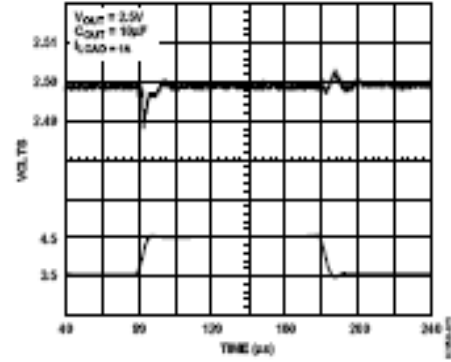


Figure 13. Line Transient Response

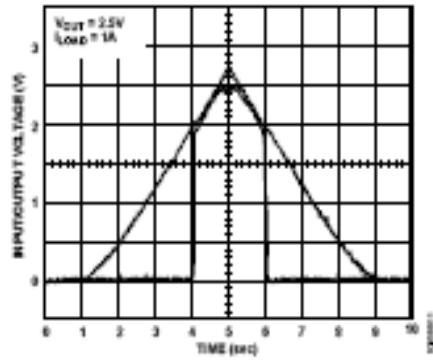


Figure 11. Power-Up/Power-Down

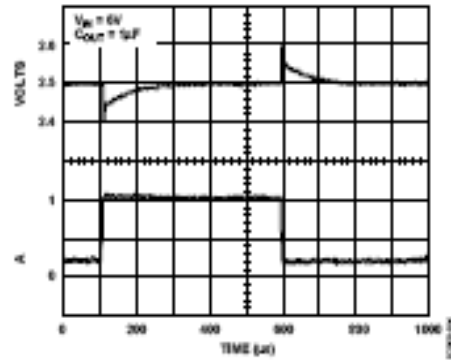


Figure 14. Load Transient Response

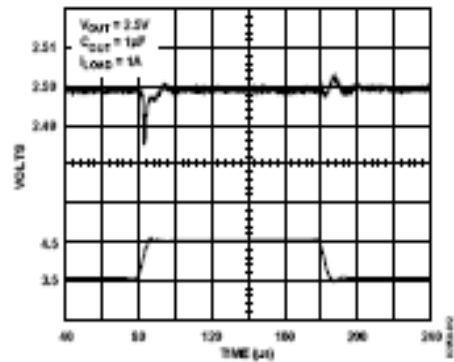


Figure 12. Line Transient Response

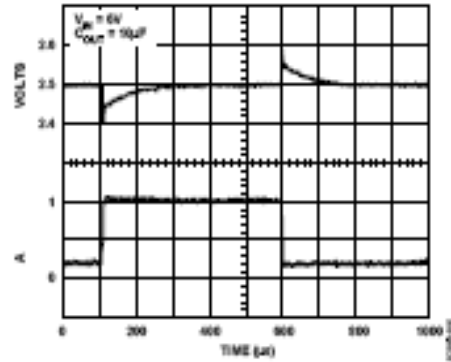


Figure 15. Load Transient Response

ADP3338

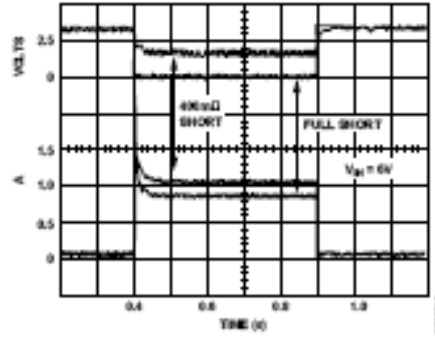


Figure 16. Short-Circuit Current

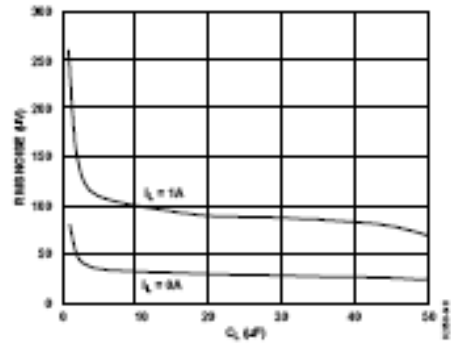


Figure 18. RMS Noise vs. C_{OUT}

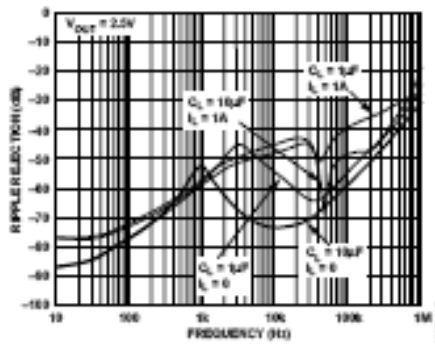


Figure 17. Power Supply Ripple Rejection

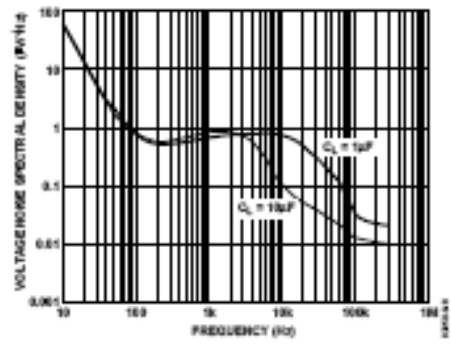


Figure 19. Output Noise Density (10 Hz to 100 kHz)

Anexo A. 7 Regulador de Voltaje LM 7808.

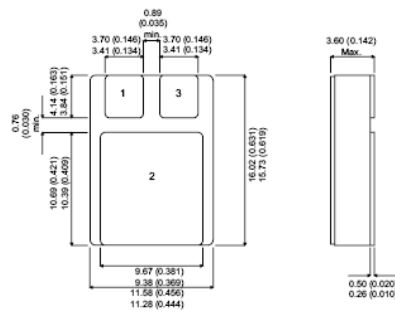
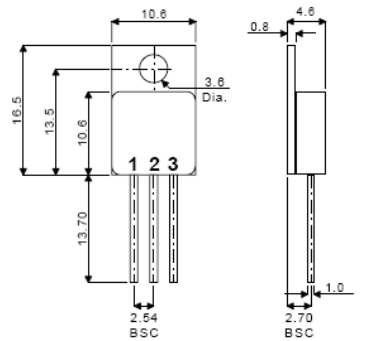


LM7808

MECHANICAL DATA

Dimensions in mm

8 VOLT POSITIVE VOLTAGE REGULATOR



PIN 1 - Input PIN 2 - Ground PIN 3 - Output

TO220M - TO220 Metal Package - Isolated
SMD1 - Ceramic Surface Mount Package
 Also available in TO39 Package.

FEATURES

- HERMETIC TO220 METAL OR CERAMIC SURFACE MOUNT PACKAGES
- SCREENING OPTIONS AVAILABLE
- ALL LEADS ISOLATED FROM CASE (METAL PACKAGE)
- 8 VOLT REGULATOR
- OUTPUT CURRENT UP TO 1.5A
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSISTOR SOA PROTECTION

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{case} = 25^{\circ}C$ unless otherwise stated)

V_i	DC Input Voltage	35V
I_o	Output Current	Internally limited
P_D	Power Dissipation	Internally limited
T_j	Junction Temperature	150°C
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150°C

Semelab plc. Telephone +44(0)1455 556565. Fax +44(0)1455 552612.
 E-mail: sales@semelab.co.uk Website: <http://www.semelab.co.uk>

Prelim. 7/00

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{\text{case}} = 25^{\circ}\text{C}$ unless stated)

OUTPUT VOLTAGE		8			
INPUT VOLTAGE (unless otherwise specified)		14			
Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{O} Output Voltage	$T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	7.7	8	8.3	V
	$I_{\text{O}} = 5\text{mA to } 1\text{A}$ $P_{\text{O}} \leq 15\text{W}$	7.6	8	8.4 ($V_{\text{I}} = 11.6 \text{ to } 23\text{V}$)	
ΔV_{O} Line Regulation	$T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	80 ($V_{\text{I}} = 10.5 \text{ to } 25\text{V}$)			mV
		40 ($V_{\text{I}} = 11 \text{ to } 17\text{V}$)			
ΔV_{O} Load Regulation	$I_{\text{O}} = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$ $T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	100			mV
	$I_{\text{O}} = 250 \text{ to } 750 \text{ mA}$ $T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	50			
I_{d} Quiescent Current	$T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	8			mA
ΔI_{d} Quiescent Current Change	$I_{\text{O}} = 5\text{mA to } 1\text{A}$	0.5			mA
		1 ($V_{\text{I}} = 11.5 \text{ to } 25\text{V}$)			
$\frac{\Delta V_{\text{O}}}{\Delta T}$ Output Voltage Drift	$I_{\text{O}} = 5\text{mA}$	-1			mV / $^{\circ}\text{C}$
e_{N} Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ $T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	40			μV
SVR Supply Voltage Rejection	$f = 100\text{Hz}$	62 ($V_{\text{I}} = 11.5 \text{ to } 21.5\text{V}$)			dB
V_{d} Dropout Voltage	$I_{\text{O}} = 1\text{A}$ $T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$ $\Delta V_{\text{O}} = 100\text{mV}$	2			V
I_{sc} Short Circuit Current	$V_{\text{I}} = 35\text{V}$ $T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	750			mA
I_{scp} Short Circuit Peak Current	$T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	2.2			A

THERMAL DATA

$R_{\text{THj-case}}$	Thermal Resistance Junction – Case	Max. $3^{\circ}\text{C} / \text{W}$
$R_{\text{THj-amb}}$	Thermal Resistance Junction – Ambient	Max. $50^{\circ}\text{C} / \text{W}$

Anexo A. 8 Amplificador de Aislamiento AD 202.



Low Cost, Miniature Isolation Amplifiers

AD202/AD204

FEATURES

Small Size: 4 Channels/Inch
Low Power: 35 mW (AD204)
High Accuracy: $\pm 0.025\%$ Max Nonlinearity (K Grade)
High CMR: 130 dB (Gain = 100 V/V)
Wide Bandwidth: 5 kHz Full-Power (AD204)
High CMV Isolation: ± 2000 V pk Continuous (K Grade)
(Signal and Power)
Isolated Power Outputs
Uncommitted Input Amplifier

APPLICATIONS

Multichannel Data Acquisition
Current Shunt Measurements
Motor Controls
Process Signal Isolation
High Voltage Instrumentation Amplifier

GENERAL DESCRIPTION

The AD202 and AD204 are general purpose, two-port, transformer-coupled isolation amplifiers that may be used in a broad range of applications where input signals must be measured, processed, and/or transmitted without a galvanic connection. These industry standard isolation amplifiers offer a complete isolation function, with both signal and power isolation provided for in a single compact plastic SIP or DIP style package. The primary distinction between the AD202 and the AD204 is that the AD202 is powered directly from a 15 V dc supply while the AD204 is powered by an externally supplied clock, such as the recommended AD246 Clock Driver.

The AD202 and AD204 provide total galvanic isolation between the input and output stages of the isolation amplifier through the use of internal transformer-coupling. The functionally complete AD202 and AD204 eliminate the need for an external, user-supplied dc-to-dc converter. This permits the designer to minimize the necessary circuit overhead and consequently reduce the overall design and component costs.

The design of the AD202 and AD204 emphasizes maximum flexibility and ease of use, including the availability of an uncommitted op amp on the input stage. They feature a bipolar ± 5 V output range, an adjustable gain range of from 1V/V to 100 V/V, $\pm 0.025\%$ max nonlinearity (K grade), 130 dB of CMR, and the AD204 consumes a low 35 mW of power.

The functional block diagrams can be seen in Figures 1a and 1b.

PRODUCT HIGHLIGHTS

The AD202 and AD204 are full-featured isolators offering numerous benefits to the user:

Small Size: The AD202 and AD204 are available in SIP and DIP form packages. The SIP package is just 0.25" wide, giving the user a channel density of four channels per inch. The isolation barrier is positioned to maximize input to output spacing. For applications requiring a low profile, the DIP package provides a height of just 0.350".

High Accuracy: With a maximum nonlinearity of $\pm 0.025\%$ for the AD202K/AD204K ($\pm 0.05\%$ for the AD202J/AD204J) and low drift over temperature, the AD202 and AD204 provide high isolation without loss of signal integrity.

Low Power: Power consumption of 35 mW (AD204) and 75 mW (AD202) over the full signal range makes these isolators ideal for use in applications with large channel counts or tight power budgets.

Wide Bandwidth: The AD204's full-power bandwidth of 5 kHz makes it useful for wideband signals. It is also effective in applications like control loops, where limited bandwidth could result in instability.

Excellent Common-Mode Performance: The AD202K/AD204K provide ± 2000 V pk continuous common-mode isolation, while the AD202J/AD204J provide ± 1000 V pk continuous common-mode isolation. All models have a total common-mode input capacitance of less than 5 pF inclusive of power isolation. This results in CMR ranging from 130 dB at a gain of 100 dB to 104 dB (minimum at unity gain) and very low leakage current (2 μ A maximum).

Flexible Input: An uncommitted op amp is provided at the input of all models. This provides buffering and gain as required, and facilitates many alternative input functions including filtering, summing, high voltage ranges, and current (transimpedance) input.

Isolated Power: The AD204 can supply isolated power of ± 7.5 V at 2 mA. This is sufficient to operate a low-drift input preamp, provide excitation to a semiconductor strain gage, or power any of a wide range of user-supplied ancillary circuits. The AD202 can supply ± 7.5 V at 0.4 mA, which is sufficient to operate adjustment networks or low power references and op amps, or to provide an open-input alarm.

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 www.analog.com
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 2002

AD202/AD204—SPECIFICATIONS (Typical @ 25°C and $V_S = 15\text{ V}$ unless otherwise noted.)

Model	AD204J	AD204K	AD202J	AD202K
GAIN				
Range	1 V/V–100 V/V	*	*	*
Error	±0.5% typ (±4% max)	*	*	*
vs. Temperature	±20 ppm/°C typ (±45 ppm/°C max)	*	*	*
vs. Time	±50 ppm/1000 Hours	*	*	*
vs. Supply Voltage	±0.01%/V	±0.01%/V	±0.01%/V	±0.01%/V
Nonlinearity (G = 1 V/V) ¹	±0.05% max	±0.025% max	±0.05% max	±0.025% max
Nonlinearity vs. Isolated Supply Load	±0.0015%/mA	*	*	*
INPUT VOLTAGE RATINGS				
Input Voltage Range	±5 V	*	*	*
Max Isolation Voltage (Input to Output)				
AC, 60 Hz, Continuous	750 V rms	1500 V rms	750 V rms	1500 V rms
Continuous (AC and DC)	±1000 V Peak	±2000 V Peak	±1000 V Peak	±2000 V Peak
Isolation-Mode Rejection Ratio (IMRR) @ 60 Hz				
$R_S \leq 100\ \Omega$ (HI and LO Inputs) G = 1 V/V	110 dB	110 dB	105 dB	105 dB
G = 100 V/V	130 dB	*	*	*
$R_S \leq 1\ \text{k}\Omega$ (Input HI, LO, or Both) G = 1 V/V	104 dB min	104 dB min	100 dB min	100 dB min
G = 100 V/V	110 dB min	*	*	*
Leakage Current Input to Output @ 240 V rms, 60 Hz	2 μA rms max	*	*	*
INPUT IMPEDANCE				
Differential (G = 1 V/V)	$10^{12}\ \Omega$	*	*	*
Common-Mode	2 G Ω 4.5 pF	*	*	*
INPUT BIAS CURRENT				
Initial, @ 25°C	±30 pA	*	*	*
vs. Temperature (0°C to 70°C)	±10 nA	*	*	*
INPUT DIFFERENCE CURRENT				
Initial, @ 25°C	±5 pA	*	*	*
vs. Temperature (0°C to 70°C)	±2 nA	*	*	*
INPUT NOISE				
Voltage, 0.1 Hz to 100 Hz	4 μV p-p	*	*	*
f > 200 Hz	50 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	*	*	*
FREQUENCY RESPONSE				
Bandwidth ($V_O \leq 10\ \text{V}$ p-p, G = 1 V–50 V/V)	5 kHz	5 kHz	2 kHz	2 kHz
Settling Time, to ±10 mV (10 V Step)	1 ms	*	*	*
OFFSET VOLTAGE (RTI)				
Initial, @ 25°C Adjustable to Zero	(±15 ±15/G)mV max	(±5 ±5/G) mV max	(±15 ±15/G) mV max	(±5 ±5/G) mV max
vs. Temperature (0°C to 70°C)	$\left(\pm 10 \pm \frac{10}{G}\right)\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$	*	*	*
RATED OUTPUT				
Voltage (Out HI to Out LO)	±5 V	*	*	*
Voltage at Out HI or Out LO (Ref. Pin 32)	±6.5 V	*	*	*
Output Resistance	3 k Ω	3 k Ω	7 k Ω	7 k Ω
Output Ripple, 100 kHz Bandwidth	10 mV p-p	*	*	*
5 kHz Bandwidth	0.5 mV rms	*	*	*
ISOLATED POWER OUTPUT²				
Voltage, No Load	±7.5 V	*	*	*
Accuracy	±10%	*	*	*
Current	2 mA (Either Output) ³	2 mA (Either Output) ³	400 μA Total	400 μA Total
Regulation, No Load to Full Load	5%	*	*	*
Ripple	100 mV p-p	*	*	*
OSCILLATOR DRIVE INPUT				
Input Voltage	15 V p-p Nominal	15 V p-p Nominal	N/A	N/A
Input Frequency	25 kHz Nominal	25 kHz Nominal	N/A	N/A
POWER SUPPLY (AD202 Only)				
Voltage, Rated Performance	N/A	N/A	15 V ± 5%	15 V ± 5%
Voltage, Operating	N/A	N/A	15 V ± 10%	15 V ± 10%
Current, No Load ($V_S = 15\ \text{V}$)	N/A	N/A	5 mA	5 mA
TEMPERATURE RANGE				
Rated Performance	0°C to 70°C	*	*	*
Operating	–40°C to +85°C	*	*	*
Storage	–40°C to +85°C	*	*	*
PACKAGE DIMENSIONS⁴				
SIP Package (Y)	2.08" × 0.250" × 0.625"	*	*	*
DIP Package (N)	2.10" × 0.700" × 0.350"	*	*	*

NOTES

*Specifications same as AD204J.

¹Nonlinearity is specified as a % deviation from a best straight line.

²1.0 μF min decoupling required (see text).

³3 mA with one supply loaded.

⁴Width is 0.25" typ, 0.26" max.

Specifications subject to change without notice.

AD202/AD204

AD246-SPECIFICATIONS

(Typical @ 25°C and $V_S = 15\text{ V}$ unless otherwise noted.)

Model	AD246JY	AD246JN
OUTPUT¹		
Frequency	25 kHz Nominal	*
Voltage	15 V p-p Nominal	*
Fan-Out	32 Max	*
POWER SUPPLY REQUIREMENTS		
Input Voltage	15 V \pm 5%	*
Supply Current		
Unloaded	35 mA	*
Each AD204 Adds	2.2 mA	*
Each 1 mA Load on AD204		
+ V_{ISO} or - V_{ISO} Adds	0.7 mA	*

NOTES

*Specifications the same as the AD246JY.

¹The high current drive output will not support a short to ground.

Specifications subject to change without notice.

AD246 Pin Designations

Pin (Y)	Pin (N)	Function
1	12	15 V POWER IN
2	1	CLOCK OUTPUT
12	14	COMMON
13	24	COMMON

PIN DESIGNATIONS

AD202/AD204 SIP Package

Pin	Function
1	+INPUT
2	INPUT/ V_{ISO} COMMON
3	-INPUT
4	INPUT FEEDBACK
5	- V_{ISO} OUTPUT
6	+ V_{ISO} OUTPUT
31	15 V POWER IN (AD202 ONLY)
32	CLOCK/POWER COMMON
33	CLOCK INPUT (AD204 ONLY)
37	OUTPUT LO
38	OUTPUT HI

AD202/AD204 DIP Package

Pin	Function
1	+INPUT
2	INPUT/ V_{ISO} COMMON
3	-INPUT
18	OUTPUT LO
19	OUTPUT HI
20	15 V POWER IN (AD202 ONLY)
21	CLOCK INPUT (AD204 ONLY)
22	CLOCK/POWER COMMON
36	+ V_{ISO} OUTPUT
37	- V_{ISO} OUTPUT
38	INPUT FEEDBACK

ORDERING GUIDE

Model	Package Option	Max Common-Mode Voltage (Peak)	Max Linearity
AD202JY	SIP	1000 V	$\pm 0.05\%$
AD202KY	SIP	2000 V	$\pm 0.025\%$
AD202JN	DIP	1000 V	$\pm 0.05\%$
AD202KN	DIP	2000 V	$\pm 0.025\%$
AD204JY	SIP	1000 V	$\pm 0.05\%$
AD204KY	SIP	2000 V	$\pm 0.025\%$
AD204JN	DIP	1000 V	$\pm 0.05\%$
AD204KN	DIP	2000 V	$\pm 0.025\%$

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 AD202/AD204 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.



AD202/AD204

DIFFERENCES BETWEEN THE AD202 AND AD204

The primary distinction between the AD202 and AD204 is in the method by which they are powered: the AD202 operates directly from 15 V dc while the AD204 is powered by a non-isolated externally-supplied clock (AD246) that can drive up to 32 AD204s. The main advantages of using the externally-clocked AD204 over the AD202 are reduced cost in multichannel applications, lower power consumption, and higher bandwidth. In addition, the AD204 can supply substantially more isolated power than the AD202.

Of course, in a great many situations, especially where only one or a few isolators are used, the convenience of standalone operation provided by the AD202 will be more significant than any of the AD204's advantages. There may also be cases where it is desirable to accommodate either device interchangeably, so the pinouts of the two products have been designed to make that easy to do.

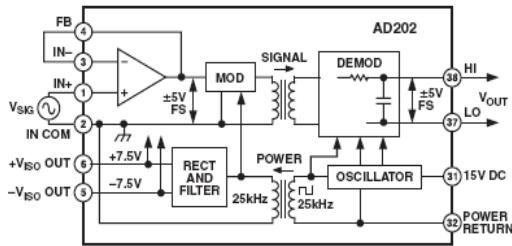


Figure 1a. AD202 Functional Block Diagram

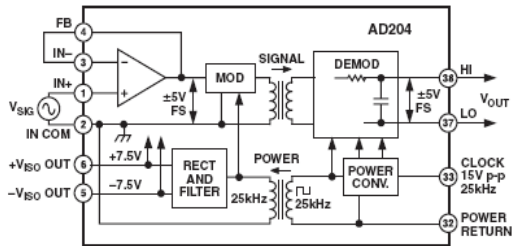


Figure 1b. AD204 Functional Block Diagram (Pin Designations Apply to the DIP-Style Package)

INSIDE THE AD202 AND AD204

The AD202 and AD204 use an amplitude modulation technique to permit transformer coupling of signals down to dc (Figure 1a and 1b). Both models also contain an uncommitted input op amp and a power transformer that provides isolated power to the op amp, the modulator, and any external load. The power transformer primary is driven by a 25 kHz, 15 V p-p square wave generated internally in the case of the AD202, or supplied externally for the AD204.

