

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN UNA MÁQUINA DE
FATIGA PARA EL ESTUDIO DE MATERIALES CON MEMORIA DE
FORMA**

CHRISTIAN HERNANDO ESPITIA GONZALEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2006

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN UNA MÁQUINA DE
FATIGA PARA EL ESTUDIO DE MATERIALES CON MEMORIA DE
FORMA**

CHRISTIAN HERNANDO ESPITIA GONZÁLEZ

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial
Para optar al título de Ingeniero Electrónico**

Director

Ing. José Alejandro Amaya Palacio

Codirector

Ph.D.c Luís Emilio Forero Gómez

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2006

DEDICATORIA

A mis padres: Inelda Isabel González Bautista y Víctor Hernando Espitia, por su incondicional cariño y amor, al acompañarme con esmero en todo este largo trayecto que ha sido mi educación, por pensar y actuar en el bienestar y superación de cada uno de los miembros que integran mi familia, a mis hermanos: Sandra Marcela, Clara Isabel, y en especial a Juan Alexander por su apoyo.

Dios los bendiga.

Christian Hernando Espitia González

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su sincero agradecimiento a:

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Eléctrica Electrónica y de Telecomunicaciones por su espíritu de lucha en la formación de profesionales que aportan en el desarrollo regional y nacional.

Ing. José Alejandro Amaya Palacio, Director del Trabajo de Grado y docente de la Universidad Industrial de Santander por su valiosa colaboración, y orientación en la realización del sistema de adquisición de datos.

PhD.c. Luís Emilio Forero Gómez, Codirector del Trabajo de Grado y docente de la Universidad Industrial de Santander por su colaboración y motivación con sus grandes contribuciones encaminadas a modernizar el laboratorio de Investigación en Biomateriales de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, en donde se origino la realización del sistema de adquisición de datos.

Wilson Vezga, Ing. Metalúrgico y docente de la Universidad Industrial de Santander por sus aportes, conocimiento y tiempo dedicado a la realización del Trabajo de Grado.

Colciencias por su patrocinio y apoyo tanto para el desarrollo de la educación superior como para la realización de este proyecto.

A todos los estudiantes integrantes del grupo de Investigación en Biomateriales de la Universidad Industrial de Santander.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a que se llevara a feliz termino este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. FATIGA: TEORIA Y TERMINOLOGIA	4
1.1. FATIGA.....	4
1.1.1. <i>Clasificación de los Ensayos de Fatiga</i>	4
1.1.2. <i>Objetivos de los Ensayos de Fatiga</i>	5
1.2. ESFUERZO Y DEFORMACIÓN: TEORIA Y TERMINOLOGIA.....	5
1.2.1. <i>Esfuerzo.</i>	6
1.2.2. <i>Deformación</i>	7
1.2.3. <i>Tipos de Esfuerzo Aplicado en un Ensayo de Fatiga.</i>	7
1.2.4. <i>Diagrama de Esfuerzo vs. Deformación.</i>	8
1.2.5. <i>Propiedades Mecánicas en Ensayos de Fatiga.</i>	9
2. NORMAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS.....	11
2.1. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO PARA FATIGA	11
2.2. PREPARACION DEL ENSAYO	12
2.3. PROCEDIMIENTO EN LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO	12
2.4. CÁLCULO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	13
2.5. OBTENCIÓN DE DATOS.....	13
2.6. PRECISIÓN Y TENDENCIAS	14
3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO (MÁQUINA DE TRACCIÓN).....	15
3.1. EQUIPO INICIAL.....	15
3.1.1. <i>Máquinas de Tracción.</i>	16
3.1.2. <i>Motor.</i>	18
3.1.3. <i>Engranajes.</i>	18
3.1.4. <i>Mordazas.</i>	19
3.1.5. <i>Plataforma Fija y Móvil.</i>	19
3.2. ESTRUCTURA FINAL DEL EQUIPO (MÁQUINA DE TRACCIÓN INSTRON).....	20
3.2.1. <i>Sensor de Temperatura.</i>	20
3.2.2. <i>Sensor de Presión.</i>	26
3.2.3. <i>Transductor de Fuerza.</i>	28
3.2.4. <i>Transductores de Desplazamiento.</i>	30
3.2.5. <i>Válvula de control de presión. (Adicional)</i>	33
3.2.6. <i>Resistencia Térmica.</i>	34
3.2.7. <i>Sistema de Refrigeración.</i>	35
4. HARDWARE EMPLEADO EN LA AUTOMATIZACIÓN	37
4.1. TARJETA LABJACK™ U12	37
4.2. FUENTES DE ALIMENTACIÓN	39
4.2.1. <i>Fuentes Empleadas.</i>	39
4.2.2. <i>Parámetros de Rendimiento</i>	42
4.3. CIRCUITOS EXCITADORES DE SENSORES	43