Within the signal swing limits of approximately ± 5 V, the output voltage of the isolator is equal to the output voltage of the op amp; that is, the isolation barrier has unity gain. The output signal is not internally buffered, so the user is free to interchange

the output leads to get signal inversion. Additionally, in multi-channel applications, the unbuffered outputs can be multiplexed with one buffer following the mux. This technique minimizes offset errors while reducing power consumption and cost. The output resistance of the isolator is typically 3 k Ω for the AD204 (7 k Ω for AD202) and varies with signal level and temperature, so it should not be loaded (see Figure 2 for the effects of load upon nonlinearity and gain drift). In many cases, a high impedance load will be present or a following circuit such as an output filter can serve as a buffer so that a separate buffer function will not often be needed.

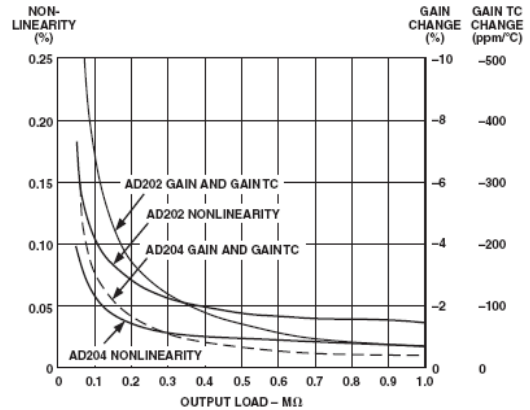


Figure 2. Effects of Output Loading

USING THE AD202 AND AD204

Powering the AD202. The AD202 requires only a single 15 V power supply connected as shown in Figure 3a. A bypass capacitor is provided in the module.

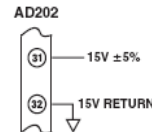


Figure 3a.

Powering the AD204. The AD204 gets its power from an externally supplied clock signal (a 15 V p-p square wave with a nominal frequency of 25 kHz) as shown in Figure 3b.

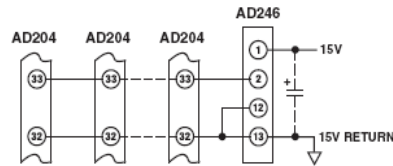


Figure 3b.

(NOTE: Circuit figures shown on this page are for SIP-style packages. Refer to Page 3 for proper DIP package pinout.)

AD246 Clock Driver. The AD246 is a compact, inexpensive clock driver that can be used to obtain the required clock from a single 15 V supply. Alternatively, the circuit shown in Figure 4 (essentially an AD246) can be used. In either case, one clock circuit can operate at least 32 AD204s at the rated minimum supply voltage of 14.25 V and one additional isolator can be operated for each 40 mV increase in supply voltage up to 15 V. A supply bypass capacitor is included in the AD246, but if many AD204s are operated from a single AD246, an external bypass capacitor should be used with a value of at least 1 μ F for every five isolators used. Place the capacitor as close as possible to the clock driver.

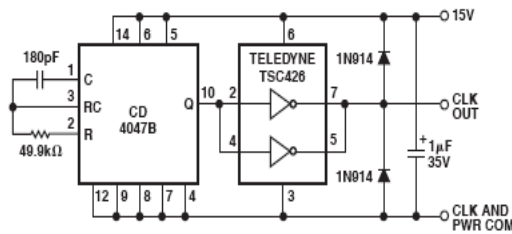


Figure 4. Clock Driver

Input Configurations. The AD202 and AD204 have been designed to be very easy to use in a wide range of applications. The basic connection for standard unity gain applications, useful for signals up to ± 5 V, is shown in Figure 5; some of the possible variations are described below. When smaller signals must be handled, Figure 6 shows how to achieve gain while preserving a very high input resistance. The value of feedback resistor R_F should be kept above 20 k Ω for best results. Whenever a gain of more than five is taken, a 100 pF capacitor from FB to IN COM is required. At lower gains this capacitor is unnecessary, but it will not adversely affect performance if used.

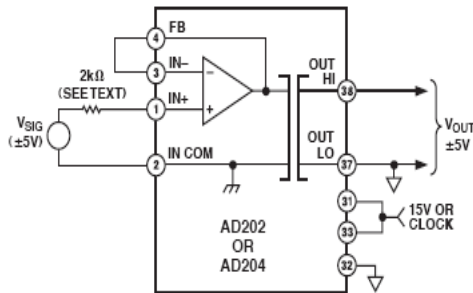


Figure 5. Basic Unity-Gain Application

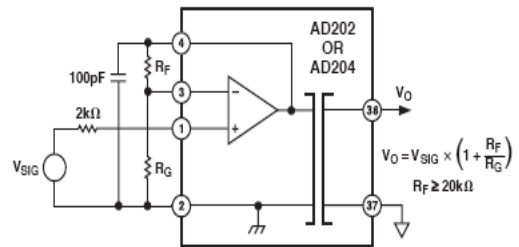


Figure 6. Input Connections for Gain > 1

The noninverting circuit of Figures 5 and 6 can also be used to your advantage when a signal inversion is needed: just interchange either the input leads or the output leads to get inversion. This approach retains the high input resistance of the noninverting circuit, and at unity gain no gain-setting resistors are needed.

When the isolator is not powered, a negative input voltage of more than about 2 V will cause an input current to flow. If the signal source can supply more than a few mA under such conditions, the 2 k Ω resistor shown in series with IN+ should be used to limit current to a safe value. This is particularly important with the AD202, which may not start if a large input current is present.

Figure 7 shows how to accommodate current inputs or sum currents or voltages. This circuit can also be used when the input signal is larger than the ± 5 V input range of the isolator; for example, a ± 50 V input span can be accommodated with $R_F = 20$ k Ω and $R_S = 200$ k Ω . Once again, a capacitor from FB to IN COM is required for gains above five.

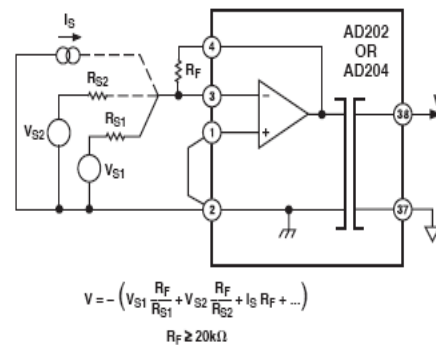


Figure 7. Connections for Summing or Current Inputs

AD202/AD204

Adjustments. When gain and zero adjustments are needed, the circuit details will depend on whether adjustments are to be made at the isolator input or output, and (for input adjustments) on the input circuit used. Adjustments are usually best done on the input side, because it is better to null the zero ahead of the gain, and because gain adjustment is most easily done as part of the gain-setting network. Input adjustments are also to be preferred when the pots will be near the input end of the isolator (to minimize common-mode strays). Adjustments on the output side might be used if pots on the input side would represent a hazard due to the presence of large common-mode voltages during adjustment.

Figure 8a shows the input-side adjustment connections for use with the noninverting connection of the input amplifier. The zero adjustment circuit injects a small adjustment voltage in series with the low side of the signal source. (This will not work if the source has another current path to input common or if current flows in the signal source LO lead). Since the adjustment voltage is injected ahead of the gain, the values shown will work for any gain. Keep the resistance in series with input LO below a few hundred ohms to avoid CMR degradation.

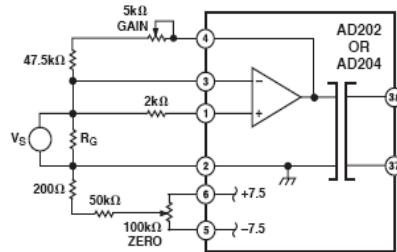


Figure 8a. Adjustments for Noninverting Connection of Op Amp

Also shown in Figure 8a is the preferred means of adjusting the gain-setting network. The circuit shown gives a nominal R_F of 50 k Ω , and will work properly for gains of ten or greater. The adjustment becomes less effective at lower gains (its effect is halved at $G = 2$) so that the pot will have to be a larger fraction of the total R_F at low gain. At $G = 1$ (follower) the gain cannot be adjusted downward without compromising input resistance; it is better to adjust gain at the signal source or after the output.

Figure 8b shows adjustments for use with inverting input circuits. The zero adjustment nulls the voltage at the summing node. This method is preferable to current injection because it is less affected by subsequent gain adjustment. Gain adjustment is again done in the feedback; but in this case it will work all the way down to unity gain (and below) without alteration.

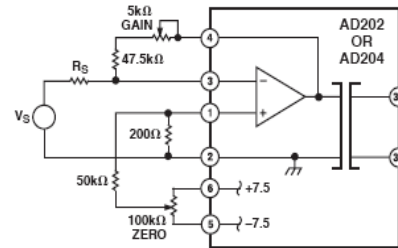


Figure 8b. Adjustments for Summing or Current Input

Figure 9 shows how zero adjustment is done at the output by taking advantage of the semi-floating output port. The range of this adjustment will have to be increased at higher gains; if that is done, be sure to use a suitably stable supply voltage for the pot circuit.

There is no easy way to adjust gain at the output side of the isolator itself. If gain adjustment must be done on the output side, it will have to be in a following circuit such as an output buffer or filter.

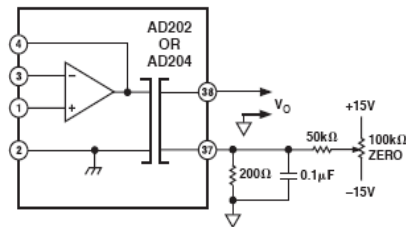


Figure 9. Output-Side Zero Adjustment

Common-Mode Performance. Figures 10a and 10b show how the common-mode rejection of the AD202 and AD204 varies with frequency, gain, and source resistance. For these isolators, the significant resistance will normally be that in the path from the source of the common-mode signal to IN COM. The AD202 and AD204 also perform well in applications requiring rejection of fast common-mode steps, as described in the Applications section.

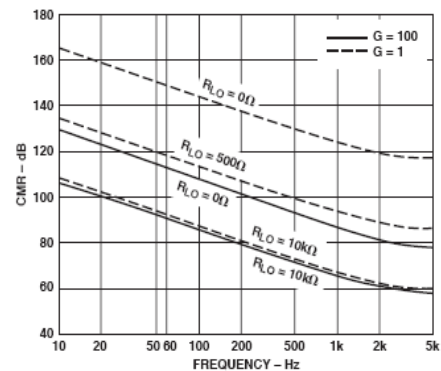


Figure 10a. AD204

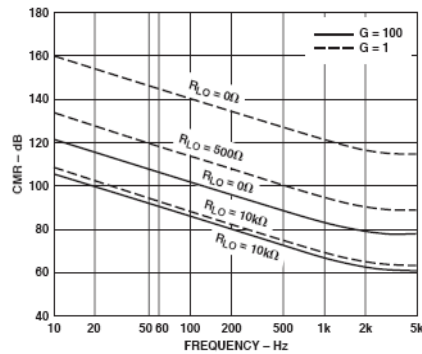


Figure 10b. AD202

Dynamics and Noise. Frequency response plots for the AD202 and AD204 are given in Figure 11. Since neither isolator is slew-rate limited, the plots apply for both large and small signals. Capacitive loads of up to 470 pF will not materially affect frequency response. When large signals beyond a few hundred Hz will be present, it is advisable to bypass $-V_{ISO}$ and $+V_{ISO}$ to IN COM with 1 μ F tantalum capacitors even if the isolated supplies are not loaded.

At 50 Hz/60 Hz, phase shift through the AD202/AD204 is typically 0.8° (lagging). Typical unit to unit variation is $\pm 0.2^\circ$ (lagging).

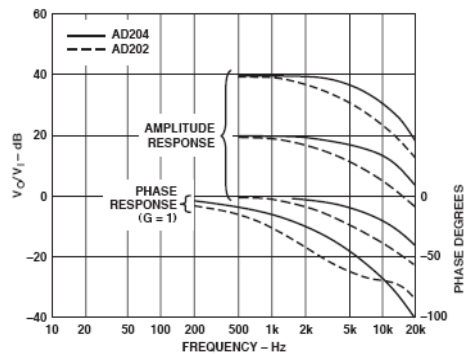


Figure 11. Frequency Response at Several Gains

The step response of the AD204 for very fast input signals can be improved by the use of an input filter, as shown in Figure 12. The filter limits the bandwidth of the input (to about 5.3 kHz) so that the isolator does not see fast, out-of-band input terms that can cause small amounts ($\pm 0.3\%$) of internal ringing. The AD204 will then settle to $\pm 0.1\%$ in about 300 μ s for a 10 V step.

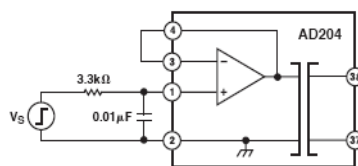


Figure 12. Input Filter for Improved Step Response

Except at the highest useful gains, the noise seen at the output of the AD202 and AD204 will be almost entirely comprised of carrier ripple at multiples of 25 kHz. The ripple is typically 2 mV p-p near zero output and increases to about 7 mV p-p for outputs of ± 5 V (1 MHz measurement bandwidth). Adding a capacitor across the output will reduce ripple at the expense of bandwidth: for example, 0.05 μ F at the output of the AD204 will result in 1.5 mV ripple at ± 5 V, but signal bandwidth will be down to 1 kHz.

When the full isolator bandwidth is needed, the simple two-pole active filter shown in Figure 13 can be used. It will reduce ripple to 0.1 mV p-p with no loss of signal bandwidth, and also serves as an output buffer.

An output buffer or filter may sometimes show output spikes that do not appear at its input. This is usually due to clock noise appearing at the op amp's supply pins (since most op amps have little or no supply rejection at high frequencies). Another common source of carrier-related noise is the sharing of a ground track by both the output circuit and the power input. Figure 13 shows how to avoid these problems: the clock/supply port of the isolator does not share ground or 15 V tracks with any signal circuits, and the op amp's supply pins are bypassed to signal common (note that the grounded filter capacitor goes here as well). Ideally, the output signal LO lead and the supply common meet where the isolator output is actually measured, e.g., at an A/D converter input. If that point is more than a few feet from the isolator, it may be useful to bypass output LO to supply common at the isolator with a 0.1 μ F capacitor.

In applications where more than a few AD204s are driven by a single clock driver, substantial current spikes will flow in the power return line and in whichever signal out lead returns to a low impedance point (usually output LO). Both of these tracks should be made large to minimize inductance and resistance; ideally, output LO should be directly connected to a ground plane which serves as measurement common.

Current spikes can be greatly reduced by connecting a small inductance (68 μ H–100 μ H) in series with the clock pin of each AD204. Molded chokes such as the Dale IM-2 series, with dc resistance of about 5 Ω , are suitable.

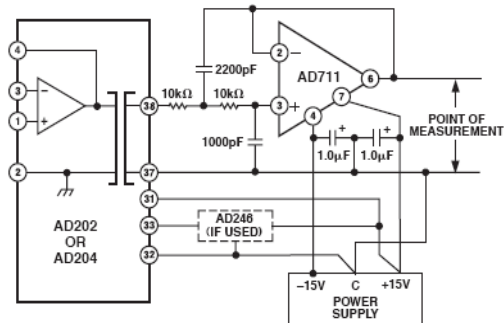


Figure 13. Output Filter Circuit Showing Proper Grounding

(NOTE: Circuit figures shown on this page are for SIP-style packages. Refer to Page 3 for proper DIP package pinout.)

High Compliance Current Source. In Figure 19, an isolator is used to sense the voltage across current-sensing resistor R_S to allow direct feedback control of a high voltage transistor or FET used as a high compliance current source. Since the isolator has virtually no response to dc common-mode voltage, the closed-loop current source has a static output resistance greater than $10^{14} \Omega$ even for output currents of several mA. The output current capability of the circuit is limited only by power dissipation in the source transistor.

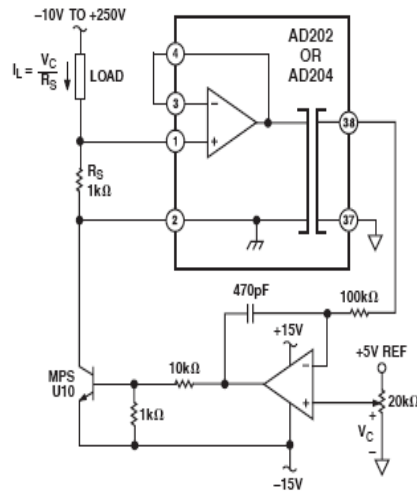


Figure 19. High Compliance Current Source

Motor Control Isolator. The AD202 and AD204 perform very well in applications where rejection of fast common-mode steps is important but bandwidth must not be compromised. Current sensing in a full-wave bridge motor driver (Figure 20) is one example of this class of application. For 200 V common-mode steps ($1 \mu\text{s}$ rise time) and a gain of 50 as shown, the typical response at the isolator output will be spikes of $\pm 5 \text{ mV}$ amplitude, decaying to zero in less than $100 \mu\text{s}$. Spike height can be reduced by a factor of four with output filtering just beyond the isolator's bandwidth.

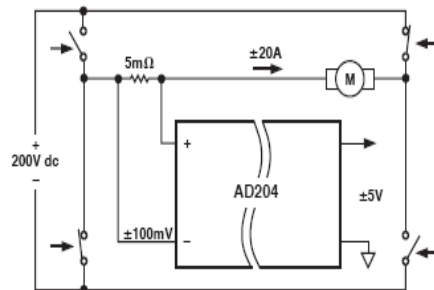


Figure 20. Motor Control Current Sensing

Floating Current Source/Ohmmeter. When a small floating current is needed with a compliance range of up to $\pm 1000 \text{ V}$ dc, the AD204 can be used to both create and regulate the current. This can save considerable power, since the controlled current does not have to return to ground. In Figure 21, an AD589 reference is used to force a small fixed voltage across R . That sets the current that the input op amp will have to return through the load to zero its input. Note that the isolator's output isn't needed at all in this application; the whole job is done by the input section. However, the signal at the output could be useful as it's the voltage across the load, referenced to ground. Since the load current is known, the output voltage is proportional to load resistance.

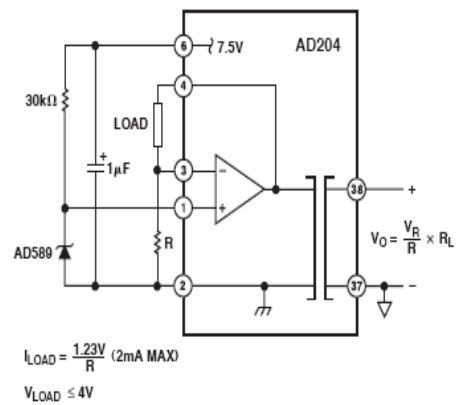


Figure 21. Floating Current Source

Photodiode Amplifier. Figure 22 shows a transresistance connection used to isolate and amplify the output of a photodiode. The photodiode operates at zero bias, and its output current is scaled by R_F to give a 5 V full-scale output.

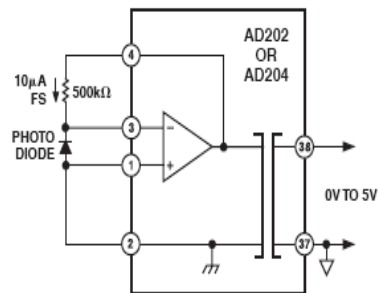
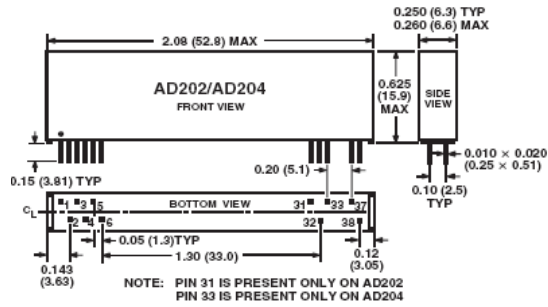


Figure 22. Photodiode Amplifier

OUTLINE DIMENSIONS

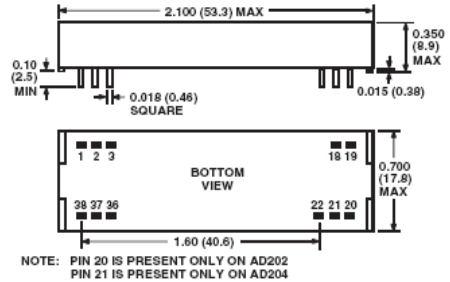
Dimensions shown in inches and (millimeters)

AD202/AD204 SIP Package



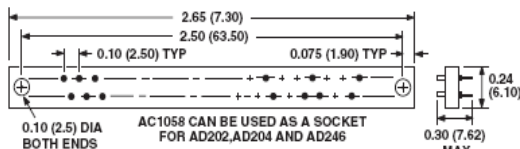
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

AD202/AD204 DIP Package



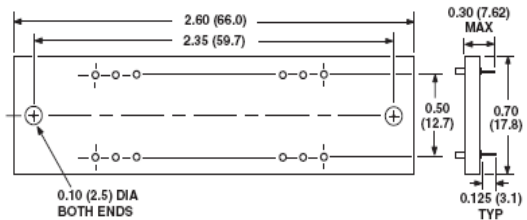
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

AC1058 Mating Socket



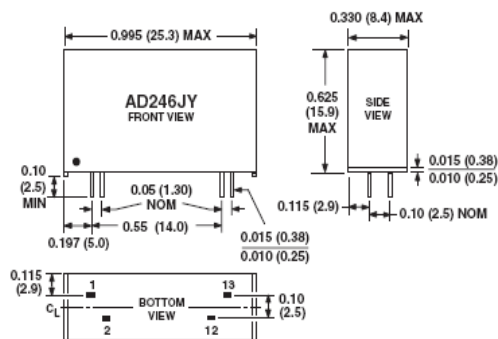
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

AC1060 Mating Socket



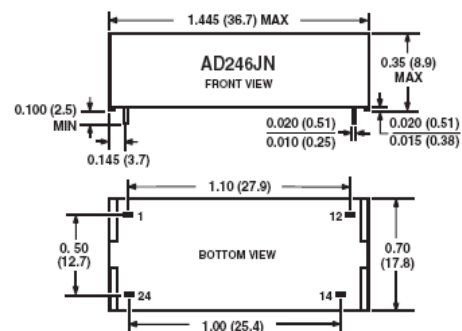
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

AD246JY Package



CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

AD246JN Package



CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

Anexo A. 9 Amplificador de Instrumentación AD620.



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

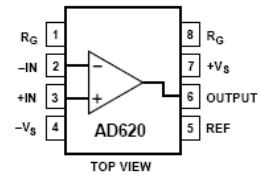
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

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

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 Superbeta 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.

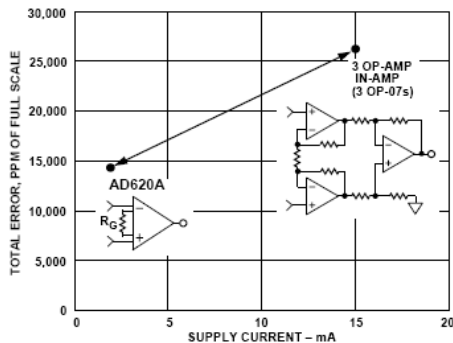


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

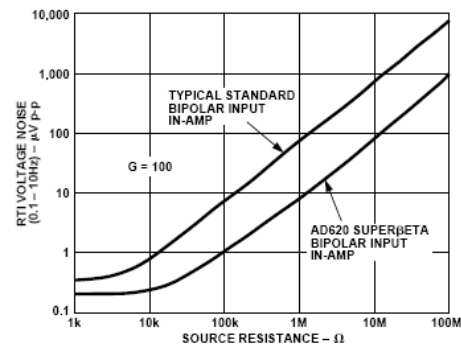


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

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.

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	$G = 1 + (49.4 k/R_G)$										
Gain Range		1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error ²	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
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 = $V_{OSI} + V_{OSO}/G$)										
Input Offset, V_{OSI}	$V_S = \pm 5$ 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_{OSO}	$V_S = \pm 15$ 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)	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	μ V/°C
G = 1	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 18 V	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		73	90		80	90		73	90	dB
G = 1			93	110		100	110		93	110	dB
G = 10			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	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V	$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.3$	V
Over Temperature		$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	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—Typical Characteristics

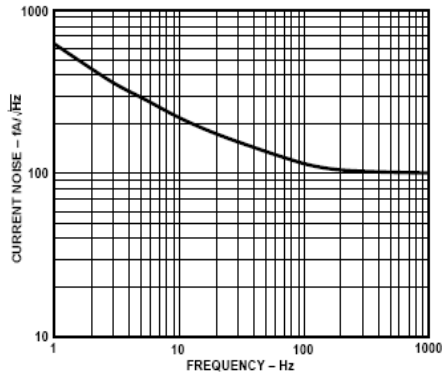


Figure 9. Current Noise Spectral Density vs. Frequency

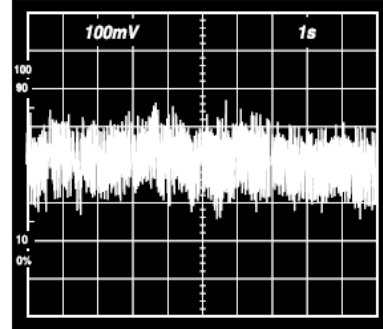


Figure 11. 0.1 Hz to 10 Hz Current Noise, 5 pA/Div

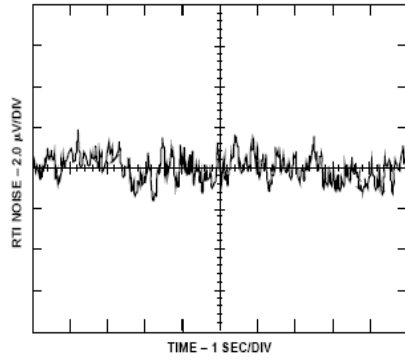


Figure 10a. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise ($G = 1$)

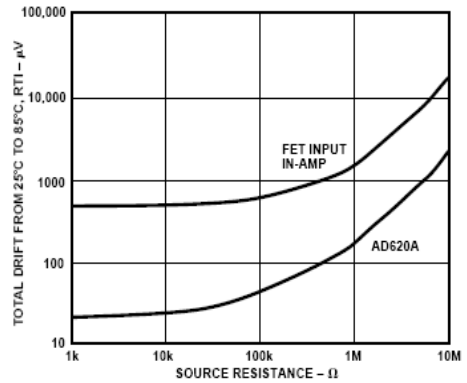


Figure 12. Total Drift vs. Source Resistance

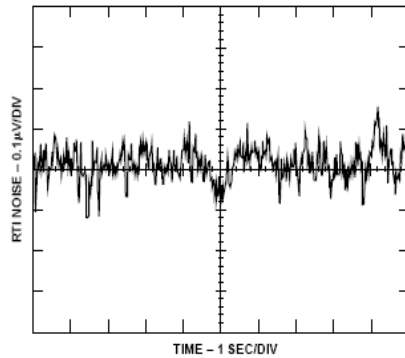


Figure 10b. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise ($G = 1000$)

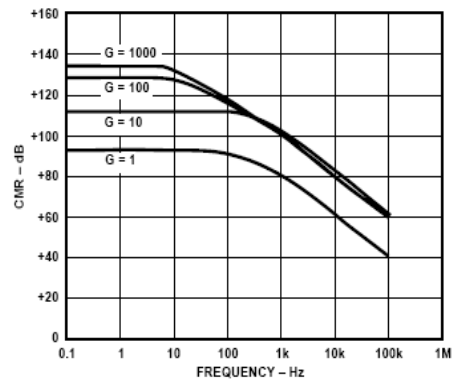


Figure 13. CMR vs. Frequency, RTI, Zero to 1 k Ω Source Imbalance

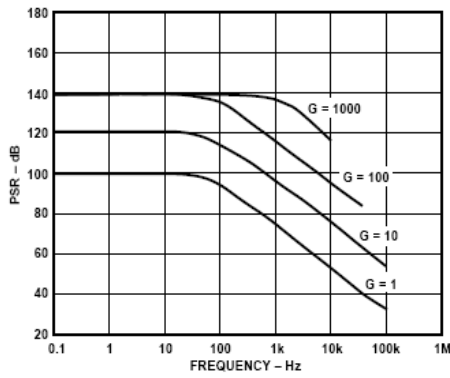


Figure 14. Positive PSR vs. Frequency, RTI ($G = 1-1000$)

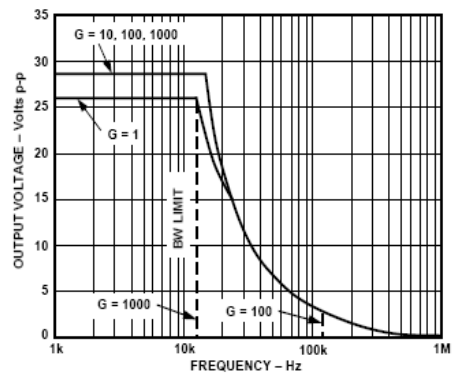


Figure 17. Large Signal Frequency Response

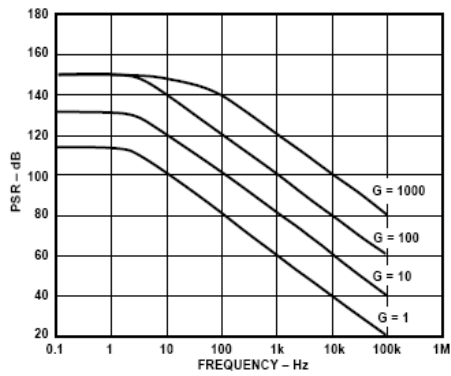


Figure 15. Negative PSR vs. Frequency, RTI ($G = 1-1000$)

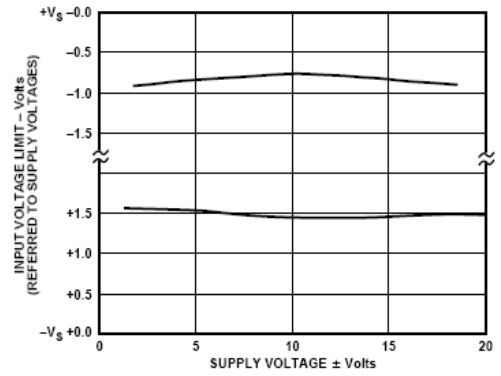


Figure 18. Input Voltage Range vs. Supply Voltage, $G = 1$

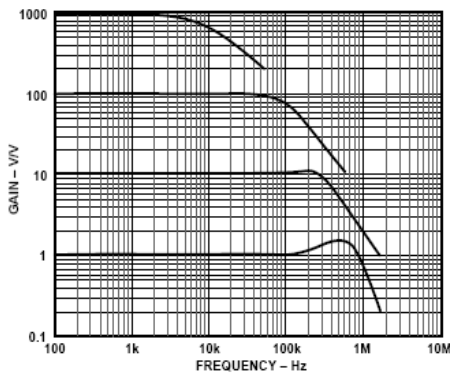


Figure 16. Gain vs. Frequency

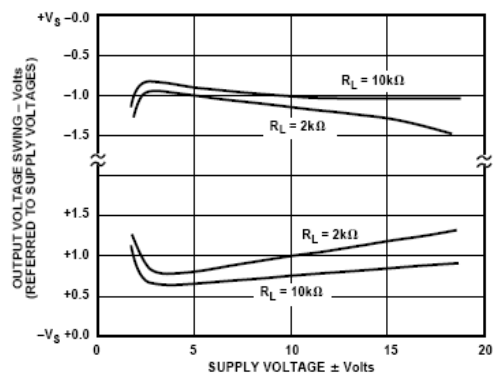


Figure 19. Output Voltage Swing vs. Supply Voltage, $G = 10$

AD620

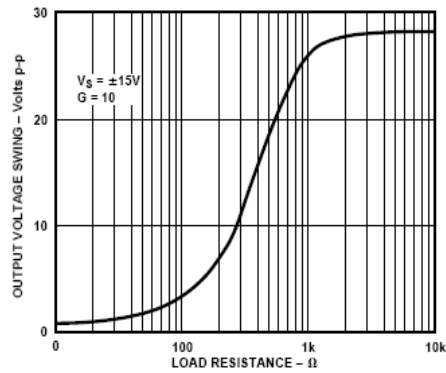


Figure 20. Output Voltage Swing vs. Load Resistance

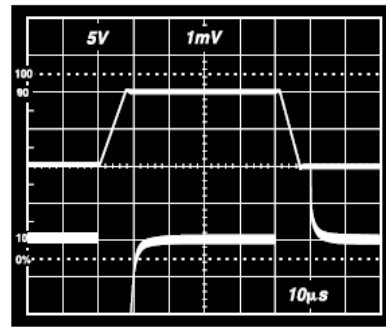


Figure 23. Large Signal Response and Settling Time, $G = 10$ ($0.5 \text{ mV} = 001\%$)

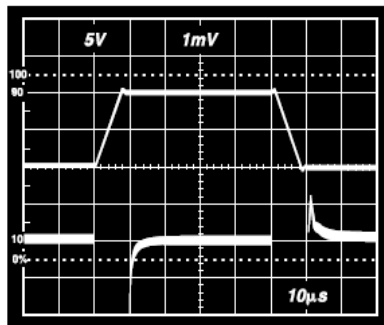


Figure 21. Large Signal Pulse Response and Settling Time $G = 1$ ($0.5 \text{ mV} = 0.01\%$)

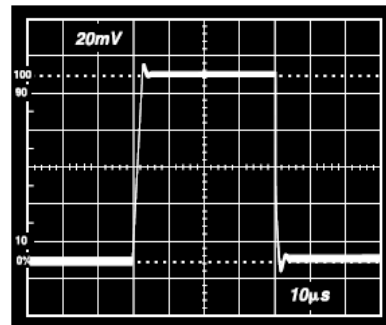


Figure 24. Small Signal Response, $G = 10$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$

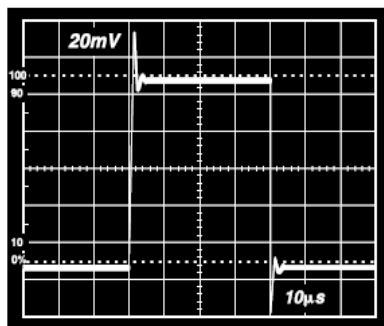


Figure 22. Small Signal Response, $G = 1$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$

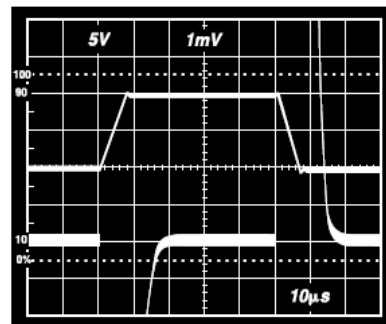


Figure 25. Large Signal Response and Settling Time, $G = 100$ ($0.5 \text{ mV} = 0.01\%$)

AD620

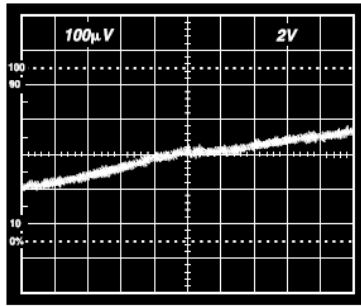


Figure 31b. Gain Nonlinearity, $G = 100$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ($100\ \mu\text{V} = 10\text{ ppm}$)

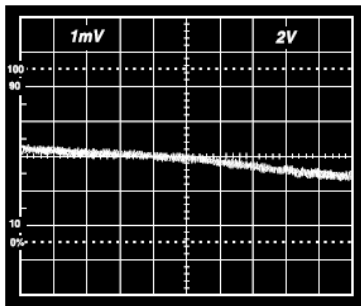


Figure 31c. Gain Nonlinearity, $G = 1000$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ($1\text{ mV} = 100\text{ ppm}$)

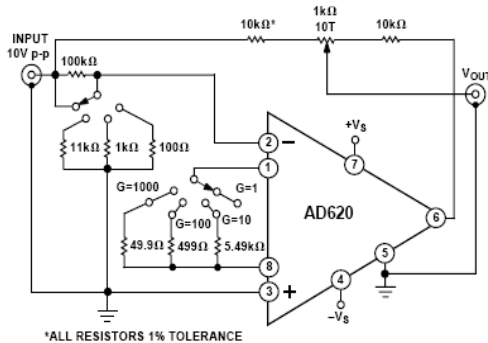


Figure 32. Settling Time Test Circuit

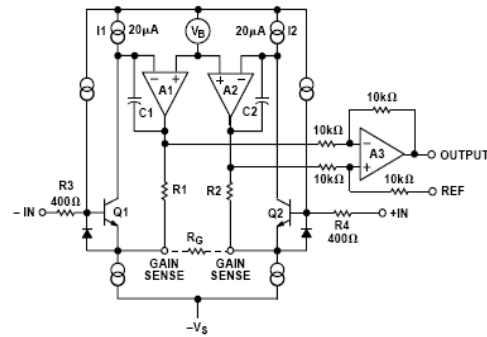


Figure 33. Simplified Schematic of AD620

THEORY OF OPERATION

The AD620 is a monolithic instrumentation amplifier based on a modification of the classic three op amp approach. Absolute value trimming allows the user to program gain *accurately* (to 0.15% at $G = 100$) with only one resistor. Monolithic construction and laser wafer trimming allow the tight matching and tracking of circuit components, thus ensuring the high level of performance inherent in this circuit.

The input transistors Q1 and Q2 provide a single differential-pair bipolar input for high precision (Figure 33), yet offer 10 \times lower Input Bias Current thanks to Super β processing. Feedback through the Q1-A1-R1 loop and the Q2-A2-R2 loop maintains constant collector current of the input devices Q1, Q2 thereby impressing the input voltage across the external gain setting resistor R_G . This creates a differential gain from the inputs to the A1/A2 outputs given by $G = (R_1 + R_2)/R_G + 1$. The unity-gain subtracter A3 removes any common-mode signal, yielding a single-ended output referred to the REF pin potential.

The value of R_G also determines the transconductance of the preamp stage. As R_G is reduced for larger gains, the transconductance increases asymptotically to that of the input transistors. This has three important advantages: (a) Open-loop gain is boosted for increasing programmed gain, thus reducing gain-related errors. (b) The gain-bandwidth product (determined by C1, C2 and the preamp transconductance) increases with programmed gain, thus optimizing frequency response. (c) The input voltage noise is reduced to a value of $9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, determined mainly by the collector current and base resistance of the input devices.

The internal gain resistors, R1 and R2, are trimmed to an absolute value of $24.7\text{ k}\Omega$, allowing the gain to be programmed accurately with a single external resistor.

The gain equation is then

$$G = \frac{49.4\text{ k}\Omega}{R_G} + 1$$

so that

$$R_G = \frac{49.4\text{ k}\Omega}{G - 1}$$

Make vs. Buy: A Typical Bridge Application Error Budget
 The AD620 offers improved performance over “homebrew” three op amp IA designs, along with smaller size, fewer components and 10× lower supply current. In the typical application, shown in Figure 34, a gain of 100 is required to amplify a bridge output of 20 mV full scale over the industrial temperature range of -40°C to +85°C. The error budget table below shows how to calculate the effect various error sources have on circuit accuracy. Regardless of the system in which it is being used, the AD620 provides greater accuracy, and at low power and price. In simple

systems, absolute accuracy and drift errors are by far the most significant contributors to error. In more complex systems with an intelligent processor, an autogain/autozero cycle will remove all absolute accuracy and drift errors leaving only the resolution errors of gain nonlinearity and noise, thus allowing full 14-bit accuracy.

Note that for the homebrew circuit, the OP07 specifications for input voltage offset and noise have been multiplied by $\sqrt{2}$. This is because a three op amp type in-amp has two op amps at its inputs, both contributing to the overall input error.

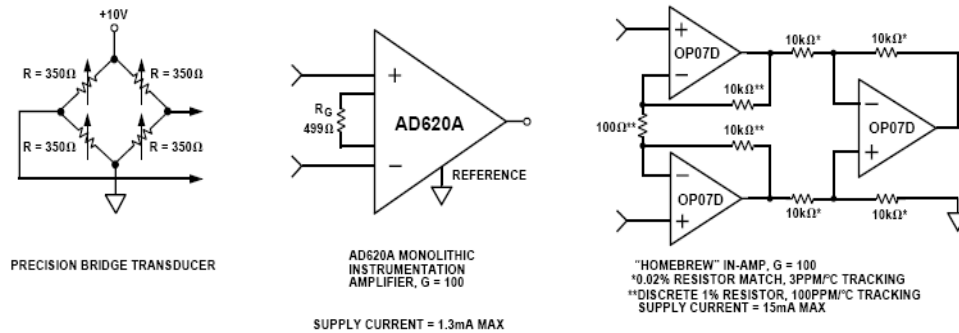


Figure 34. Make vs. Buy

Table I. Make vs. Buy Error Budget

Error Source	AD620 Circuit Calculation	“Homebrew” Circuit Calculation	Error, ppm of Full Scale	
			AD620	Homebrew
ABSOLUTE ACCURACY at T_A = +25°C				
Input Offset Voltage, μV	125 $\mu\text{V}/20\text{ mV}$	$(150\ \mu\text{V} \times \sqrt{2})/20\text{ mV}$	6,250	10,607
Output Offset Voltage, μV	1000 $\mu\text{V}/100/20\text{ mV}$	$((150\ \mu\text{V} \times 2)/100)/20\text{ mV}$	500	150
Input Offset Current, nA	2 nA \times 350 $\Omega/20\text{ mV}$	$(6\text{ nA} \times 350\ \Omega)/20\text{ mV}$	18	53
CMR, dB	110 dB \rightarrow 3.16 ppm, \times 5 V/20 mV	$(0.02\% \text{ Match} \times 5\text{ V})/20\text{ mV}/100$	791	500
DRIFT TO +85°C				
Gain Drift, ppm/°C	$(50\text{ ppm} + 10\text{ ppm}) \times 60^\circ\text{C}$	100 ppm/°C Track \times 60°C	3,600	6,000
Input Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/20\text{ mV}$	$(2.5\ \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times \sqrt{2} \times 60^\circ\text{C})/20\text{ mV}$	3,000	10,607
Output Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/100/20\text{ mV}$	$(2.5\ \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 2 \times 60^\circ\text{C})/100/20\text{ mV}$	450	150
RESOLUTION				
Gain Nonlinearity, ppm of Full Scale	40 ppm	40 ppm	40	40
Typ 0.1 Hz-10 Hz Voltage Noise, $\mu\text{V p-p}$	0.28 $\mu\text{V p-p}/20\text{ mV}$	$(0.38\ \mu\text{V p-p} \times \sqrt{2})/20\text{ mV}$	14	27
Total Resolution Error			54	67
Grand Total Error			14,662	28,134

G = 100, V_S = $\pm 15\text{ V}$.

(All errors are min/max and referred to input.)

Precision V-I Converter

The AD620, along with another op amp and two resistors, makes a precision current source (Figure 37). The op amp buffers the reference terminal to maintain good CMR. The output voltage V_X of the AD620 appears across R_1 , which converts it to a current. This current less only, the input bias current of the op amp, then flows out to the load.

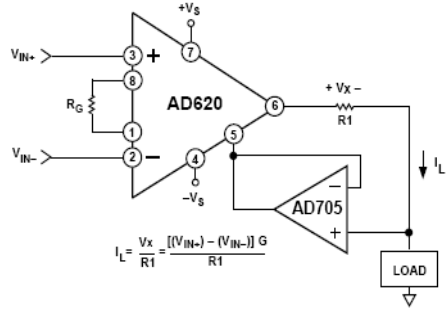


Figure 37. Precision Voltage-to-Current Converter (Operates on 1.8 mA, ±3 V)

GAIN SELECTION

The AD620's gain is resistor programmed by R_G , or more precisely, by whatever impedance appears between Pins 1 and 8. The AD620 is designed to offer accurate gains using 0.1%–1% resistors. Table II shows required values of R_G for various gains. Note that for $G = 1$, the R_G pins are unconnected ($R_G = \infty$). For any arbitrary gain R_G can be calculated by using the formula:

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

To minimize gain error, avoid high parasitic resistance in series with R_G ; to minimize gain drift, R_G should have a low TC—less than 10 ppm/°C—for the best performance.

Table II. Required Values of Gain Resistors

1% Std Table Value of R_G , Ω	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of R_G , Ω	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1,003

INPUT AND OUTPUT OFFSET VOLTAGE

The low errors of the AD620 are attributed to two sources, input and output errors. The output error is divided by G when referred to the input. In practice, the input errors dominate at high gains and the output errors dominate at low gains. The total V_{OS} for a given gain is calculated as:

$$\text{Total Error RTI} = \text{input error} + (\text{output error}/G)$$

$$\text{Total Error RTO} = (\text{input error} \times G) + \text{output error}$$

REFERENCE TERMINAL

The reference terminal potential defines the zero output voltage, and is especially useful when the load does not share a precise ground with the rest of the system. It provides a direct means of injecting a precise offset to the output, with an allowable range of 2 V within the supply voltages. Parasitic resistance should be kept to a minimum for optimum CMR.

INPUT PROTECTION

The AD620 features 400 Ω of series thin film resistance at its inputs, and will safely withstand input overloads of up to ± 15 V or ± 60 mA for several hours. This is true for all gains, and power on and off, which is particularly important since the signal source and amplifier may be powered separately. For longer time periods, the current should not exceed 6 mA ($I_{IN} \leq V_{IN}/400 \Omega$). For input overloads beyond the supplies, clamping the inputs to the supplies (using a low leakage diode such as an FD333) will reduce the required resistance, yielding lower noise.

RF INTERFERENCE

All instrumentation amplifiers can rectify out of band signals, and when amplifying small signals, these rectified voltages act as small dc offset errors. The AD620 allows direct access to the input transistor bases and emitters enabling the user to apply some first order filtering to unwanted RF signals (Figure 38), where $RC \approx 1/(2 \pi f)$ and where $f \geq$ the bandwidth of the AD620; $C \leq 150$ pF. Matching the extraneous capacitance at Pins 1 and 8 and Pins 2 and 3 helps to maintain high CMR.