4.3.1.	<i>Fuente de +5V.</i>	43
4.3.2.	<i>Fuente de +10V.</i>	44
4.3.3.	<i>Circuito excitador de la RTD.</i>	45
4.3.4.	<i>Fuente de Corriente de 100mA.</i>	46
4.4.	CIRCUITOS DE AMPLIFICACIÓN Y ACOPLA DE SEÑAL	47
4.4.1.	<i>Amplificación de la señal de Temperatura.</i>	48
4.4.2.	<i>Amplificación de la señal Tensil.</i>	49
4.4.3.	<i>Amplificación de la señal del Extensómetro Lineal.</i>	50
4.4.4.	<i>Amplificación de la señal del Extensómetro Radial (Adicional).</i>	51
4.4.5.	<i>Amplificación de la señal de Presión.</i>	53
4.4.6.	<i>Amplificación de la señal de voltaje de la muestra.</i>	54
4.4.7.	<i>Aislamiento Eléctrico para la Tarjeta LABJACK™ U12.</i>	55
4.5.	CIRCUITOS PARA EL CONTROL DE ACTUADORES	57
4.5.1.	<i>Circuito de Control de la Resistencia Térmica.</i>	57
4.5.2.	<i>Circuito para el Control del Motor.</i>	61
4.5.3.	<i>Circuito para el Control del Sistema de Refrigeración.</i>	62
4.5.4.	<i>Circuito para el Control de la Válvula Proporcional.</i>	63
5.	SOFTWARE DISEÑADO E IMPLEMENTADO	64
5.1.	CALIBRACIÓN DE TRANSDUCTORES	64
5.1.1.	<i>Calibración del Potenciómetro Lineal.</i>	65
5.1.2.	<i>Calibración de la Celda de Carga.</i>	66
5.1.3.	<i>Calibración de la RTD.</i>	67
5.1.4.	<i>Calibración del Sensor de Presión.</i>	69
5.1.5.	<i>Calibración del Voltaje en la Muestra.</i>	70
5.2.	INTERFAZ GRAFICA	71
5.2.1.	<i>Visualización del Progreso de la Prueba.</i>	72
5.2.2.	<i>Datos Suministrados por el Software.</i>	72
5.3.	SUBVIS IMPLEMENTADOS	73
6.	PRUEBAS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	80
6.1.	TIPO DE PRUEBAS REALIZADAS	80
6.2.	TIPOS DE PROBETAS UTILIZADAS	80
6.3.	RESULTADOS OBTENIDOS	81
7.	OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES	85
8.	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFIA	88
	ANEXOS	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y Desventajas del empleo de una Termocupla	21
Tabla 2. Diferentes Tipos de Metales y sus Resistividades	22
Tabla 3. RTD clase A, comparada con una RTD clase B	24
Tabla 4. Ventajas y Desventajas del uso de una RTD.....	25
Tabla 5. Especificaciones para los Transductores de Desplazamiento.....	30
Tabla 6. Rango de Operación y V_{out} de la RTD.....	48
Tabla 7. Carga y Voltaje de Salida de la Celda de Carga.....	50
Tabla 8. Conexión de las Señales en la Tarjeta Labjack U12.	57
Tabla 9. Lógica entre la Señal de la Interfase y el Hardware.	58
Tabla 10. Calibración del Potenciómetro lineal.....	65
Tabla 11. Calibración de la Celda de Carga.	66
Tabla 12. Calibración de la RTD.	68
Tabla 13. Calibración del Sensor de Presión.	69
Tabla 14. Calibración del Voltaje de la Muestra.....	70