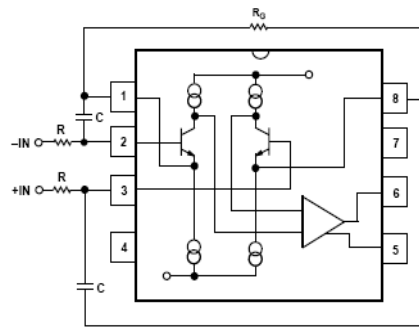


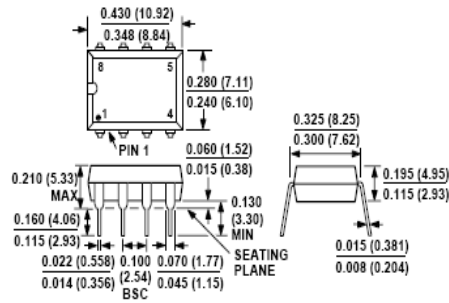
Figure 38. Circuit to Attenuate RF Interference

AD620

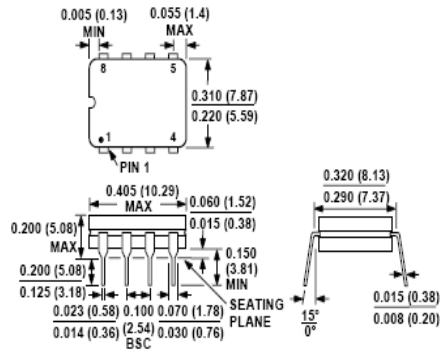
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

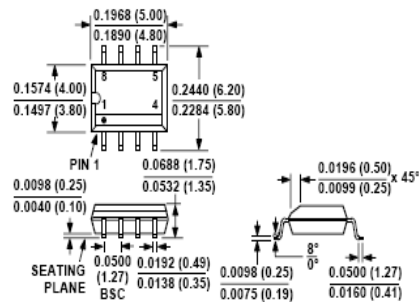
Plastic DIP (N-8) Package



Cerdip (Q-8) Package



SOIC (SO-8) Package



Anexo A. 10 Amplificador de Instrumentación AD627.



Micropower, Single and Dual Supply Rail-to-Rail Instrumentation Amplifier

AD627

FEATURES

- Micropower, 85 μA Max Supply Current
- Wide Power Supply Range (+2.2 V to ± 18 V)
- Easy to Use
 - Gain Set with One External Resistor
 - Gain Range 5 (No Resistor) to 1,000
- Higher Performance than Discrete Designs
- Rail-to-Rail Output Swing
- High Accuracy DC Performance
 - 0.10% Gain Accuracy ($G = +5$) (AD627A)
 - 10 ppm Gain Drift ($G = +5$)
 - 125 μV Max Input Offset Voltage (AD627B)
 - 200 μV Max Input Offset Voltage (AD627A)
 - 1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ Max Input Offset Voltage Drift (AD627B)
 - 3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ Max Input Offset Voltage Drift (AD627A)
 - 10 nA Max Input Bias Current
- Noise: 38 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ RTI Noise @ 1 kHz ($G = +100$)
- Excellent AC Specifications
 - 77 dB Min CMRR ($G = +5$) (AD627A)
 - 83 dB Min CMRR ($G = +5$) (AD627B)
 - 80 kHz Bandwidth ($G = +5$)
 - 135 μs Settling Time to 0.01% ($G = +5$, 5 V Step)

APPLICATIONS

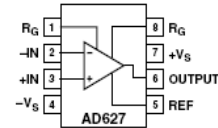
- 4 mA-to-20 mA Loop Powered Applications
- Low Power Medical Instrumentation—ECG, EEG
- Transducer Interfacing
- Thermocouple Amplifiers
- Industrial Process Controls
- Low Power Data Acquisition
- Portable Battery Powered Instruments

PRODUCT DESCRIPTION

The AD627 is an integrated, micropower, instrumentation amplifier that delivers rail-to-rail output swing on single and dual (+2.2 V to ± 18 V) supplies. The AD627 provides the user with excellent ac and dc specifications while operating at only 85 μA max.

The AD627 offers superior user flexibility by allowing the user to set the gain of the device with a single external resistor, and by conforming to the 8-lead industry standard pinout configuration. With no external resistor, the AD627 is configured for a gain of 5. With an external resistor, it can be programmed for gains of up to 1000.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM 8-Lead Plastic DIP (N) and SOIC (R)



Wide supply voltage range (+2.2 V to ± 18 V), and micropower current consumption make the AD627 a perfect fit for a wide range of applications. Single supply operation, low power consumption and rail-to-rail output swing make the AD627 ideal for battery powered applications. Its rail-to-rail output stage maximizes dynamic range when operating from low supply voltages. Dual supply operation (± 15 V) and low power consumption make the AD627 ideal for industrial applications, including 4 mA-to-20 mA loop-powered systems.

The AD627 does not compromise performance, unlike other micropower instrumentation amplifiers. Low voltage offset, offset drift, gain error, and gain drift keep dc errors to a minimum in the users system. The AD627 also holds errors over frequency to a minimum by providing excellent CMRR over frequency. Line noise, as well as line harmonics, will be rejected, since the CMRR remains high up to 200 Hz.

The AD627 provides superior performance, uses less circuit board area and does it for a lower cost than micropower discrete designs.

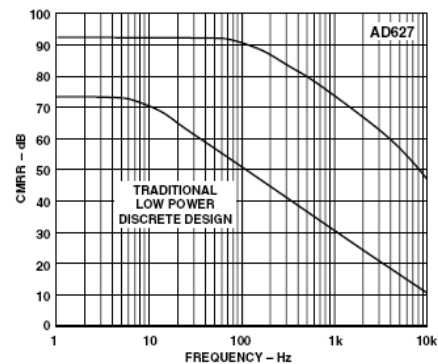


Figure 1. CMRR vs. Frequency, ± 5 V_S, Gain = +5

AD627—SPECIFICATIONS

SINGLE SUPPLY (Typical @ 25°C Single Supply, $V_S = 3\text{ V}$ and 5 V and $R_L = 20\text{ k}\Omega$, unless otherwise noted.)

Model Specification	Conditions	AD627A			AD627B			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN	$G = +5 + (200\text{ k}\Omega/R_G)$	5		1000	5		1000	V/V
Gain Range								
Gain Error ¹	$V_{OUT} = (-V_S) + 0.1\text{ to }(+V_S) - 0.15$							%
G = +5			0.03	0.10		0.01	0.06	%
G = +10			0.15	0.35		0.10	0.25	%
G = +100			0.15	0.35		0.10	0.25	%
G = +1000			0.50	0.70		0.25	0.35	%
Nonlinearity								ppm
G = +5			10	100		10	100	ppm
G = +100			20	100		20	100	ppm
Gain vs. Temperature¹								ppm/°C
G = +5			10	20		10	20	ppm/°C
G > 5			-75			-75		ppm/°C
VOLTAGE OFFSET								
Input Offset, V_{OS}^2	$V_{CM} = V_{REF} = +V_S/2$		50	250		25	150	μV
Over Temperature				445			215	μV
Average TC			0.1	3		0.1	1	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset, V_{OSO}				1000			500	μV
Over Temperature				1650			1150	μV
Average TC			2.5	10		2.5	10	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSRR)								dB
G = +5		86	100		86	100		dB
G = +10		100	120		100	120		dB
G = +100		110	125		110	125		dB
G = +1000		110	125		110	125		dB
INPUT CURRENT								
Input Bias Current			3	10		3	10	nA
Over Temperature				15			15	nA
Average TC			20			20		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1		0.3	1	nA
Over Temperature				2			2	nA
Average TC			1			1		pA/°C
INPUT								
Input Impedance								G Ω pF
Differential			20 2			20 2		G Ω pF
Common-Mode			20 2			20 2		G Ω pF
Input Voltage Range ³	$V_S = 2.2\text{ V to }36\text{ V}$	$(-V_S) - 0.1$		$(+V_S) - 1$	$(-V_S) - 0.1$		$(+V_S) - 1$	V
Common-Mode Rejection ³	$V_{REF} = V_S/2$							dB
Ratio DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance	$V_S = 3\text{ V}, V_{CM} = 0\text{ V to }1.9\text{ V}$	77	90		83	96		dB
G = +5	$V_S = 5\text{ V}, V_{CM} = 0\text{ V to }3.7\text{ V}$	77	90		83	96		dB
G = +5								dB
OUTPUT								
Output Swing	$R_L = 20\text{ k}\Omega$	$(-V_S) + 25$		$(+V_S) - 70$	$(-V_S) + 25$		$(+V_S) - 70$	mV
	$R_L = 100\text{ k}\Omega$	$(-V_S) + 7$		$(+V_S) - 25$	$(-V_S) + 7$		$(+V_S) - 25$	mV
Short-Circuit Current	Short-Circuit to Ground		± 25			± 25		mA
DYNAMIC RESPONSE								
Small Signal -3 dB Bandwidth								kHz
G = +5			80			80		kHz
G = +100			3			3		kHz
G = +1000			0.4			0.4		kHz
Slew Rate				+0.05/-0.07			+0.05/-0.07	V/ μs
Settling Time to 0.01%	$V_S = 3\text{ V}, 1.5\text{ V Output Step}$							μs
G = +5			65			65		μs
G = +100			290			290		μs
Settling Time to 0.01%	$V_S = 5\text{ V}, 2.5\text{ V Output Step}$							μs
G = +5			85			85		μs
G = +100			330			330		μs
Overload Recovery	50% Input Overload		3			3		μs

NOTES

¹Does not include effects of external resistor R_G .

²See Table III for total RTI errors.

³See Applications section for input range, gain range and common-mode range.

Specifications subject to change without notice.

DUAL SUPPLY (Typical @ 25°C Dual Supply, $V_S = \pm 5\text{ V}$ and $\pm 15\text{ V}$ and $R_L = 20\text{ k}\Omega$, unless otherwise noted.)

Model Specification	Conditions	AD627A			AD627B			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN	$G = +5 + (200\text{ k}\Omega/R_G)$	5		1000	5		1000	V/V
Gain Range								
Gain Error ¹	$V_{OUT} = (-V_S) + 0.1$ to $(+V_S) - 0.15$							%
G = +5			0.03	0.10		0.01	0.06	%
G = +10			0.15	0.35		0.10	0.25	%
G = +100			0.15	0.35		0.10	0.25	%
G = +1000			0.50	0.70		0.25	0.35	%
Nonlinearity								ppm
G = +5	$V_S = \pm 5\text{ V}/\pm 15\text{ V}$		10/25	100		10/25	100	ppm
G = +100	$V_S = \pm 5\text{ V}/\pm 15\text{ V}$		10/15	100		10/15	100	ppm
Gain vs. Temperature ¹								ppm/°C
G = +5			10	20		10	20	ppm/°C
G > 5			-75			-75		ppm/°C
VOLTAGE OFFSET	Total RTI Error = $V_{OSI} + V_{OSO/G}$							μV
Input Offset, V_{OSI} ²			25	200		25	125	μV
Over Temperature	$V_{CM} = V_{REF} = 0\text{ V}$			395			190	μV
Average TC			0.1	3		0.1	1	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset, V_{OSO}				1000			500	μV
Over Temperature				1700			1100	μV
Average TC			2.5	10		2.5	10	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSRR)								dB
G = +5		86	100		86	100		dB
G = +10		100	120		100	120		dB
G = +100		110	125		110	125		dB
G = +1000		110	125		110	125		dB
INPUT CURRENT								
Input Bias Current			2	10		2	10	nA
Over Temperature				15			15	nA
Average TC			20			20		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1		0.3	1	nA
Over Temperature				5			5	nA
Average TC			5			5		pA/°C
INPUT								
Input Impedance								G Ω pF
Differential			20 2			20 2		G Ω pF
Common-Mode			20 2			20 2		G Ω pF
Input Voltage Range ³	$V_S = \pm 1.1\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$	$(-V_S) - 0.1$		$(+V_S) - 1$	$(-V_S) - 0.1$		$(+V_S) - 1$	V
Common-Mode Rejection ³								dB
Ratio DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance	$V_S = \pm 5\text{ V}$, $V_{CM} = -4\text{ V}$ to $+3.0\text{ V}$	77	90		83	96		dB
G = +5-1000	$V_S = \pm 15\text{ V}$, $V_{CM} = -12\text{ V}$ to $+10.9\text{ V}$	77	90		83	96		dB
G = +5-1000								dB
OUTPUT								
Output Swing	$R_L = 20\text{ k}\Omega$	$(-V_S) + 25$		$(+V_S) - 70$	$(-V_S) + 25$		$(+V_S) - 70$	mV
$R_L = 100\text{ k}\Omega$		$(-V_S) + 7$		$(+V_S) - 25$	$(-V_S) + 7$		$(+V_S) - 25$	mV
Short-Circuit Current	Short Circuit to Ground		± 25			± 25		mA
DYNAMIC RESPONSE								
Small Signal -3 dB Bandwidth								kHz
G = +5			80			80		kHz
G = +100			3			3		kHz
G = +1000			0.4			0.4		kHz
Slew Rate			+0.05/-0.06			+0.05/-0.06		V/ μs
Settling Time to 0.01%	$V_S = \pm 5\text{ V}$, +5 V Output Step							μs
G = +5			135			135		μs
G = +100			350			350		μs
Settling Time to 0.01%	$V_S = \pm 15\text{ V}$, +15 V Output Step							μs
G = +5			330			330		μs
G = +100			560			560		μs
Overload Recovery	50% Input Overload		3			3		μs

NOTES

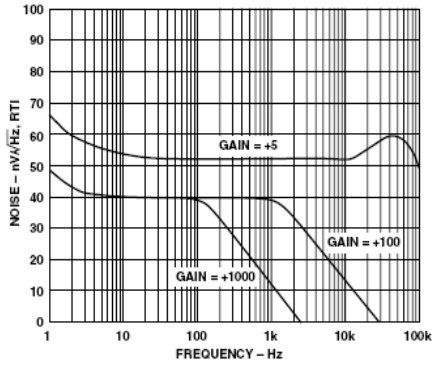
¹Does not include effects of external resistor R_G .

²See Table III for total RTI errors.

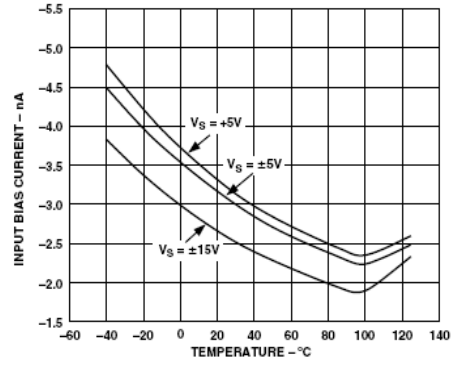
³See Applications section for input range, gain range and common-mode range.

Specifications subject to change without notice.

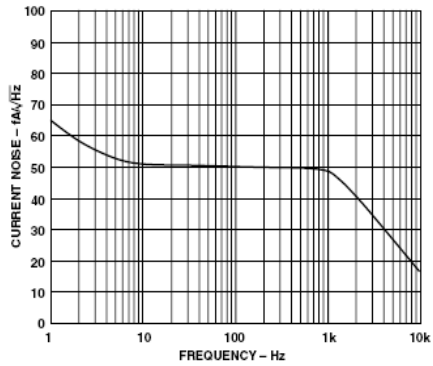
Typical Performance Characteristics (@ 25°C $V_S = \pm 5\text{ V}$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$ unless otherwise noted.)



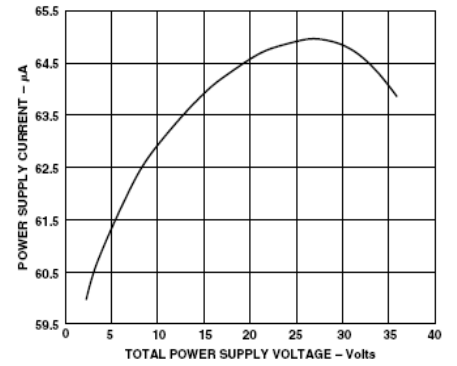
TPC 1. Voltage Noise Spectral Density vs. Frequency



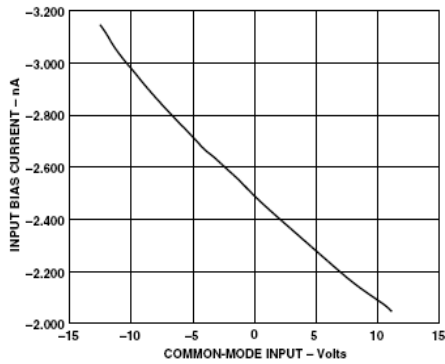
TPC 4. Input Bias Current vs. Temperature



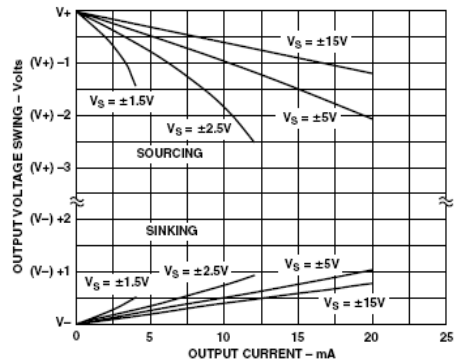
TPC 2. Current Noise Spectral Density vs. Frequency



TPC 5. Supply Current vs. Supply Voltage

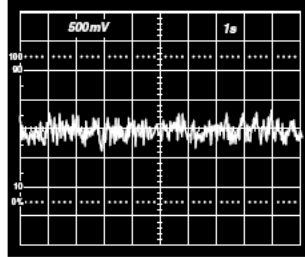


TPC 3. I_{BIAS} vs. CMV , $V_S = \pm 15\text{ V}$

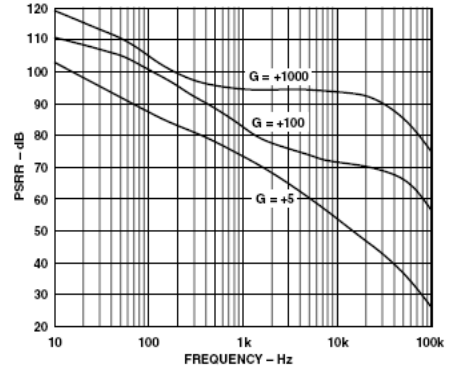


TPC 6. Output Voltage Swing vs. Output Current

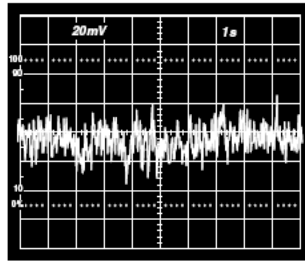
AD627



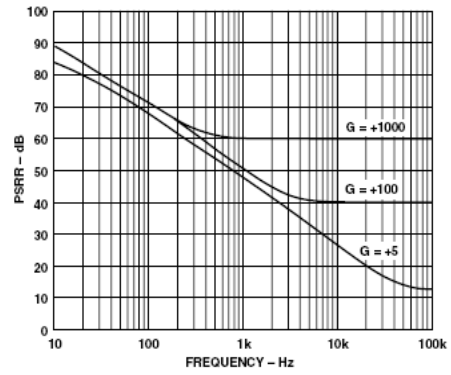
TPC 7. 0.1 Hz to 10 Hz Current Noise (0.71 pA/DIV)



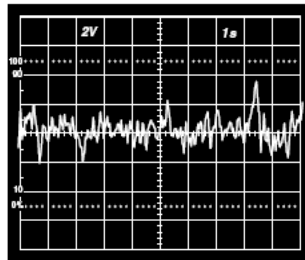
TPC 10. Positive PSRR vs. Frequency, ±5 V



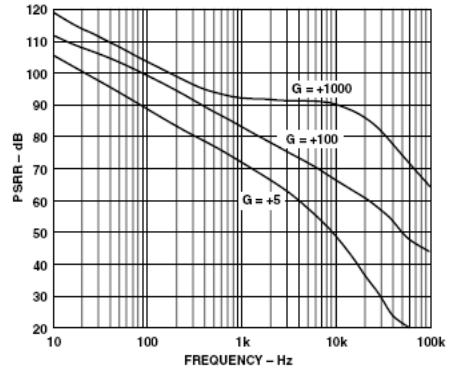
TPC 8. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise (400 nV/DIV), G = +5



TPC 11. Negative PSRR vs. Frequency, ±5 V

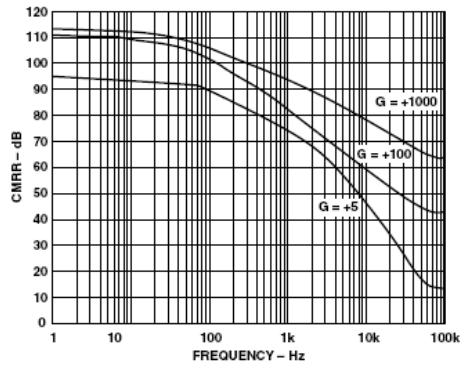


TPC 9. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise (200 nV/DIV), G = +1000

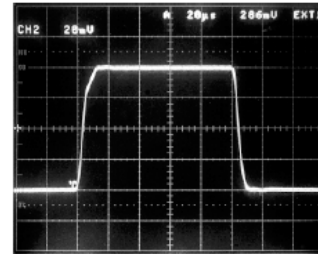


TPC 12. Positive PSRR vs. Frequency (VS = 5 V, 0 V)

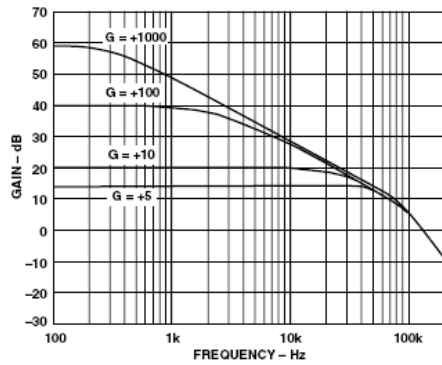
AD627



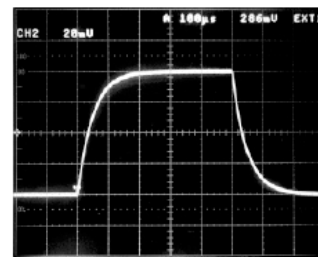
TPC 19. CMRR vs. Frequency, $\pm 5 V_S$, (CMV = 200 mV p-p)



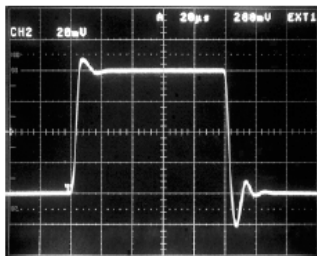
TPC 22. Small Signal Pulse Response, $G = +10$, $R_L = 20 k\Omega$, $C_L = 50 pF$



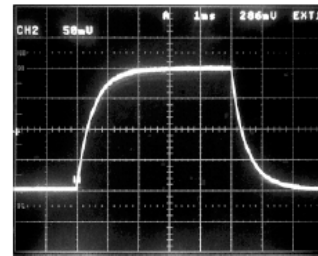
TPC 20. Gain vs. Frequency ($V_S = 5 V$, 0 V), $V_{REF} = 2.5 V$



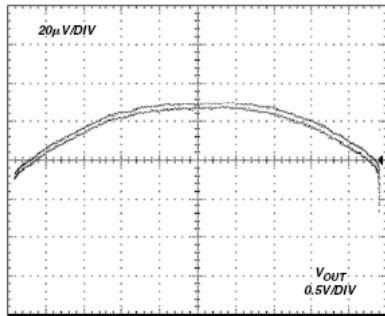
TPC 23. Small Signal Pulse Response, $G = +100$, $R_L = 20 k\Omega$, $C_L = 50 pF$



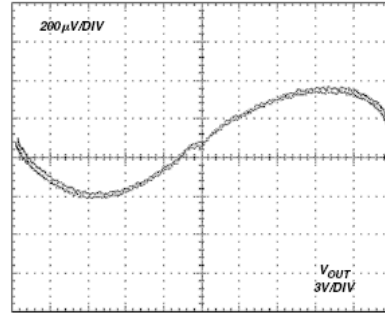
TPC 21. Small Signal Pulse Response, $G = +5$, $R_L = 20 k\Omega$, $C_L = 50 pF$



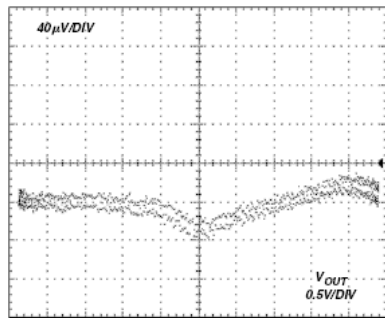
TPC 24. Small Signal Pulse Response, $G = +1000$, $R_L = 20 k\Omega$, $C_L = 50 pF$



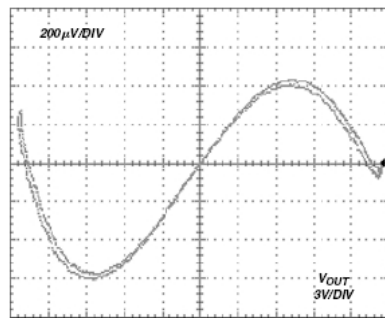
TPC 25. Gain Nonlinearity, $V_S = \pm 2.5 \text{ V}$, $G = +5$
(4 ppm/DIV)



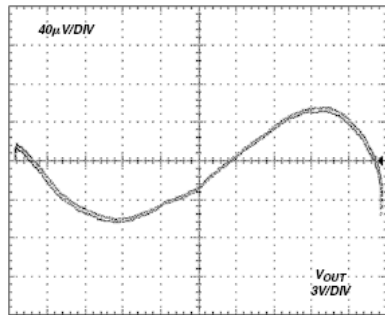
TPC 28. Gain Nonlinearity, $V_S = \pm 15 \text{ V}$, $G = +100$
(7 ppm/DIV)



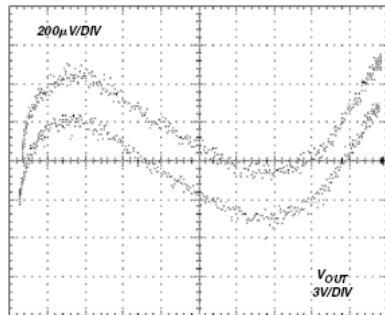
TPC 26. Gain Nonlinearity, $V_S = \pm 2.5 \text{ V}$, $G = +100$
(8 ppm/DIV)



TPC 29. Gain Nonlinearity, $V_S = \pm 15 \text{ V}$, $G = +5$ (7 ppm/DIV)



TPC 27. Gain Nonlinearity, $V_S = \pm 15 \text{ V}$, $G = +5$
(1.5 ppm/DIV)



TPC 30. Gain Nonlinearity, $V_S = \pm 15 \text{ V}$, $G = +100$ (7 ppm/DIV)

AD627

THEORY OF OPERATION

The AD627 is a true “instrumentation amplifier” built using two feedback loops. Its general properties are similar to those of the classic “two op amp” instrumentation amplifier configuration, and can be regarded as such, but internally the details are somewhat different. The AD627 uses a modified “current feedback” scheme which, coupled with interstage feedforward frequency compensation, results in a much better CMRR (Common-Mode Rejection Ratio) at frequencies above dc (notably the line frequency of 50 Hz–60 Hz) than might otherwise be expected of a low power instrumentation amplifier.

Referring to the diagram, (Figure 2), A1 completes a feedback loop which, in conjunction with V1 and R5, forces a constant collector current in Q1. Assume that the gain-setting resistor (R_G) is not present for the moment. Resistors R2 and R1 complete the loop and force the output of A1 to be equal to the voltage on the inverting terminal with a gain of (almost exactly) 1.25. A nearly identical feedback loop completed by A2 forces a current in Q2 which is substantially identical to that in Q1, and A2 also provides the output voltage. When both loops are balanced, the gain from the noninverting terminal to V_{OUT} is equal to 5, whereas the gain from the output of A1 to V_{OUT} is equal to -4. The inverting terminal gain of A1, (1.25) times the gain of A2, (-4) makes the gain from the inverting and noninverting terminals equal.

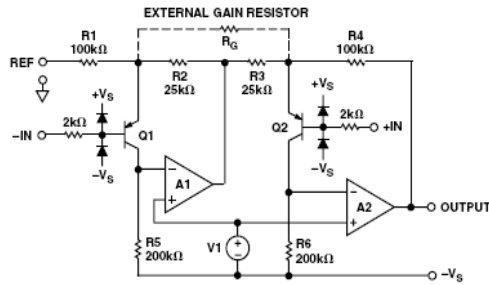


Figure 2. Simplified Schematic

The differential mode gain is equal to $1 + R_4/R_3$, nominally five and is factory trimmed to 0.01% final accuracy. Adding an external gain setting resistor (R_G) increases the gain by an amount equal to $(R_4 + R_1)/R_G$. The output voltage of the AD627 is given by the following equation.

$$V_{OUT} = [V_{IN(+)} - V_{IN(-)}] \times (5 + 200 \text{ k}\Omega/R_G) + V_{REF}$$

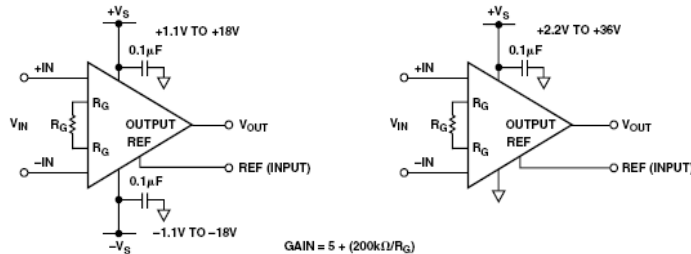


Figure 3. Basic Connections for Single and Dual Supplies

Laser trims are performed on R1 through R4 to ensure that their values are as close as possible to the absolute values in the gain equation. This ensures low gain error and high common-mode rejection at all practical gains.

USING THE AD627

Basic Connections

Figure 3 shows the basic connection circuit for the AD627. The $+V_S$ and $-V_S$ terminals are connected to the power supply. The supply can either be bipolar ($V_S = \pm 1.1 \text{ V to } \pm 18 \text{ V}$) or single supply ($-V_S = 0 \text{ V, } +V_S = +2.2 \text{ V to } +36 \text{ V}$). The power supplies should be capacitively decoupled close to the devices power pins. For best results, use surface mount 0.1 μF ceramic chip capacitors.

The input voltage, which can be either single ended (tie either -IN or +IN to ground) or differential. The difference between the voltage on the inverting and noninverting pins is amplified by the programmed gain. The programmed gain is set by the gain resistor (see below). The output signal appears as the voltage difference between the output pin and the externally applied voltage on the REF pin (see below).

Setting the Gain

The AD627's gain is resistor programmed by R_G , or more precisely, by whatever impedance appears between Pins 1 and 8. The gain is set according to the equation:

$$\text{Gain} = 5 + (200 \text{ k}\Omega/R_G)$$

or

$$R_G = 200 \text{ k}\Omega/(\text{Gain} - 5)$$

It follows that the minimum achievable gain is 5 (for $R_G = \infty$). With an internal gain accuracy of between 0.05% and 0.7% depending on gain and grade, a 0.1% external gain resistor would seem appropriate to prevent significant degradation of the overall gain error. However, 0.1% resistors are not available in a wide range of values and are quite expensive. Table I shows recommended gain resistor values using 1% resistors. For all gains, the size of the gain resistor is conservatively chosen as the closest value from the standard resistor table that is higher than the ideal value. This results in a gain that is always slightly less than the desired gain. This prevents clipping of the signal at the output due to resistor tolerance.

The internal resistors on the AD627 have a negative temperature coefficient of $-75 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ max for gains > 5 . Using a gain resistor that also has a negative temperature coefficient of $-75 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ or less will tend to reduce the overall circuit's gain drift.

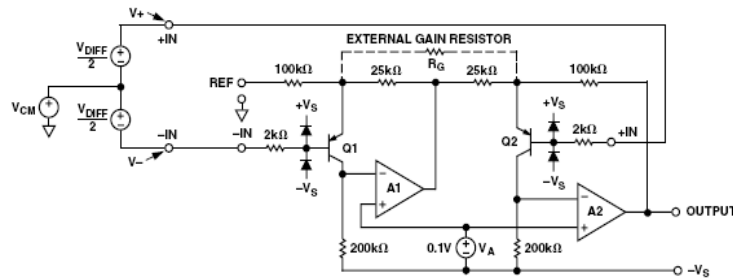


Figure 4. Amplifying Differential Signals with a Common-Mode Component

Table I. Recommended Values of Gain Resistors

Desired Gain	1% Std Table Value of R_G , Ω	Resulting Gain
5	∞	5.00
6	200 k	6.00
7	100 k	7.00
8	68.1 k	7.94
9	51.1 k	8.91
10	40.2 k	9.98
15	20 k	15.00
20	13.7 k	19.60
25	10 k	25.00
30	8.06 k	29.81
40	5.76 k	39.72
50	4.53 k	49.15
60	3.65 k	59.79
70	3.09 k	69.72
80	2.67 k	79.91
90	2.37 k	89.39
100	2.1 k	100.24
200	1.05 k	195.48
500	412	490.44
1000	205	980.61

Reference Terminal

The reference terminal potential defines the zero output voltage and is especially useful when the load does not share a precise ground with the rest of the system. It provides a direct means of injecting a precise offset to the output. The reference terminal is also useful when bipolar signals are being amplified as it can be used to provide a virtual ground voltage.

Since the AD627 output voltage is developed with respect to the potential on the reference terminal, it can solve many grounding problems by simply tying the REF pin to the appropriate "local ground." The REF pin should however be tied to a low impedance point for optimal CMR.

Table II. Maximum Gain for Low Common-Mode Single Supply Applications

V_{IN}	REF Pin	Supply Voltage	R_G (1% Tolerance)	Resulting Max Gain	Output Swing WRT 0 V
± 100 mV, $V_{CM} = 0$ V	2 V	5 V to 15 V	28.7 k Ω	12.0	0.8 V to 3.2 V
± 50 mV, $V_{CM} = 0$ V	2 V	5 V to 15 V	10.7 k Ω	23.7	0.8 V to 3.2 V
± 10 mV, $V_{CM} = 0$ V	2 V	5 V to 15 V	1.74 k Ω	119.9	0.8 V to 3.2 V
$V_- = 0$ V, $V_+ = 0$ V to 1 V	1 V	10 V to 15 V	78.7 k Ω	7.5	1 V to 8.5 V
$V_- = 0$ V, $V_+ = 0$ mV to 100 mV	1 V	5 V to 15 V	7.87 k Ω	31	1 V to 4.1 V
$V_- = 0$ V, $V_+ = 0$ mV to 10 mV	1 V	5 V to 15 V	7.87 Ω	259.1	1 V to 3.6 V

Input Range Limitations in Single Supply Applications

In general, the maximum achievable gain is determined by the available output signal range. However, in single supply applications where the input common-mode voltage is close to or equal to zero, some limitations on the gain can be set. While the Input, Output and Reference Pins have ranges that are nominally defined on the specification pages, there is a mutual interdependence between the voltage ranges on these pins. Figure 4 shows the simplified schematic of the AD627, driven by a differential voltage V_{DIFF} which has a common-mode component, V_{CM} . The voltage on the output of op amp A1 is a function of V_{DIFF} , V_{CM} , the voltage on the REF pin and the programmed gain. This voltage is given by the equation:

$$V_{A1} = 1.25 (V_{CM} + 0.5 V) - 0.25 V_{REF} - V_{DIFF} (25 k\Omega / R_G - 0.625)$$

We can also express the voltage on A1 as a function of the actual voltages on the -IN and +IN pins (V_- and V_+)

$$V_{A1} = 1.25 (V_- + 0.5 V) - 0.25 V_{REF} - (V_+ - V_-) 25 k\Omega / R_G$$

A1's output is capable of swinging to within 50 mV of the negative rail and to within 200 mV of the positive rail. From either of the above equations, it is clear that an increasing V_{REF} , (while it acts as a positive offset at the output of the AD627), tends to decrease the voltage on A1. Figures 5 and 6 show the maximum voltages that can be applied to the REF pin, for a gain of five for both the single and dual supply cases. Raising the input common-mode voltage will increase the voltage on the output of A1. However, in single supply applications where the common-mode voltage is low, a differential input voltage or a voltage on REF that is too high can drive the output of A1 into the ground rail. Some low side headroom is added by virtue of both inputs being shifted upwards by about 0.5 V (i.e., by the V_{BE} of Q1 and Q2). The above equations can be used to check that the voltage on amplifier A1 is within its operating range.

Table II gives values for the maximum gains for various single supply input conditions. The resulting output swings shown refer to 0 V. The voltages on the REF pins has been set to either

AD627

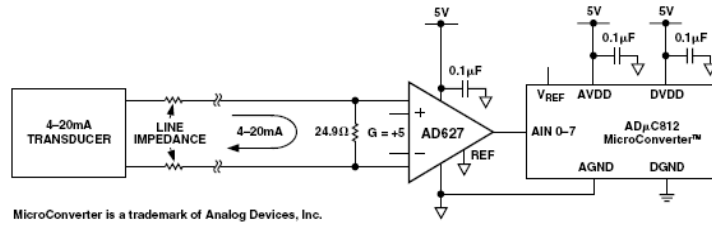


Figure 16. A 4 mA-to-20 mA Receiver Circuit

A 4 mA-to-20 mA Single Supply Receiver

Figure 16 shows how a signal from a 4 mA-to-20 mA transducer can be interfaced to the ADμC812, a 12-bit ADC with an embedded microcontroller. The signal from a 4 mA-to-20 mA transducer is single ended. This initially suggests the need for a simple shunt resistor, to convert the current to a voltage at the high impedance analog input of the converter. However, any line resistance in the return path (to the transducer) will add a current dependent offset error. So the current must be sensed differentially. In this example, a 24.9 Ω shunt resistor generates a maximum differential input voltage to the AD627 of between 100 mV (for 4 mA in) and 500 mV (for 20 mA in). With no gain resistor present, the AD627 amplifies the 500 mV input voltage by a factor of 5, to 2.5 V, the full-scale input voltage of the ADC. The zero current of 4 mA corresponds to a code of 819 and the LSB size is 4.9 mA.

A Thermocouple Amplifier

Because the common-mode input range of the AD627 extends 0.1 V below ground, it is possible to measure small differential signals which have low, or no, common-mode component. Figure 17 shows a thermocouple application where one side of the J-type thermocouple is grounded.

Over a temperature range from -200°C to $+200^{\circ}\text{C}$, the J-type thermocouple delivers a voltage ranging from -7.890 mV to 10.777 mV . A programmed gain on the AD627 of 100 ($R_G = 2.1\text{ k}\Omega$) and a voltage on the AD627 REF pin of 2 V, results in the AD627's output voltage ranging from 1.110 V to 3.077 V relative to ground. For a different input range or different voltage on the REF pin, it is important to check that the voltage on internal node A1 (see Figure 4) is not driven below ground). This can be checked using the equations in the section entitled Input Range Limitations in Single Supply Applications.

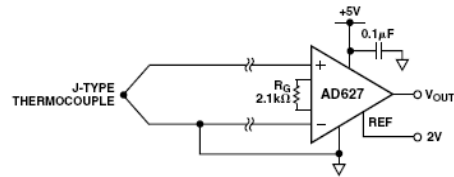
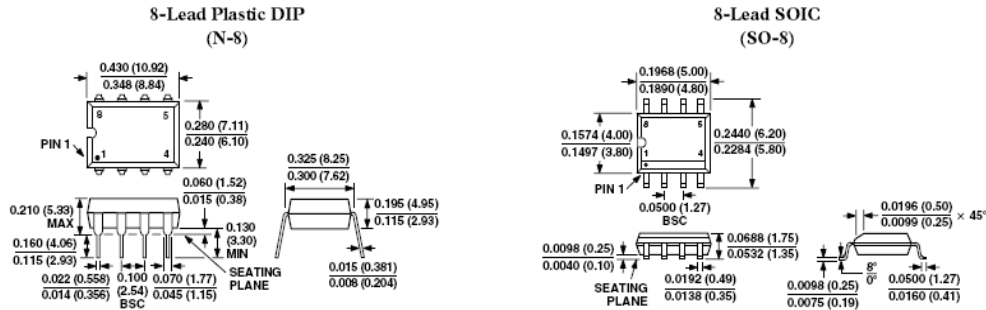


Figure 17. Amplifying Bipolar Signals with Low Common-Mode Voltage

OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).



AD627-Revision History

Location	Page
Data Sheet changed from REV. A to REV. B.	
Changes to Figure 4 and Table I, Resulting Gain column	11
Change to Figure 9	13

Anexo A. 11 Optó aislador 4N25.

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by 4N25/D



Global Optoisolator™



6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INPUT LED			
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	$\text{mW}/^\circ\text{C}$
OUTPUT TRANSISTOR			
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	30	Volts
Emitter–Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	$\text{mW}/^\circ\text{C}$
TOTAL DEVICE			
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	$V_{ac(pk)}$
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	$\text{mW}/^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	–55 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	–55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_L	260	$^\circ\text{C}$

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value. Global Optoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

REV 5

© Motorola, Inc. 1995

4N25*

4N25A*


4N26*
[CTR = 20% Min]

4N27

4N28
[CTR = 10% Min]

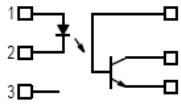
*Motorola Preferred Devices

STYLE 1 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A–04

SCHEMATIC



PIN 1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE



4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)⁽¹⁾

Characteristic	Symbol	Min	Typ ⁽¹⁾	Max	Unit
----------------	--------	-----	--------------------	-----	------

INPUT LED

Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	V_F	—	1.15	1.5	Volts
	$T_A = -55^\circ\text{C}$		—	1.3	—	
	$T_A = 100^\circ\text{C}$		—	1.05	—	
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)		I_R	—	—	100	μA
Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)		C_J	—	18	—	pF

OUTPUT TRANSISTOR

Collector–Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	4N25,25A,26,27 4N28	I_{CEO}	—	1	50	nA
	($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 100^\circ\text{C}$)	All Devices	I_{CEO}	—	1	—
Collector–Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$)		I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector–Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}$)		$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts
Collector–Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$)		$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts
Emitter–Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$)		$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain ($I_C = 2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$)		h_{FE}	—	500	—	—
Collector–Emitter Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CE} = 0$)		C_{CE}	—	7	—	pF
Collector–Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CB} = 0$)		C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter–Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{EB} = 0$)		C_{EB}	—	9	—	pF

COUPLED

Output Collector Current ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$)	4N25,25A,26 4N27,28	$I_C(\text{CTR})^{(2)}$	2 (20) 1 (10)	7 (70) 5 (50)	— —	$\text{mA}(\%)$
Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2\text{ mA}$, $I_F = 50\text{ mA}$)		$V_{CE(\text{sat})}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn–On Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾		t_{on}	—	2.8	—	μs
Turn–Off Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾		t_{off}	—	4.5	—	μs
Rise Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾		t_r	—	1.2	—	μs
Fall Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾		t_f	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$) ⁽⁴⁾		V_{ISO}	7500	—	—	$V_{\text{ac(pk)}}$
Isolation Resistance ($V = 500\text{ V}$) ⁽⁴⁾		R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω
Isolation Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$) ⁽⁴⁾		C_{ISO}	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).

2. Current Transfer Ratio (CTR) = $I_C/I_F \times 100\%$.

3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

TYPICAL CHARACTERISTICS

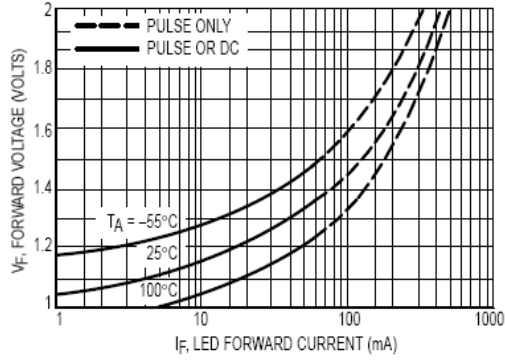


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

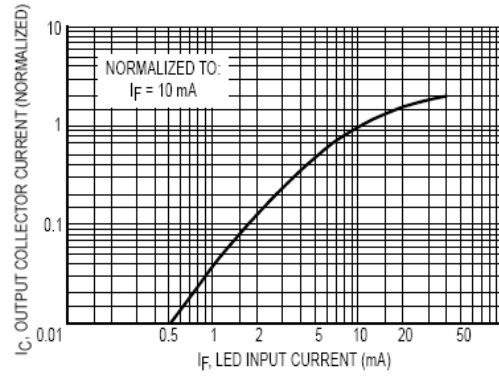


Figure 2. Output Current versus Input Current

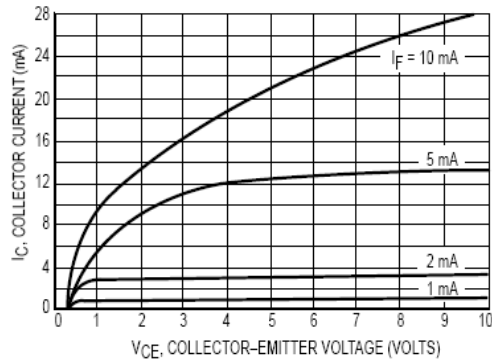


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

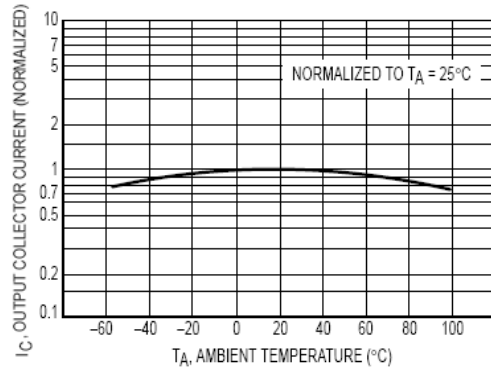


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

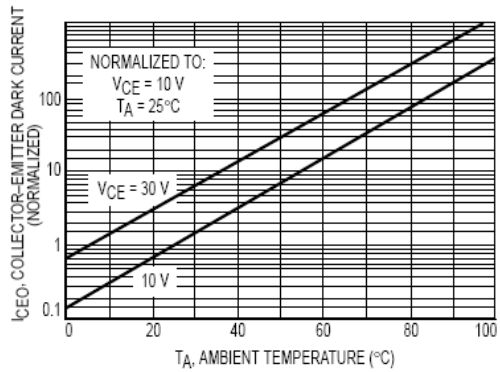


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

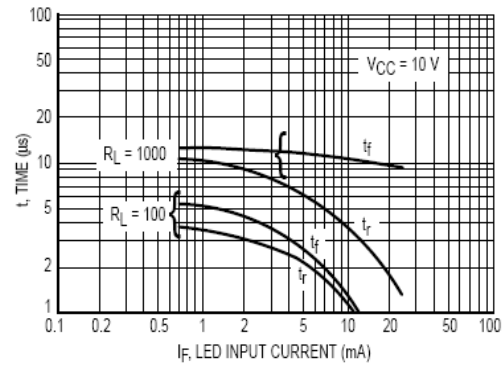


Figure 6. Rise and Fall Times (Typical Values)