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Ejemplos de Stents para aplicaciones médicas.	1
FIGURA 2. Obtención del Esfuerzo Normal.	6
FIGURA 3. Esfuerzo Alternante.	7
FIGURA 4. Esfuerzo Pulsatorio.	8
FIGURA 5. Esfuerzo Fluctuante.	8
FIGURA 6. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación.	9
FIGURA 7. Prototipo del Equipo de Tracción.	16
FIGURA 8. Equipo de Tracción Monsanto.	17
FIGURA 9. Máquina de Tracción Instron.	17
FIGURA 10. Caja de Engranajes del Equipo de Tracción Instron.	18
FIGURA 11. Mordazas Utilizadas.	19
FIGURA 12. En la izquierda efecto Seebeck, a la derecha Voltaje de Seebeck.	20
FIGURA 13. Diferentes tipos de Termocuplas y sus composiciones.	21
FIGURA 14. Efecto de las líneas de la RTD y su configuración en un puente de Wheatstone.	22
FIGURA 15. Configuración de una RTD de tres líneas en un puente de Wheatstone	23
FIGURA 16. RTD de cuatro hilos alimentada con una fuente de corriente.	23
FIGURA 17. RTD.	25
FIGURA 18. Caracterización de la RTD.	26
FIGURA 19. Estructura de un Sensor Piezoresistivo.	27
FIGURA 20. Sensor de Presión Piezoresistivo.	28
FIGURA 21. Estructura y Circuito que Conforman una Celda de Carga.	29
FIGURA 22. Celda de Carga LD203-500.	29
FIGURA 23. Estructura de un LVDT y sus Señales de Entrada y Salida.	31
FIGURA 24. LVDT Seleccionado.	32
FIGURA 25. Estructura Interna del Potenciómetro Lineal.	32
FIGURA 26. Potenciómetro Lineal LP802-50.	33
FIGURA 27. Válvula Electrónica de Presión PV104.	34
FIGURA 28. Dispositivos de Calentamiento.	34
FIGURA 29. Resistencia Térmica Utilizada.	35
FIGURA 30. Esquema del Sistema de Refrigeración Implementado.	36
FIGURA 31. Bombas Utilizadas.	36
FIGURA 32. Adquisición de Datos y Control Realizado por el PC.	37
FIGURA 33. Tarjeta de Adquisición de datos Labjack™ U12.	38
FIGURA 34. Estructura de las Fuentes Empleadas.	39
FIGURA 35. Transformadores Utilizados.	40
FIGURA 36. Diagrama Esquemático de las Fuentes Duales Implementadas.	41
FIGURA 37. Diseño de la Fuente 3.	41
FIGURA 38. Esquemático de los Reguladores Adicionados.	44
FIGURA 39. Circuito Excitador de RTD.	45
FIGURA 40. Fuente de Corriente de 100mA.	47
FIGURA 41. Amplificador de Instrumentación AD620.	48
FIGURA 42. Circuito de Amplificación de la señal de Temperatura.	49
FIGURA 43. Circuito de Amplificación de la Señal Tensil.	50
FIGURA 44. Circuito Amplificador de la señal del LP802-50.	51