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

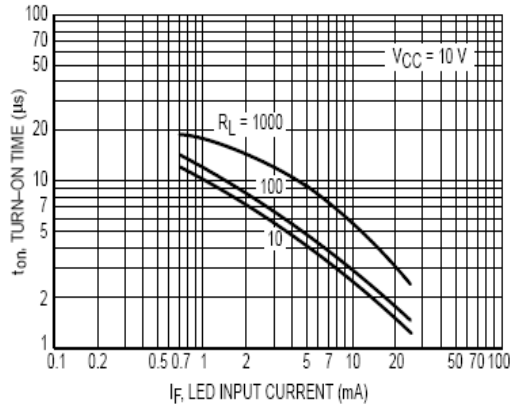


Figure 7. Turn-On Switching Times (Typical Values)

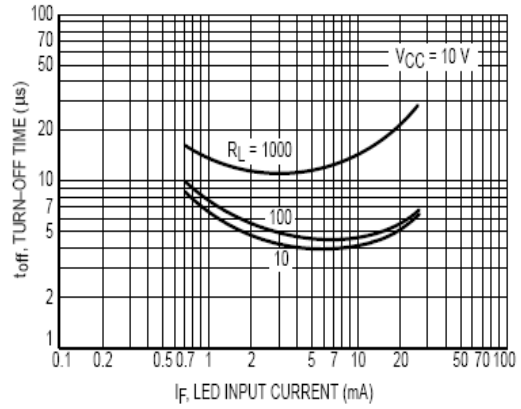


Figure 8. Turn-Off Switching Times (Typical Values)

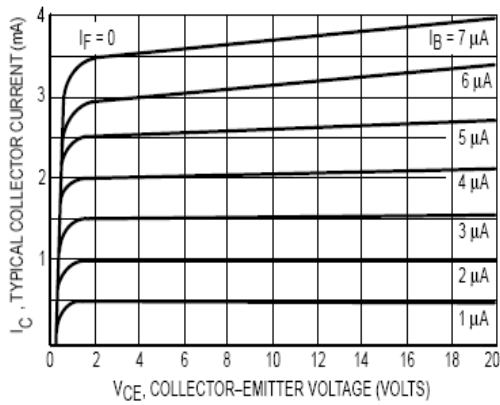


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

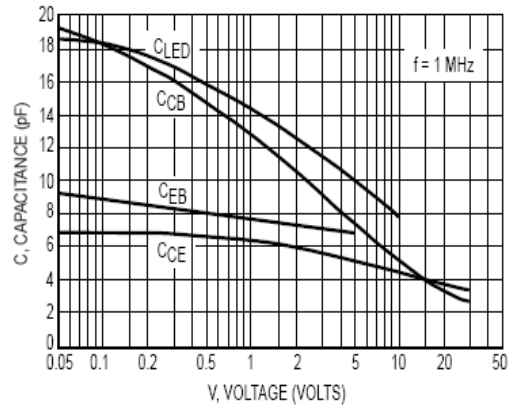


Figure 10. Capacitances versus Voltage

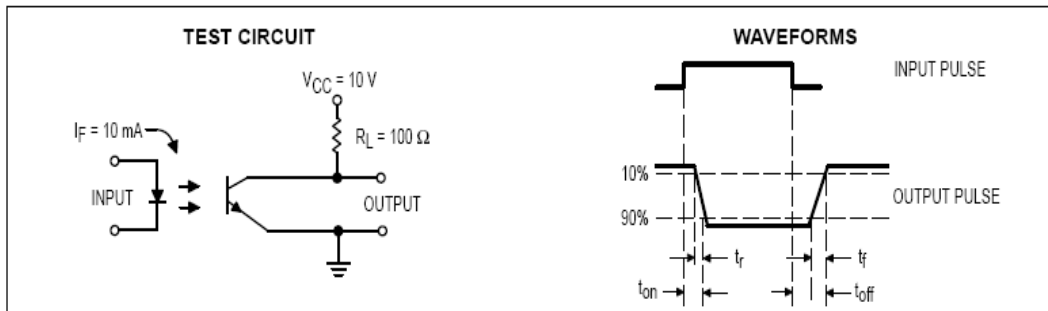
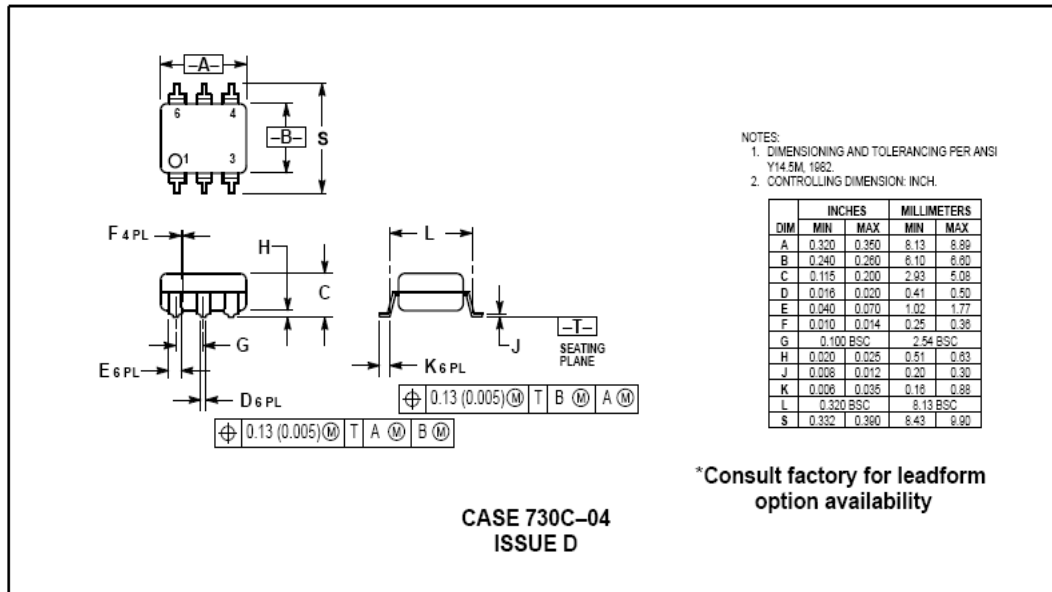
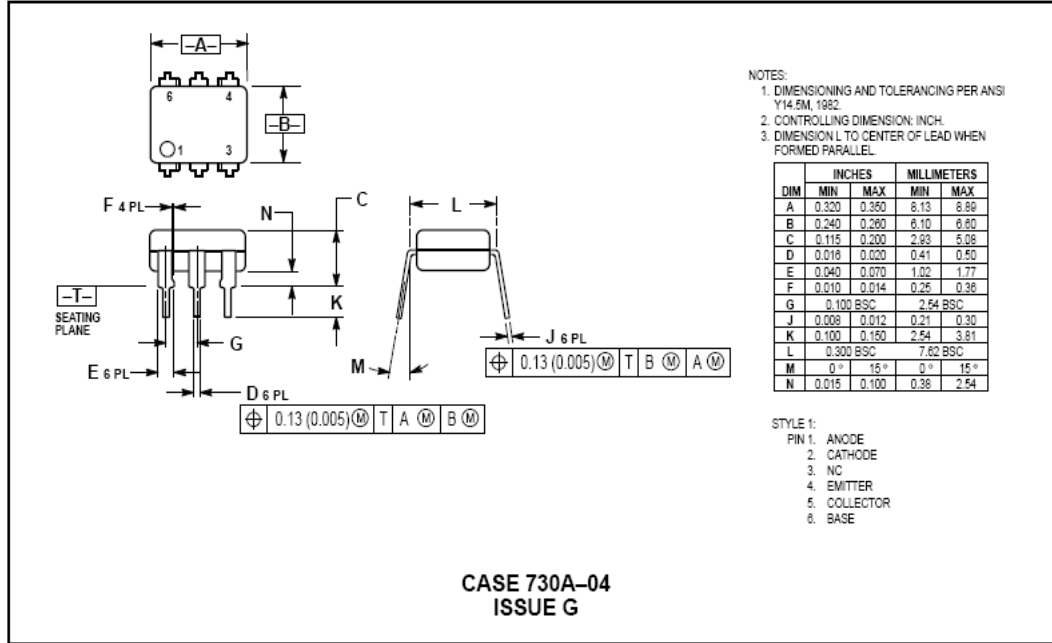


Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

PACKAGE DIMENSIONS



HIGH-ACCURACY MINIATURE UNIVERSAL LOAD CELLS

2" DIAMETER, DUAL STUD MOUNT STYLE

LC203/LC213 Series

LC203 (Cable Style)
LC213 (Connector Style)
Tension/Compression
Calibrated in Tension
0-25 lb to 0-10,000 lb
0-11 kg to 0-4537 kg

1 Newton = 0.2248 lb
1 daNewton = 10 Newtons
1 lb = 454 g
1 t = 1000 kg = 2204 lb

All Models
\$575



- ✓ FM Intrinsically Safe
- ✓ 0.25% Interchangeability for Scale Applications
- ✓ Hermetically Sealed
- ✓ Miniature Package for Test Stands and Difficult Locations
- ✓ Heavy-Duty Construction
- ✓ 5-Point Calibration

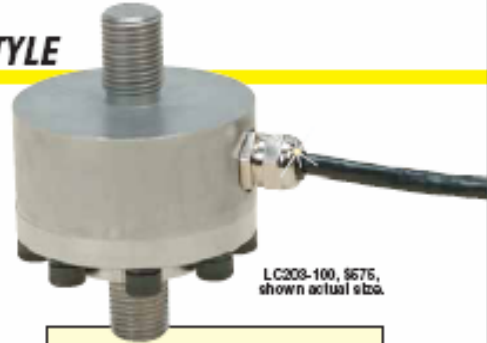
OMEGA's LC203 Series comprises high-accuracy, miniature, low-profile industrial load cells that come with a stud at each end for easy in-line mounting. The tough, corrosion-resistant steel construction and high-accuracy strain gages plus FM Intrinsically Safe rating make them suitable for most industrial weighing applications.

SPECIFICATIONS

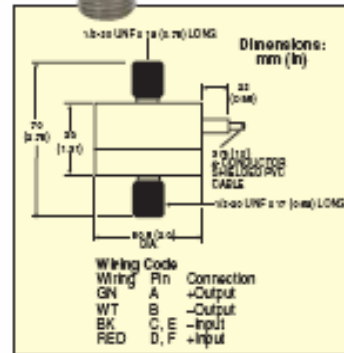
Excitation: 10 Vdc, 15 Vdc max
Output: 2 mV/V ±0.25%
5-Point Calibration (In Tension): 0%, 50%, 100%, 50%, 0%
Linearity: ±0.15% FSO
Hysteresis: ±0.1% FSO
Repeatability: ±0.05% FSO
Zero Balance: ±2% FSO
Deflection: 0.025 to 0.075 mm (0.001 to 0.003")
Agency Approvals:
FM I&II, III, IV, C/DEFG (standard)



Protection Class: IP65
Operating Temp Range: -45 to 107°C (-50 to 225°F)
Compensated Temp Range: 16 to 71°C (60 to 160°F)
Thermal Effects:
Zero: 0.006% FSO/°C
Span: 0.009% FSO/°C
Safe Overload: 150% of capacity
Ultimate Overload: 300% of capacity
Input Resistance: 360 Ω minimum
Output Resistance: 350 ±10 Ω
Construction: Stainless steel
Electrical: 3 m (10') 4-conductor PVC shielded cable
LC213 Mating Connector: PT8F10-8S, \$26.50 (not included)



LC203-100, \$675, shown actual size.



MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!

To Order (Specify Model Number)					
CAPACITY		MODEL NO.		PRICE	COMPATIBLE METERS*
lb	kg	CABLE	CONNECTOR		
25	11	LC203-25	LC213-25	\$575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
50	23	LC203-50	LC213-50	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
100	45	LC203-100	LC213-100	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
200	91	LC203-200	LC213-200	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
300	136	LC203-300	LC213-300	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
500	227	LC203-500	LC213-500	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
1000	455	LC203-1K	LC213-1K	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
2000	909	LC203-2K	LC213-2K	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
2500	1134	LC203-2.5K	LC213-2.5K	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
5000	2269	LC203-5K	LC213-5K	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
8000	3630	LC203-8K	LC213-8K	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S
10,000	4537	LC203-10K	LC213-10K	575	DPIS, CP41-S, DP25B-S

Comes with 5-point NIST-traceable calibration.
* See section D for compatible meters. DPIS meters suitable for one direction measurement only.
Ordering Example: LC203-500, 500 lb capacity cable style, dual stud mount load cell, \$575.
LC213-2K, 2000 lb capacity connector style, dual stud mount load cell, \$575. PT8F10-8S, mating connector, \$26.50.

ACCESSORIES

MODEL NO.	PRICE	DESCRIPTION
REC-012F	\$45	Rod end
ME-1746	100	Reference Book: Handbook of Machinery Dynamics

Anexo A. 13 Transistor Bipolar 2N2222.

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

APPLICATIONS

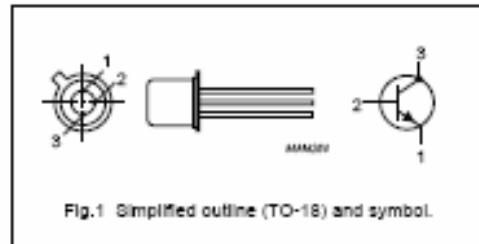
- Linear amplification and switching.

DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.
PNP complement: 2N2907A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case



QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage 2N2222 2N2222A	open emitter	–	60	V
			–	75	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage 2N2222 2N2222A	open base	–	30	V
			–	40	V
I_C	collector current (DC)		–	800	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	–	500	mW
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	–	
f_T	transition frequency 2N2222 2N2222A	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	250	–	MHz
			300	–	MHz
t_{off}	turn-off time	$I_{Csat} = 150\text{ mA}; I_{Bas} = 15\text{ mA}; I_{Bsat} = -15\text{ mA}$	–	250	ns

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter	–	60	V
	2N2222 2N2222A		–	75	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base	–	30	V
	2N2222 2N2222A		–	40	V
V_{EB0}	emitter-base voltage	open collector	–	5	V
	2N2222 2N2222A		–	6	V
I_C	collector current (DC)		–	800	mA
I_{CM}	peak collector current		–	800	mA
I_{BM}	peak base current		–	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	500	mW
		$T_{case} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	1.2	W
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$
T_J	junction temperature		–	200	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$

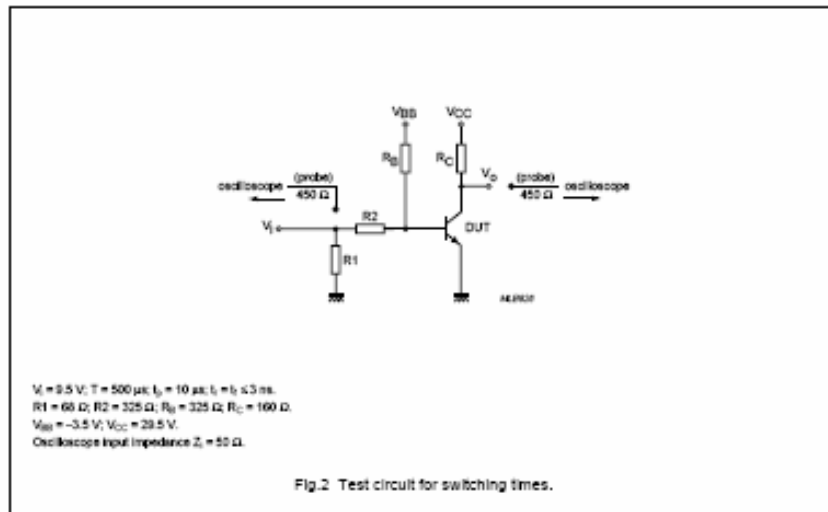
THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient	In free air	350	K/W
$R_{th(j-c)}$	thermal resistance from junction to case		146	K/W

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
Switching times (between 10% and 90% levels); see Fig. 2					
t_{on}	turn-on time	$I_{C(on)} = 150\text{ mA}$; $I_{B(on)} = 15\text{ mA}$; $I_{B(off)} = -15\text{ mA}$	–	35	ns
t_d	delay time		–	10	ns
t_r	rise time		–	25	ns
t_{off}	turn-off time		–	250	ns
t_s	storage time		–	200	ns
t_f	fall time		–	50	ns

Note

1. Pulse test: $t_p \leq 300\text{ }\mu\text{s}$; $\delta \leq 0.02$.



NPN switching transistors

2N2222, 2N2222A

CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current 2N2222	$I_B = 0; V_{CB} = 50\text{ V}$	–	10	nA
		$I_B = 0; V_{CB} = 50\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	μA
I_{CBO}	collector cut-off current 2N2222A	$I_B = 0; V_{CB} = 60\text{ V}$	–	10	nA
		$I_B = 0; V_{CB} = 60\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 3\text{ V}$	–	10	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 0.1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	35	–	
		$I_C = 1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	50	–	
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}; \text{note 1}$	50	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	100	300	
h_{FE}	DC current gain 2N2222A	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; T_{amb} = -55\text{ }^\circ\text{C}$	35	–	
h_{FE}	DC current gain 2N2222 2N2222A	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	30	–	
			40	–	
$V_{CE(sat)}$	collector-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	400	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.5	V
$V_{CE(sat)}$	collector-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	300	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1	V
$V_{BE(sat)}$	base-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.3	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2.6	V
$V_{BE(sat)}$	base-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	0.6	1.2	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2	V
C_C	collector capacitance	$I_B = I_C = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	8	pF
C_E	emitter capacitance 2N2222A	$I_C = I_E = 10; V_{EB} = 500\text{ mV}; f = 1\text{ MHz}$	–	25	pF
f_T	transition frequency 2N2222 2N2222A	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	250	–	MHz
			300	–	MHz
F	noise figure 2N2222A	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V}; R_B = 2\text{ k}\Omega;$ $f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$	–	4	dB

ANEXO B. NORMAS ASTM

En este anexo se presentan partes de las normas internacionales de **American Society for Testing and Materials ASTM**, investigadas y tenidas en cuenta para la elaboración de este Proyecto de Grado.

Anexo B. 1 NORMA ASTM 4-99 Standard practices for Force Verification of Testing Machine



Designation: E 4 – 99

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

American Association State
Highway and Transportation Officials Standards
AASHTO No. T67

Standard Practices for Force Verification of Testing Machines¹

This standard is issued under the fixed designation E 4; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These practices cover procedures for the force verification, by means of standard calibration devices, of tension or compression, or both, static or quasi-static testing machines (which may, or may not, have force-indicating systems). These practices are not intended to be complete purchase specifications for testing machines. Testing machines may be verified by one of the three following methods or combination thereof:

- 1.1.1 Use of standard weights,
- 1.1.2 Use of equal-arm balances and standard weights, or
- 1.1.3 Use of elastic calibration devices.

NOTE 1—These practices do not cover the verification of all types of testing machines designed to measure forces, for example, the constant-rate-of-loading type which operates on the inclined-plane principle. This type of machine may be verified as directed in the applicable appendix of Specification D 76.

1.2 The procedures of 1.1.1-1.1.3 apply to the verification of the force-indicating systems associated with the testing machine, such as a scale, dial, marked or unmarked recorder chart, digital display, etc. *In all cases the buyer/owner/user must designate the force-indicating system(s) to be verified and included in the report.*

1.3 Since conversion factors are not required in this practice, either inch-pound units, SI units, or metric values can be used as the standard.

1.4 Forces indicated on displays/printouts of testing machine data systems—be they instantaneous, delayed, stored, or retransmitted—which are verified with provisions of 1.1.1, 1.1.2, or 1.1.3, and are within the $\pm 1\%$ accuracy requirement, comply with Practices E 4.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles²
- E 74 Practice for Calibration of Force Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines³
- E 467 Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Loads on Displacements in an Axial Load Fatigue Testing System³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *testing machine (force-measuring type)*—a mechanical device for applying a force to a specimen.

3.1.1.1 *portable testing machine (force-measuring type)*—a device specifically designed to be moved from place to place and for applying a force (load) to a specimen.

3.1.2 *tension testing machine, CRT (constant-rate-of-traverse)*—a mechanical device for applying a load (force) to a specimen and in which the force is measured by means of a pendulum.

3.1.3 *force*—in the case of testing machines, a force measured in units such as pound-force, newton, or kilogram-force.

3.1.3.1 *Discussion*—The pound-force is that force which acting on a 1-lb mass will give to it an acceleration of 9.80665 m/s² (32.1740 ft/s²). The newton is that force which acting on a 1-kg mass will give to it an acceleration of 1 m/s².

3.1.4 *accuracy*—the specified permissible variation from the correct value. A testing machine is said to be accurate if the indicated force is within the specified permissible variation from the actual force.

3.1.4.1 *Discussion*—In these methods the word “accurate” applied to a testing machine is used without numerical values, for example, “An accurate testing machine was used for the investigation.” The accuracy of a testing machine should not be confused with sensitivity. For example, a testing machine might be very sensitive; that is, it might indicate quickly and definitely small changes in force, but nevertheless, be very

¹ These practices are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.01 on Calibration of Mechanical Testing Machines and Apparatus.

Current edition approved Jan. 10, 1999. Published April 1999. Originally published as E 4–23 T. Last previous edition E 4–98.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

inaccurate. On the other hand, the accuracy of the results is in general limited by the sensitivity.

3.1.5 *error (or the deviation from the correct value)*—in the case of a testing machine, the difference obtained by subtracting the force indicated by the calibration device from the force indicated by the testing machine.

3.1.5.1 *Discussion*—The word “error” shall be used with numerical values, for example, “At a force of 30 000 lbf (133 kN), the error of the testing machine was + 15 lbf (67 N).”

3.1.6 *percent error*—in the case of a testing machine, the ratio, expressed as a percent, of the error to the correct value of the applied force.

3.1.6.1 *Discussion*—The test force, as indicated by the testing machine, and the applied force, as computed from the readings of the verification device, shall be recorded at each test point. The error, E , and the percent error, E_p , shall be calculated from these data as follows:

$$E = A - B \quad (1)$$

$$E_p = [(A - B)/B] \times 100$$

where:

- A = force indicated by machine being verified, lbf (or N), and
 B = correct value of the applied force, lbf (or N), as determined by the calibration device.

3.1.7 *correction*—in the case of a testing machine, the difference obtained by subtracting the indicated force from the correct value of the applied force.

3.1.8 *permissible variation (or tolerance)*—in the case of testing machines, the maximum allowable error in the value of the quantity indicated.

3.1.8.1 *Discussion*—It is convenient to express permissible variation in terms of percentage of error. The numerical value of the permissible variation for a testing machine is so stated hereafter in these practices.

3.1.9 *capacity range*—in the case of testing machines, the range of forces for which it is designed. Some testing machines have more than one capacity range, that is, multiple ranges.

3.1.10 *verified range of forces*—in the case of testing machines, the range of indicated forces for which the testing machine gives results within the permissible variations specified.

3.1.10.1 *calibration, n—in the case of force testing machines*, the process of comparing the force indication of the machine under test to that of a standard, making adjustments as needed to meet error requirements.

3.1.10.2 *verification, n—in the case of force testing machines*, the process of comparing the force indication of the machine under test to that of a standard and reporting results, without making adjustments.

3.1.11 *elastic calibration device*—a device for use in verifying the force readings of a testing machine consisting of an elastic member(s) to which forces may be applied, combined with a mechanism or device for indicating the magnitude (or a quantity proportional to the magnitude) of deformation under force.

3.1.12 *resolution of the force indicator*—smallest change of force that can be estimated or ascertained on the force

indicating apparatus of the testing machine, at any applied force. Appendix X1. describes a method for determining resolution.

3.1.12.1 *resolution of analog type force indicators (scales, dials, recorders, etc.)*—the resolution is the smallest change in force indicated by a displacement of a pointer, or pen line. The resolution is calculated by multiplying the force corresponding to one graduation by the ratio of the width of the pointer or pen line to the center to center distance between two adjacent graduation marks. The typical ratios used are 1:1, 1:2, 1:5, or 1:10. A spacing of 0.10 in. (2.5 mm) or greater is recommended for the ratio of 1:10. A ratio less than 1:10 should not be used.

(I) *Discussion*—If a force indicating dial has graduations spaced every 0.080 in. (2.0 mm), the width of the pointer is approximately 0.040 in. (1.0 mm), and one graduation represent 5 lbf (25N). The ratio used would be 1:2 and the resolution would be equal to 2-1/2 lbf (12-1/2 N).

3.1.12.2 *resolution of digital type force indicators (numeric, displays, printouts, etc.)*—the resolution is the smallest change in force that can be displayed on the force indicator, at any applied force.

(I) *Discussion*—A single digit or a combination of digits may be the smallest change in force that can be indicated.

3.1.13 If the force indication, for either type of force indicator, fluctuates by more than twice the resolution, as described in 3.1.12.1 or 3.1.12.2, the resolution, expressed as a force, shall be equal to one-half the range of the fluctuation.

4. Significance and Use

4.1 Testing machines that apply and indicate force are used in many industries, in many ways. They may be used in a research laboratory to measure material properties, and in a production line to qualify a product for shipment. No matter what the end use of the machine may be, it is necessary for users to know the amount of force that is applied and indicated, and that the accuracy of the force is traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST), formerly NBS. Practices E 4 provides a procedure to verify these machines, in order that the indicated forces may be traceable. A key element to this NIST traceability is that the devices used in the verification have known force characteristics, and have been calibrated in accordance with Practice E 74.

4.2 The procedures in Practices E 4 may be used by those using, manufacturing, and providing calibration service for testing machines and related instrumentation.

5. Calibration Devices

5.1 When verifying testing machines, use calibration devices only over their Class A force ranges as determined by Practice E 74.

6. Advantages and Limitations of Methods

6.1 *Verification by Standard Weights*—Verification by the direct application of standard weights to the weighing mechanism of the testing machine, where practicable, is the most accurate method. Its limitations are: (1) the small range of forces that can be verified, (2) the nonportability of any large amount of standards weights, and (3) its nonapplicability to horizontal testing machines or vertical testing machines having

E 4

weighing mechanisms that are not designed to be actuated by a downward force.

6.2 Verification by Equal-Arm Balance and Standard Weights—The second method of verification of testing machines involves measurement of the force by means of an equal-arm balance and standard weights. This method is limited to a still smaller range of forces than the foregoing method, and is generally applicable only to certain types of hardness testing machines in which the force is applied through an internal lever system.

6.3 Verification by Elastic Calibration Devices—The third method of verification of testing machines involves measurement of the elastic strain or deflection under force of a ring, loop, tension or compression bar, or other elastic device. The elastic calibration device is free from the limitations referred to in 6.1 and 6.2.

7. System Verification

7.1 A testing machine shall be verified as a system with the force sensing and indicating devices (see 1.2 and 1.4) in place and operating as in actual use.

7.2 System verification is invalid if the devices are removed and checked independently of the testing machine.

7.3 A Practices E 4 Verification consists of at least two verification runs of the forces contained in the force range(s) selected. See 10.1 and 10.3.

7.3.1 If the initial verification run produces values within the Practices E 4 requirements of Section 18, the data may be used "as found" for run one of the two required for the new verification report.

7.3.2 If the initial verification run produces any values which are outside of the Practices E 4 requirements, the "as found" data may be reported and may be used in accordance with applicable quality control programs. Calibration adjustments shall be made to the force indicator system(s), after which the two required verification runs shall be conducted and reported in the new verification report and certificate.

7.3.3 Calibration adjustments may be made to improve the accuracy of the system. They shall be followed by the two required verification runs, and issuance of a new verification report and certificate.

8. Gravity and Air Buoyancy Corrections

8.1 In the verification of testing machines, where standard weights are used for applying forces directly or through lever or balance-arm systems, correct the force for the local value of gravity and for air buoyancy.

8.2 Calculate the force exerted by a weight in air as follows:

$$\text{Force} = \frac{Mg}{9.80665} \left(1 - \frac{d}{D} \right) \quad (2)$$

where:

M = mass of the weight,

g = local acceleration due to gravity, m/s^2 ,

d = air density (0.0012 Mg/m^3), and

D = density of the weight in the same units as d .

For use in verifying testing machines, corrections for local values of gravity and air buoyancy can be made with sufficient accuracy using the multiplying factors from Table 1.

NOTE 2—If M , the mass of the weight is in pounds, the force will be in pounds-force units. If M is in kilograms, the force will be in kilogram-force units. These customary force units are related to the newton, the SI unit of force, by the following relationships:

$$1 \text{ lbf} = 4.448222 \text{ N} \quad 1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N (exact)} \quad (3)$$

9. Application of Force

9.1 In the verification of a testing machine, approach the force by increasing the force from a lower force.

NOTE 3—For any testing machine the errors observed at corresponding forces taken first by increasing the force to any given test force and then by decreasing the force to that test force, may not agree. Testing machines are usually used under increasing forces, but if a testing machine is to be used under decreasing forces, it should be calibrated under decreasing forces as well as under increasing forces.

9.2 Testing machines that contain a single test area and possess a bidirectional loading and weighing system must be verified separately in both modes of weighing.

9.3 High-speed machines used for static testing must be verified in accordance with Practices E 4.

NOTE 4—**Caution:** Practices E 4 verification values are not to be assumed valid for high-speed or dynamic testing applications (see Practice E 467).

NOTE 5—The error of a testing machine of the hydraulic-ram type, in which the ram hydraulic pressure is measured, may vary significantly with ram position. To the extent possible such machines should be verified at the ram positions used.

10. Selection of Verification Forces

10.1 For any force range, verify the testing machine by applying at least five test forces, at least two times, with the difference between any two successive force applications being no larger than one-third the difference between the selected maximum and minimum test forces. Minimum may be one-tenth the maximum force. Applied forces on second run are to

TABLE 1 Unit Force Exerted by a Unit Mass in Air at Various Latitudes

Latitude, °	Elevation Above Sea Level, ft(m)					
	-100 to 500 (-30.5 to 152)	500 to 1500 (152 to 457)	1500 to 2500 (457 to 762)	2500 to 3500 (762 to 1067)	3500 to 4500 (1067 to 1372)	4500 to 5500 (1372 to 1676)
20	0.9978	0.9977	0.9976	0.9975	0.9975	0.9974
25	0.9981	0.9980	0.9979	0.9979	0.9978	0.9977
30	0.9985	0.9984	0.9983	0.9982	0.9982	0.9981
35	0.9989	0.9988	0.9987	0.9987	0.9986	0.9985
40	0.9993	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9989
45	0.9998	0.9997	0.9996	0.9996	0.9995	0.9994
50	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9999
55	1.0007	1.0006	1.0005	1.0005	1.0004	1.0003

Anexo B. 2 NORMA ASTM E 8-04 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.



Designation: E 8 – 04

An American National Standard
American Association State
Highway and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: T68

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 8; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

NOTE 1—A complete metric companion to Test Methods E 8 has been developed, therefore, no metric equivalents are shown in these test methods. Committee E28 was granted an exception in 1997 by the Committee on Standards to maintain E8 and E8M as separate companion standards rather than combining standards as recommended by the Form and Style Manual.

NOTE 2—Gage lengths in these test methods are required to be 4D for most round specimens. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

NOTE 3—Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A 370 and Test Methods B 557.

NOTE 4—Room temperature shall be considered to be 50 to 100°F unless otherwise specified.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

A 356/A 356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved April 1, 2004. Published May 2004. Originally approved in 1924. Last previous edition approved 2003 as E 8 – 03.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
B 557 Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products
E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
E 8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]
E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers
E 208 Test Method for Conducting Drop-Weight Test to Determine Nil-Ductility Transition Temperature of Ferritic Steels
E 345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil
E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E 6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods of tension testing. Additional terms being defined are as follows:

3.1.1 *discontinuous yielding*—in a uniaxial test, a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding. (The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.)

3.1.2 *lower yield strength, LYS* [FL^{-2}]*—*in a uniaxial test, the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.3 *upper yield strength, UYS* [FL^{-2}]*—*in a uniaxial test, the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding at or near the onset of plastic deformation.

3.1.4 *yield point elongation, YPE*—in a uniaxial test, the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening. If the

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of inflection. If there is no point at or near the onset of yielding at which the slope reaches zero, the material has 0 % YPE.

3.1.5 *uniform elongation, El_w , [%]*—the elongation determined at the maximum force sustained by the test piece just prior to necking or fracture, or both.

3.1.5.1 *Discussion*—Uniform elongation includes both elastic and plastic elongation.

4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments. The test methods have been used extensively in the trade for this purpose.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E 4. The forces used in determining tensile strength and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E 4.

5.2 *Gripping Devices:*

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured force applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gage length, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine. Any departure from this requirement may introduce bending stresses that are not included in the usual stress computation (force divided by cross-sectional area).

NOTE 5—The effect of this eccentric force application may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard ½-in. diameter specimen, the stress increase is 1.5 percentage points for each 0.001 in. of eccentricity. This error increases to 2.24 percentage points/0.001 in. for a 0.350-in. diameter specimen and to 3.17 percentage points/0.001 in. for a 0.250-in. diameter specimen.

NOTE 6—Alignment methods are given in Practice E 1012.

5.2.2 *Wedge Grips*—Testing machines usually are equipped with wedge grips. These wedge grips generally furnish a satisfactory means of gripping long specimens of ductile metal and flat plate test specimens such as those shown in Fig. 1. If, however, for any reason, one grip of a pair advances farther than the other as the grips tighten, an undesirable bending stress may be introduced. When liners are used behind the wedges, they must be of the same thickness and their faces must be flat and parallel. For best results, the wedges should be

supported over their entire lengths by the heads of the testing machine. This requires that liners of several thicknesses be available to cover the range of specimen thickness. For proper gripping, it is desirable that the entire length of the serrated face of each wedge be in contact with the specimen. Proper alignment of wedge grips and liners is illustrated in Fig. 2. For short specimens and for specimens of many materials it is generally necessary to use machined test specimens and to use a special means of gripping to ensure that the specimens, when under load, shall be as nearly as possible in uniformly distributed pure axial tension (see 5.2.3, 5.2.4, and 5.2.5).

5.2.3 *Grips for Threaded and Shouldered Specimens and Brittle Materials*—A schematic diagram of a gripping device for threaded-end specimens is shown in Fig. 3, while Fig. 4 shows a device for gripping specimens with shouldered ends. Both of these gripping devices should be attached to the heads of the testing machine through properly lubricated spherical-seated bearings. The distance between spherical bearings should be as great as feasible.

5.2.4 *Grips for Sheet Materials*—The self-adjusting grips shown in Fig. 5 have proven satisfactory for testing sheet materials that cannot be tested satisfactorily in the usual type of wedge grips.

5.2.5 *Grips for Wire*—Grips of either the wedge or snubbing types as shown in Fig. 5 and Fig. 6 or flat wedge grips may be used.

5.3 *Dimension-Measuring Devices*—Micrometers and other devices used for measuring linear dimensions shall be accurate and precise to at least one half the smallest unit to which the individual dimension is required to be measured.

5.4 *Extensometers*—Extensometers used in tension testing shall conform to the requirements of Practice E 83 for the classifications specified by the procedure section of this test method. Extensometers shall be used and verified to include the strains corresponding to the yield strength and elongation at fracture (if determined).

5.4.1 Extensometers with gage lengths equal to or shorter than the nominal gage length of the specimen (dimension shown as “G-Gage Length” in the accompanying figures) may be used to determine the yield behavior. For specimens without a reduced section (for example, full cross sectional area specimens of wire, rod, or bar), the extensometer gage length for the determination of yield behavior shall not exceed 80 % of the distance between grips. For measuring elongation at fracture with an appropriate extensometer, the gage length of the extensometer shall be equal to the nominal gage length required for the specimen being tested.

6. Test Specimens

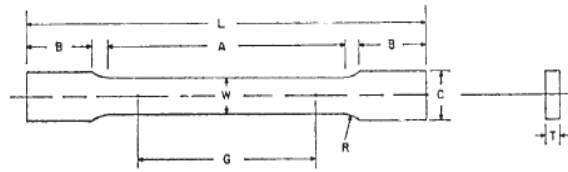
6.1 *General:*

6.1.1 *Specimen Size*—Test specimens shall be either substantially full size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

6.1.2 *Location*—Unless otherwise specified, the axis of the test specimen shall be located within the parent material as follows:

6.1.2.1 At the center for products 1½ in. or less in thickness, diameter, or distance between flats.

ASTM E 8 - 04



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 1/2-in. Wide	Sheet-Type, 1/2-in. Wide	1/4-in. Wide
	in.	in.	in.
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.005	1.000 ± 0.003
W—Width (Note 3 and Note 4)	1 1/2 + 1/8, - 1/4	0.500 ± 0.010	0.250 ± 0.005
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	1	1/2	1/4
L—Over-all length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	18	8	4
A—Length of reduced section, min	9	2 1/4	1 1/4
B—Length of grip section, (Note 8)	3	2	1 1/4
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	2	3/4	3/8

NOTE 1—For the 1 1/2-in. wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 1 in. apart, or one or more pairs of punch marks 8 in. apart may be used.

NOTE 2—When elongation measurements of 1 1/2-in. wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 2 1/4 in. may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004, 0.002 or 0.001 in., respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 0.015, 0.005, or 0.003 in., respectively, larger than the width at the center.

NOTE 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used.

NOTE 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 1 1/2-in. wide specimens shall be 3/16 in. Maximum thickness of 1/2-in. and 1/4-in. wide specimens shall be 3/4 in. and 1/4 in., respectively.

NOTE 6—For the 1 1/2-in. wide specimen, a 1/2-in. minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 100 000 psi in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

NOTE 7—The dimension shown is suggested as a minimum. In determining the minimum length, the grips must not extend in to the transition section between Dimensions A and B, see Note 9.

NOTE 8—To aid in obtaining axial force application during testing of 1/4-in. wide specimens, the over-all length should be as large as the material will permit, up to 8.00 in.

NOTE 9—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of 1/2-in. wide specimens is over 3/8 in., longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10—For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 0.10, 0.05 and 0.005 in., respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the 1/2-in. wide specimen shall be symmetrical within 0.01 in.

NOTE 11—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 0.05 in., and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.10 in.

NOTE 12—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2W from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. In acceptance testing, if the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 1 Rectangular Tension Test Specimens

6.1.2.2 Midway from the center to the surface for products over 1 1/2 in. in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.3 *Specimen Machining*—Improperly prepared test specimens often are the reason for unsatisfactory and incorrect test results. It is important, therefore, that care be exercised in the preparation of specimens, particularly in the machining, to maximize precision and minimize bias in test results.

6.1.3.1 The reduced sections of prepared specimens should be free of cold work, notches, chatter marks, grooves, gouges, burrs, rough surfaces or edges, overheating, or any other condition which can deleteriously affect the properties to be measured.

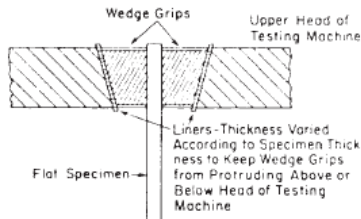


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

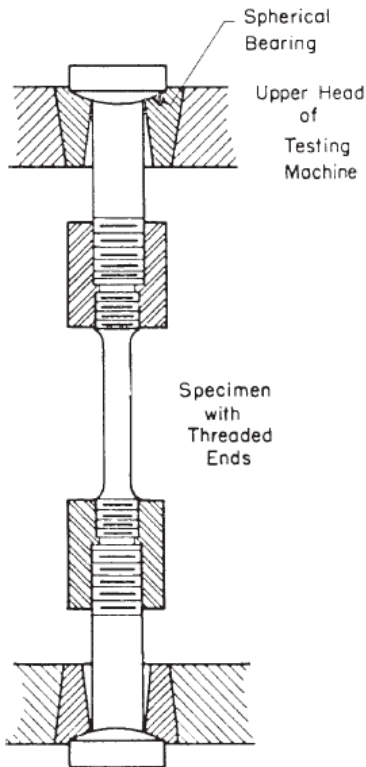


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

NOTE 7—Punching or blanking of the reduced section may produce significant cold work or shear burrs, or both, along the edges which should be removed by machining.

6.1.3.2 Within the reduced section of rectangular specimens, edges or corners should not be ground or abraded in a manner which could cause the actual cross-sectional area of the specimen to be significantly different from the calculated area.

6.1.3.3 For brittle materials, large radius fillets at the ends of the gage length should be used.

6.1.3.4 The cross-sectional area of the specimen should be smallest at the center of the reduced section to ensure fracture within the gage length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens described in the following sections.

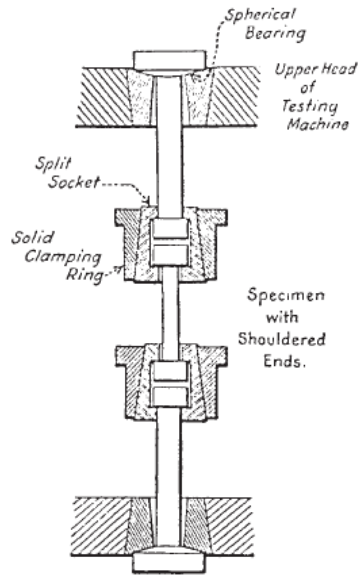


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

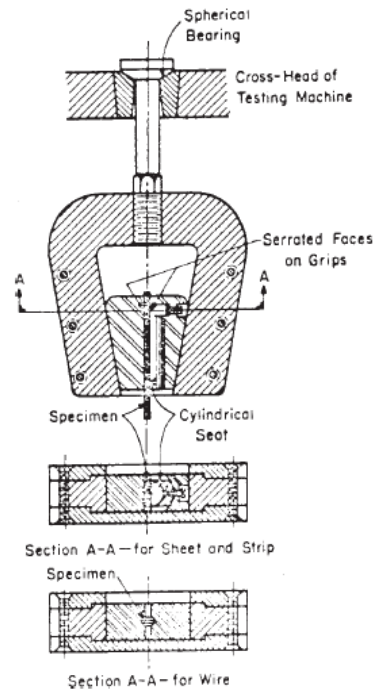
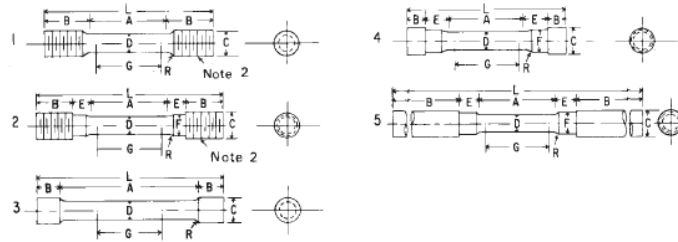


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

6.1.4 *Specimen Surface Finish*—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface

E 8 - 04



	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.				
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	3/8	3/8	1/16	3/8	3/8
A—Length of reduced section	2 1/4, min	2 1/4, min	4, approximately	2 1/4, min	2 1/4, min
L—Over-all length, approximate	5	5 1/2	5 1/2	4 3/4	9 1/2
B—Length of end section (Note 3)	1 3/8, approximately	1, approximately	3/4, approximately	1/2, approximately	3, min
C—Diameter of end section	3/4	3/4	2 3/32	7/8	3/4
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	...	3/8	...	3/4	3/8
F—Diameter of shoulder	...	5/8	...	5/8	1 5/16

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.005 in. larger in diameter than the center.

NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.

NOTE 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

not less than 1/8 in., shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 0.188 in. between flats may be turned to a round having a diameter no smaller than 0.010 in. less than the original distance between flats.

NOTE 10—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened surfaces are parallel and that the two parallel surfaces on the same side of the axis of the test specimen lie in the same plane.

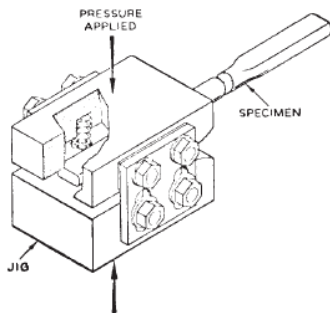


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens

6.6.2.2 For rod and bar, the largest practical size of round specimen as described in 6.4 may be used in place of a test specimen of full cross section. Unless otherwise specified in the product specification, specimens shall be parallel to the direction of rolling or extrusion.

6.7 *Specimens for Rectangular Bar*—In testing rectangular bar one of the following types of specimens shall be used:

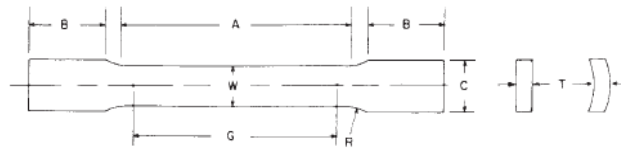
6.7.1 *Full Cross Section*—It is permissible to reduce the width of the specimen throughout the test section with abrasive cloth or paper, or by machining sufficiently to facilitate fracture within the gage marks, but in no case shall the reduced width be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced section not less than 3/4 in. in length shall be parallel to each other and to the longitudinal axis of the specimen within 0.002 in. Fillets, preferably with a radius of 3/8 in. but not less than 1/8 in. shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bar of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be machined or cut and smoothed to ensure failure within the desired section. The reduced width shall be not less than the original bar thickness. Also, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 may be used.

6.8 *Shapes, Structural and Other*—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 *Specimens for Pipe and Tube* (Note 11):

ASTM E 8 - 04



	Dimensions						
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	Specimen 6	Specimen 7
	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.005	4.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	4.000 ± 0.005
W—Width (Note 1)	0.500 ± 0.010	1½ + ⅛ - ¼	1½ + ⅛ - ¼	0.750 ± 0.031	0.750 ± 0.031	1.000 ± 0.062	1.000 ± 0.062
T—Thickness	measured thickness of specimen						
R—Radius of fillet, min	½	1	1	1	1	1	1
A—Length of reduced section, min	2¼	2¼	9	2¼	4½	2¼	½
B—Length of grip section, min (Note 2)	3	3	3	3	3	3	3
C—Width of grip section, approximate (Note 3)	1¼	2	2	1	1	1½	1½

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.002 in. for specimens 1 and 4, and not more than 0.005 in. for specimens 2, 3, 5, 6, and 7. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 0.005 in. greater than the width at the center for 2-in. gage length specimens, not more than 0.008 in. greater than the width at the center for 4-in. gage length specimens, and not more than 0.015 in. greater than the width at the center for 8-in. gage length specimens.

NOTE 2—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 3—The ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.05 in. for specimens 1, 4, and 5, and 0.10 in. for specimens 2, 3, 6, and 7.

NOTE 4—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 0.05 in., and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.10 in.

NOTE 5—For circular segments, the cross-sectional area may be calculated by multiplying W and T . If the ratio of the dimension W to the diameter of the tubular section is larger than about ⅓, the error in using this method to calculate the cross-sectional area may be appreciable. In this case, the exact equation (see section 7.2.3) must be used to determine the area.

NOTE 6—Specimens with G/W less than 4 should not be used for determination of elongation.