FIGURA 45. Acondicionador de Señal LVDT AD598.....	51
FIGURA 46. Esquemático de Acondicionador de Señal AD598.....	52
FIGURA 47. Circuito Amplificador de la Señal de Presión.....	53
FIGURA 48. Circuito Amplificador del Voltaje de la Muestra.....	54
FIGURA 49. Diagrama de Bloques y Pines del ISO122.....	55
FIGURA 50. Sistema de Aislamiento Eléctrico Para la Labjack U12.....	56
FIGURA 51. Circuito de Control de la Resistencia Térmica.....	58
FIGURA 52. Amplificador Operacional LM3900.....	59
FIGURA 53. Optotriac MOC3010.....	59
FIGURA 54. Modulación PWM y Corriente entre MT1 y MT2.....	60
FIGURA 55. Triac BT137-800.....	60
FIGURA 56. Circuito Para el Control del Motor AC.....	61
FIGURA 57. Circuito Para el Control del Motor Paso a Paso.....	62
FIGURA 58. Panel Frontal del VI para la Calibración de Transductores.....	65
FIGURA 59. Regresión Lineal para el Extensómetro Longitudinal.....	66
FIGURA 60. Regresión Lineal Para la Celda de Carga.....	67
FIGURA 61. Regresión Lineal Para la RTD.....	68
FIGURA 62. Regresión Lineal para el Sensor de Presión.....	69
FIGURA 63. Regresión lineal para el Voltaje de la Muestra.....	70
FIGURA 64. Panel Frontal del VI Principal.....	71
FIGURA 65. Visualización del Progreso del Ensayo.....	72
FIGURA 66. Datos Guardados en Excel.....	73
FIGURA 67. SubVI para la configuración de Entradas.....	74
FIGURA 68. SubVI para el Potenciómetro Lineal.....	74
FIGURA 69. SubVI para el LVDT.....	75
FIGURA 70. SubVI para la lectura de Temperatura.....	75
FIGURA 71. SubVI para la Celda de Carga.....	76
FIGURA 72. SubVI para la lectura de $\Delta R/R_0$ y $\Delta \rho/\rho_0$.....	76
FIGURA 73. SubVI Para la Lectura de Presión.....	77
FIGURA 74. SubVI para la Graficación XY.....	77
FIGURA 75. SubVI para el Control del Motor Paso a Paso.....	78
FIGURA 76. SubVI para Crear la Tabla.....	79
FIGURA 77. Probeta de Nitinol.....	81
FIGURA 78. Graficas de Temperatura vs. Tiempo.....	82
FIGURA 79. Fragmento del Reporte en Excel para la Prueba 2.....	82
FIGURA 80. Graficas de Carga Constante y en Ciclos.....	83
FIGURA 81. Grafica de Esfuerzo vs. % deformación (Excel).....	83
FIGURA 82. Grafica de Esfuerzo Radial vs. Tiempo del Panel Frontal.....	84
FIGURA 83. Grafica de Esfuerzo Radial vs. Tiempo (Excel).....	84

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. 1 MANUAL DE USUARIO SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	90
ANEXO A. 2 PROCESOS PREVIOS	97
ANEXO A. 3. DESCRIPCION DE LA TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS.	98
ANEXO B. 1 TARJETA LABJACK U12	101
ANEXO B. 2 CELDA DE CARGA.....	105
ANEXO B. 3 POTENCIOMETRO LINEAL LP802-50.....	106
ANEXO B. 4 SENSOR DE PRESION PX72-005GV	107
ANEXO B. 5 SENSOR RTD-3-1PT100KN3026CLA-60-G.....	108
ANEXO B. 6 VALVULA DE PRESION PV104-(5V).....	109
ANEXO B. 7 TRANSDUCTOR LVDT LD200-1.25.	110
ANEXO B. 8 REGULADORES DE VOLTAJE LM78XX	111
ANEXO B. 9 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACION AD620.	113
ANEXO B. 10 REGULADORES DE VOLTAJE LM79XX.	115
ANEXO B. 11 REGULADORES DE VOLTAJE LM317.	117
ANEXO B. 12 AMLIFICADOR DE AISLAMIENTO ISO 122.	119
ANEXO B. 13 FUENTE DUAL DE CORRIENTE REF200.....	121
ANEXO B. 14 TRANSISTOR TIP41C.	123
ANEXO B. 15 ACONDICIONADOR DE LVDT AD598.	125
ANEXO B. 16 AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM3900.....	127
ANEXO B. 17 OPTOTRIAC MOC3010.	129
ANEXO B. 18 TRIAC BT137-800.	131
ANEXO B. 19 BOMBA.....	133
ANEXO C. 1 NORMA ASTM 4-99 Standard practices for Force Verification of Testing Machine.....	135
ANEXO C. 2 NORMA ASTM F 2362-03 Standard Specification for Temperature Monitoring Equipment	138
ANEXO C. 3 NORMA ASTM E 8-04 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.....	141
ANEXO C. 4. NORMA ASTM E 1942-98 Standard Evaluating Data Acquisition System Used in Cyclic Fatigue and Fracture Mechanics Testing.	145

RESUMEN

1. TITULO

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN UNA MÁQUINA DE FATIGA PARA EL ESTUDIO DE MATERIALES CON MEMORIA DE FORMA.*

2. AUTOR

Christian Hernando Espitia González **

3. PALABRAS CLAVES

Fatiga, esfuerzo, Deformación, microtubos, materiales con memoria de forma, ensayo tensil ciclado, ensayo térmico ciclado, ensayo de presión ciclado, transductores, **Hardware, Software**, LabVIEW[®], Laboratorio de Investigación en Biomateriales***.