NOTE 7—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than $2W$ from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. If the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 13 Tension Test Specimens for Large-Diameter Tubular Products

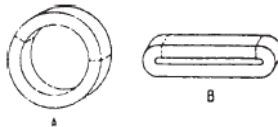


FIG. 14 Location of Transverse Tension Test Specimen in Ring Cut from Tubular Products

specimen (Fig. 19) in the heat treated condition will have an ultimate tensile strength of 50 % to 85 % of that determined in a machined round tensile test specimen (Fig. 20) of like composition and processing.

7. Procedures

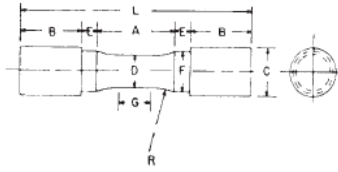
7.1 Preparation of the Test Machine— Upon startup, or following a prolonged period of machine inactivity, the test machine should be exercised or warmed up to normal operating temperatures to minimize errors that may result from transient conditions.

7.2 Measurement of Dimensions of Test Specimens:

7.2.1 To determine the cross-sectional area of a test specimen, measure the dimensions of the cross section at the center of the reduced section. For referee testing of specimens under ⅜ in. in their least dimension, measure the dimensions where the least cross-sectional area is found. Measure and record the cross-sectional dimensions of tension test specimens 0.200 in. and over to the nearest 0.001 in.; the cross-sectional dimensions from 0.100 in. but less than 0.200 in., to the nearest 0.0005 in.; the cross-sectional dimensions from 0.020 in. but less than 0.100 in., to the nearest 0.0001 in.; and when practical, the cross-sectional dimensions less than 0.020 in., to at least the nearest 1 % but in all cases to at least the nearest 0.0001 in.

NOTE 13—Accurate and precise measurement of specimen dimensions can be one of the most critical aspects of tension testing, depending on specimen geometry. See Appendix X2 for additional information.

NOTE 14—Rough surfaces due to the manufacturing process such as hot rolling, metallic coating, etc., may lead to inaccuracy of the computed areas greater than the measured dimensions would indicate. Therefore,



Dimensions	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3
	in.	in.	in.
G—Length of parallel section	Shall be equal to or greater than diameter <i>D</i>		
<i>D</i> —Diameter	0.500 ± 0.010	0.750 ± 0.015	1.25 ± 0.02
<i>R</i> —Radius of fillet, min	1	1	2
<i>A</i> —Length of reduced section, min	1¼	1½	2¼
<i>L</i> —Over-all length, min	3¾	4	6¾
<i>B</i> —Length of end section, approximate	1	1	1¾
<i>C</i> —Diameter of end section, approximate	¾	1½	1½
<i>E</i> —Length of shoulder, min	¼	¼	⅝
<i>F</i> —Diameter of shoulder	⅝ ± ¼	1¼ ± ¼	1½ ± ¼

NOTE 1—Note—The reduced section and shoulders (dimensions *A*, *D*, *E*, *F*, *G*, and *R*) shall be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the force can be axial. Commonly the ends are threaded and have the dimensions *B* and *C* given above.

FIG. 15 Standard Tension Test Specimen for Cast Iron

cross-sectional dimensions of test specimens with rough surfaces due to processing may be measured and recorded to the nearest 0.001 in.

NOTE 15—See X2.9 for cautionary information on measurements taken from coated metal products.

7.2.2 Determine the cross-sectional area of a full-size test specimen of uniform but nonsymmetrical cross section by determining the mass of a length not less than 20 times longer than the largest cross-sectional dimension.

7.2.2.1 Determine the weight to the nearest 0.5 % or less.

7.2.2.2 The cross-sectional area is equal to the mass of the specimen divided by the length and divided by the density of the material.

7.2.3 When using specimens of the type shown in Fig. 13 taken from tubes, the cross-sectional area shall be determined as follows:

If $D/W \leq 6$:

$$A = [(W/4) \times (D^2 - W^2)^{1/2}] + [(D^2/4) \times \arcsin(W/D)] - [(W/4) \times ((D - 2T)^2 - W^2)^{1/2}] - [((D - 2T)/2)^2 \times \arcsin(W/(D - 2T))] \quad (1)$$

where:

- A* = exact cross-sectional area, in.²,
 - W* = width of the specimen in the reduced section, in.,
 - D* = measured outside diameter of the tube, in., and
 - T* = measured wall thickness of the specimen, in.
- arcsin values to be in radians

If $D/W > 6$, the exact equation or the following equation may be used:

$$A = W \times T \quad (2)$$

where:

- A* = approximate cross-sectional area, in.²,
- W* = width of the specimen in the reduced section, in., and
- T* = measured wall thickness of the specimen, in.

NOTE 16—See X2.8 for cautionary information on measurements and calculations for specimens taken from large-diameter tubing.

7.3 Gage Length Marking of Test Specimens:

7.3.1 The gage length for the determination of elongation shall be in accordance with the product specifications for the material being tested. Gage marks shall be stamped lightly with a punch, scribed lightly with dividers or drawn with ink as preferred. For material that is sensitive to the effect of slight notches and for small specimens, the use of layout ink will aid in locating the original gage marks after fracture.

7.3.2 For materials where the specified elongation is 3 % or less, measure the original gage length to the nearest 0.002 in. prior to testing.

7.4 Zeroing of the Testing Machine:

7.4.1 The testing machine shall be set up in such a manner that zero force indication signifies a state of zero force on the specimen. Any force (or preload) imparted by the gripping of the specimen (see Note 17) must be indicated by the force measuring system unless the preload is physically removed prior to testing. Artificial methods of removing the preload on the specimen, such as taring it out by a zero adjust pot or removing it mathematically by software, are prohibited because these would affect the accuracy of the test results.

NOTE 17—Preloads generated by gripping of specimens may be either tensile or compressive in nature and may be the result of such things as:

- grip design
- malfunction of gripping apparatus (sticking, binding, etc.)
- excessive gripping force
- sensitivity of the control loop

NOTE 18—It is the operator's responsibility to verify that an observed preload is acceptable and to ensure that grips operate in a smooth manner. Unless otherwise specified, it is recommended that momentary (dynamic) forces due to gripping not exceed 20 % of the material's nominal yield strength and that static preloads not exceed 10 % of the material's nominal yield strength.

7.5 Gripping of the Test Specimen:

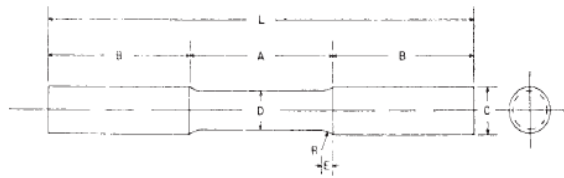
7.5.1 For specimens with reduced sections, gripping of the specimen shall be restricted to the grip section, because gripping in the reduced section or in the fillet can significantly affect test results.

7.6 Speed of Testing:

7.6.1 Speed of testing may be defined in terms of (a) rate of straining of the specimen, (b) rate of stressing of the specimen, (c) rate of separation of the two heads of the testing machine during a test, (d) the elapsed time for completing part or all of the test, or (e) free-running crosshead speed (rate of movement of the crosshead of the testing machine when not under load).

7.6.2 Specifying suitable numerical limits for speed and selection of the method are the responsibilities of the product committees. Suitable limits for speed of testing should be specified for materials for which the differences resulting from the use of different speeds are of such magnitude that the test results are unsatisfactory for determining the acceptability of the material. In such instances, depending upon the material

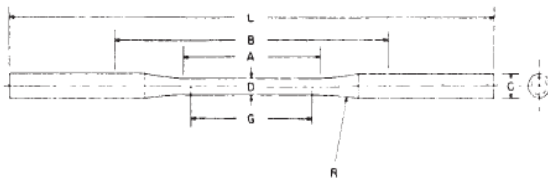
ASTM E 8 - 04



Dimensions

	in.
D—Diameter	5/8
R—Radius of fillet	5/16
A—Length of reduced section	2 1/2
L—Over-all length	7 1/2
B—Length of end section	2 1/2
C—Diameter of end section	3/4
E—Length of fillet	3/16

FIG. 17 Standard Tension Test Specimen for Malleable Iron



Dimensions

	in
G—Gage length	2.000 ± 0.005
D—Diameter (see Note)	0.250 ± 0.005
R—Radius of fillet, min	3
A—Length of reduced section, min	2 1/4
L—Over-all length, min	9
B—Distance between grips, min	4 1/2
C—Diameter of end section, approximate	3/8

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the end toward the center, with the ends not more than 0.005 in. larger in diameter than the center.

FIG. 18 Standard Tension Test Specimens for Die Castings

can be determined with a timing device by observing the time required to effect a known increment of strain.

7.6.2.2 *Rate of Stressing*—The allowable limits for rate of stressing shall be specified in pounds per square inch per minute. Many testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of the rate of stressing, but in the absence of such a device the average rate of stressing can be determined with a timing device by observing the time required to apply a known increment of stress.

7.6.2.3 *Rate of Separation of Heads During Tests*—The allowable limits for rate of separation of the heads of the testing machine, during a test, shall be specified in inches per inch of length of reduced section (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per minute. The limits for the rate of separation may be further qualified by specifying different limits for various types and sizes of specimens. Many testing machines are equipped with pacing or indicating

devices for the measurement and control of the rate of separation of the heads of the machine during a test, but in the absence of such a device the average rate of separation of the heads can be experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

7.6.2.4 *Elapsed Time*—The allowable limits for the elapsed time from the beginning of force application (or from some specified stress) to the instant of fracture, to the maximum force, or to some other stated stress, shall be specified in minutes or seconds. The elapsed time can be determined with a timing device.

7.6.2.5 *Free-Running Crosshead Speed*—The allowable limits for the rate of movement of the crosshead of the testing machine, with no force applied by the testing machine, shall be specified in inches per inch of length of reduced section (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per minute. The limits for the crosshead speed may be further qualified by specifying different limits for various types

recorded, the speed of the testing machine shall be set between 0.05 and 0.5 in./in. of the length of the reduced section (or distance between the grips for specimens not having a reduced section) per minute. Alternatively, an extensometer and strain rate indicator may be used to set the strain rate between 0.05 and 0.5 in./in./min.

NOTE 23—For materials with expected elongations less than or equal to 5 %, the speed of the testing machine may be maintained throughout the test at the speed used to determine yield properties.

NOTE 24—Tensile strength and elongation are sensitive to test speed for many materials (see Appendix X1) to the extent that variations within the range of test speeds given above can significantly affect results.

7.7 Determination of Yield Strength—Determine yield strength by any of the methods described in 7.7.1 to 7.7.4. Where extensometers are employed, use only those which are verified over a strain range in which the yield strength will be determined (see 5.4).

NOTE 25—For example, a verified strain range of 0.2 % to 2.0 % is appropriate for use in determining the yield strengths of many metals.

NOTE 26—Determination of yield behavior on materials which cannot support an appropriate extensometer (thin wire, for example) is problematic and outside the scope of this standard.

7.7.1 Offset Method—To determine the yield strength by the offset method, it is necessary to secure data (autographic or numerical) from which a stress-strain diagram may be drawn. Then on the stress-strain diagram (Fig. 21) lay off Om equal to the specified value of the offset, draw mn parallel to OA , and thus locate r , the intersection of mn with the stress-strain diagram (Note 32). In reporting values of yield strength obtained by this method, the specified value of offset used should be stated in parentheses after the term yield strength. Thus:

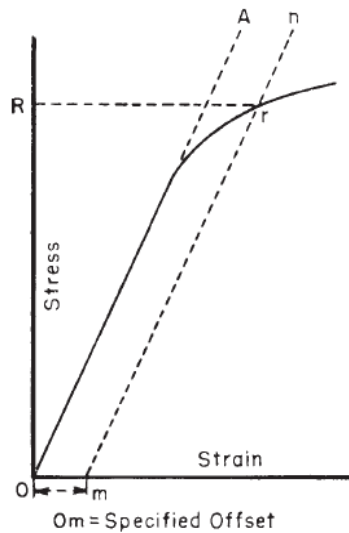


FIG. 21 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Offset Method

$$\text{Yield strength (offset} = 0.2 \% \text{)} = 52\,000 \text{ psi} \quad (3)$$

In using this method, a Class B2 or better extensometer (see Practice E 83) shall be used.

NOTE 27—There are two general types of extensometers, averaging and non-averaging, the use of which is dependent on the product tested. For most machined specimens, there are minimal differences. However, for some forgings and tube sections, significant differences in measured yield strength can occur. For these cases, it is recommended that the averaging type be used.

NOTE 28—When there is a disagreement over yield properties, the offset method for determining yield strength is recommended as the referee method.

7.7.2 Extension-Under-Load Method—Yield strength by the extension-under-load method may be determined by: (1) using autographic or numerical devices to secure stress-strain data, and then analyzing this data (graphically or using automated methods) to determine the stress value at the specified value of extension, or (2) using devices that indicate when the specified extension occurs, so that the stress then occurring may be ascertained (Note 30). Any of these devices may be automatic. This method is illustrated in Fig. 22. The stress at the specified extension shall be reported as follows:

$$\text{yield strength (EUL} = 0.5 \% \text{)} = 52\,000 \text{ psi} \quad (4)$$

Extensometers and other devices used in determination of the extension shall meet Class B2 requirements (see Practice E 83) at the strain of interest, except where use of low-magnification Class C devices is helpful, such as in facilitating measurement of YPE, if observed. If Class C devices are used, this must be reported along with the results.

NOTE 29—The appropriate value of the total extension must be specified. For steels with nominal yield strengths of less than 80 000 psi, an appropriate value is 0.005 in./in. (0.5 %) of the gage length. For higher strength steels, a greater extension or the offset method should be used.

NOTE 30—When no other means of measuring elongation are available, a pair of dividers or similar device can be used to determine a point of detectable elongation between two gage marks on the specimen. The gage

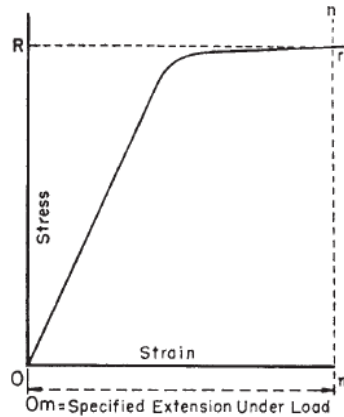


FIG. 22 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Extension-Under-Load Method

length shall be 2 in. The stress corresponding to the load at the instant of detectable elongation may be recorded as the *approximate* extension-under-load yield strength.

7.7.3 *Autographic Diagram Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)*—Obtain stress-strain (or force/elongation) data or construct a stress-strain (or load-elongation) diagram using an autographic device. Determine the upper or lower yield strength as follows:

7.7.3.1 Record the stress corresponding to the maximum force at the onset of discontinuous yielding as the upper yield strength. This is illustrated in Fig. 23 and Fig. 24.

NOTE 31—If multiple peaks are observed at the onset of discontinuous yielding, the first is considered the upper yield strength. (See Fig. 24.)

7.7.3.2 Record the minimum stress observed during discontinuous yielding (ignoring transient effects) as the lower yield strength. This is illustrated in Fig. 24.

NOTE 32—Yield properties of materials exhibiting yield point elongation are often less repeatable and less reproducible than those of similar materials having no YPE. Offset and EUL yield strengths may be significantly affected by force fluctuations occurring in the region where the offset or extension intersects the stress-strain curve. Determination of upper or lower yield strengths (or both) may therefore be preferable for such materials, although these properties are dependent on variables such as test machine stiffness and alignment. Speed of testing may also have a significant effect, regardless of the method employed.

NOTE 33—Where low-magnification autographic recordings are needed to facilitate measurement of yield point elongation for materials which may exhibit discontinuous yielding, Class C extensometers may be employed. When this is done but the material exhibits no discontinuous yielding, the extension-under-load yield strength may be determined instead, using the autographic recording (see Extension-Under-Load Method).

7.7.4 *Halt-of-the-Force Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)*—Apply an increasing force to the

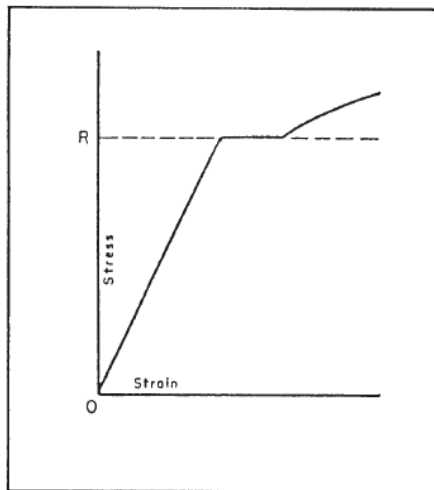


FIG. 23 Stress-Strain Diagram Showing Upper Yield Strength Corresponding with Top of Knee

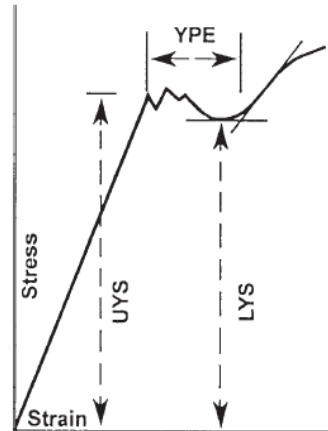


FIG. 24 Stress-Strain Diagram Showing Yield Point Elongation and Upper and Lower Yield Strengths

specimen at a uniform deformation rate. When the force hesitates, record the corresponding stress as the upper yield strength.

NOTE 34—The Halt-of-the-Force Method was formerly known as the Halt-of-the-Pointer Method, the Drop-of-the-Beam Method, and the Halt-of-the-Load Method.

7.8 *Yield Point Elongation*—Calculate the yield point elongation from the stress-strain diagram or data by determining the difference in strain between the upper yield strength (first zero slope) and the onset of uniform strain hardening (see definition of YPE and Fig. 24).

NOTE 35—The stress-strain curve of a material exhibiting only a hint of the behavior causing YPE may have an inflection at the onset of yielding with no point where the slope reaches zero (Fig. 25). Such a material has no YPE, but may be characterized as exhibiting an *inflection*. Materials exhibiting inflections, like those with measurable YPE, may in certain applications acquire an unacceptable surface appearance during forming.

7.9 *Uniform Elongation (if required)*:

7.9.1 Uniform elongation shall include both plastic and elastic elongation.

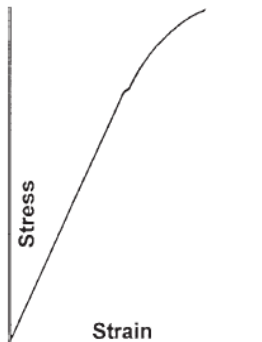


FIG. 25 Stress-Strain Diagram With an Inflection, But No YPE

7.9.2 Uniform elongation shall be determined using autographic methods with extensometers conforming to Practice E 83. Use a class B2 or better extensometer for materials having a uniform elongation less than 5 %. Use a class C or better extensometer for materials having a uniform elongation greater than or equal to 5 % but less than 50 %. Use a class D or better extensometer for materials having a uniform elongation of 50 % or greater.

7.9.3 Determine the uniform elongation as the elongation at the point of maximum force from the force elongation data collected during a test.

7.9.3.1 Some materials exhibit a yield point followed by considerable elongation where the yield point is the maximum force achieved during the test. In this case, uniform elongation is not determined at the yield point, but instead at the highest force occurring just prior to necking (see Fig. 26).

7.9.3.2 Stress-strain curves for some materials exhibit a lengthy, plateau-like region in the vicinity of the maximum force. For such materials, determine the uniform elongation at the center of the plateau as indicated in Fig. 27 (see also Note 36 below).

NOTE 36—When uniform elongation is being determined digitally, noise in the stress-strain data generally causes many small, local peaks and valleys to be recorded in the plateau region. To accommodate this, the following procedure is recommended:

- Determine the maximum force recorded (after discontinuous yielding).
- Evaluate the sequence of force values recorded before and after the

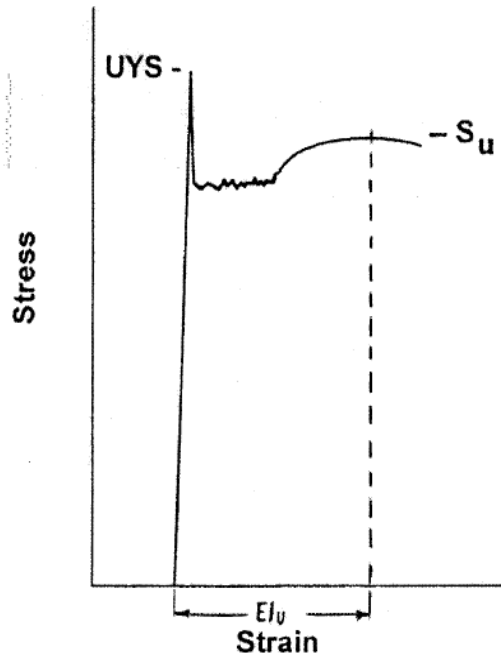


FIG. 26 Stress-Strain Diagram in Which the Upper Yield Strength is the Maximum Stress Recorded

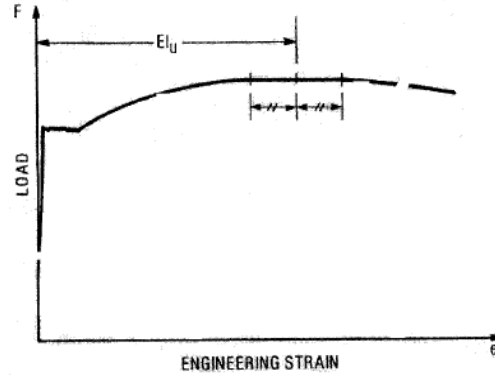


FIG. 27 Load-Strain Diagram for Determination of Uniform Elongation of Steel Sheet Materials Exhibiting a Plateau at Maximum Load

maximum force.

- Digitally define the "plateau" as consisting of all consecutive data points wherein the force value is within 0.5% of the magnitude of the peak force value.

- Determine the uniform elongation as the strain at the mid-point of the "plateau."

7.9.4 Discussion—The 0.5% value of Note 36 has been selected arbitrarily. In actual practice, the value should be selected so as to be the minimum figure that is large enough to effectively define the force plateau. This may require that the percentage be about 5 times the amplitude of the force fluctuations occurring due to noise. Values ranging from 0.1% to 1.0 % may be found to work acceptably.

7.10 Tensile Strength—Calculate the tensile strength by dividing the maximum force carried by the specimen during the tension test by the original cross-sectional area of the specimen.

NOTE 37—If the upper yield strength is the maximum stress recorded, and if the stress-strain curve resembles that of Fig. 26, it is recommended that the maximum stress after discontinuous yielding be reported as the tensile strength. Where this may occur, determination of the tensile strength should be in accordance with the agreement between the parties involved.

7.11 Elongation:

7.11.1 In reporting values of elongation, give both the original gage length and the percentage increase. If any device other than an extensometer is placed in contact with the specimen's reduced section during the test, this also shall be noted.

Example: elongation = 30 % increase (2-in. gage length) (5)

NOTE 38—Elongation results are very sensitive to variables such as: (a) speed of testing, (b) specimen geometry (gage length, diameter, width, and thickness), (c) heat dissipation (through grips, extensometers, or other devices in contact with the reduced section), (d) surface finish in reduced section (especially burrs or notches), (e) alignment, and (f) fillets and tapers. Parties involved in comparison or conformance testing should standardize the above items, and it is recommended that use of ancillary devices (such as extensometer supports) which may remove heat from