4. DESCRIPCIÓN

En el documento presentado se describe un sistema de adquisición de datos en la automatización de una máquina de fatiga, que emplea un sistema de tracción para cuantificar la deformación y el esfuerzo en forma longitudinal, un sistema de presión para cuantificar la deformación y el esfuerzo en forma radial, y un sistema térmico para cuantificar la temperatura, cada sistema actúa sobre las probetas o microtubos del material en investigación, por medio de los diferentes ensayos tensiles, de presión y térmicos, cumpliendo con las normas internacionales.

En el capítulo 1 se exponen los conceptos de fatiga, esfuerzo y deformación, en el capítulo 2 se describen las diferentes normas utilizadas, los equipos y procedimientos para la realización de los diferentes ensayos, en el capítulo 3 se describe el equipo de tracción y los transductores usados, en el Capítulo 4 hace mención al Hardware implementado para automatizar los diferentes procesos o ensayos realizados por la máquina de fatiga y en el capítulo 5 hace mención al software en LabVIEW[®], realizado para tal fin.

Como resultado, se proporciona al Laboratorio de Investigación en Biomateriales de la escuela de Ingeniería Metalúrgica y ciencia de materiales de la Universidad Industrial de Santander, un equipo versátil, capaz de realizar el proceso de fatiga de diferentes formas, a los materiales en estudio, con la autonomía de adaptarse a la mayoría de máquinas de tracción.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Ingeniería Electrónica. Director: Ing. José Alejandro Amaya Palacio

*** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Ingeniería Metalúrgica. Codirector: Ph. D.c Luís Emilio Forero Gómez

ABSTRACT

1. TITLE

DATA ACQUISITION SYSTEM IN A FATIGUE MACHINE FOR STUDY OF MATERIALS WITH SHAPE MEMORY.*

2. AUTOR

Christian Hernando Espitia Gonzalez. **

3. KEY WORDS

Fatigue, stress, deformation, micro tubes, materials with shape memory, tensile cycles tests, thermal cycles test, pressure cycles tests, transducers, hardware, software, LabVIEW[®], Laboratory of investigation in Biomaterials^{***}.

4. DESCRIPTION

This document describes a data acquisition system in the automation of a fatigue machine, which it uses a traction system to quantify the deformation and the stress in longitudinal form, a pressure system to quantify the deformation and the stress in radial form, and a thermic system to quantify the temperature, each system acts on the sample or micro tubes of the material in investigation, by means of the different tests tensile, of pressure and thermic, according to international standards.

In the chapter 1 exposes the concepts of fatigue, stress and deformation, in the chapter 2 describes the several standards used, the equipment and procedures for the realization of the different tests, in the chapter 3 describes the traction system and the used transducers, in the chapter 4 mentions the hardware implemented to automate the different processes or tests carried out for fatigue machine and the chapter 5 mentions the software in LabVIEW[®], carried out for such an end.

As a result, laboratory of investigation in Biomaterials of the school of Engineering Metallurgical and science of materials of the University Industrial of Santander[†], is provide with versatile equipment, capable of achieve the fatigue process in several ways, to the materials in study, with the autonomy of adapting to most of traction machines.

* Final Year project.

** Faculty of Engineering Physical-Mechanics. Engineering Electronic. Director: Ing. Jose Alejandro Amaya Palacio.

*** Faculty of Engineering Physical-chemistry. Engineering Metallurgical. Co-Director: Ph. D.c Luis Emilio Forero Gómez

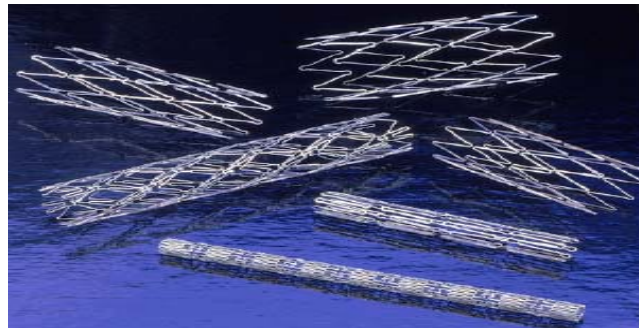
INTRODUCCIÓN

Los materiales con memoria de forma presentan algunas propiedades completamente distintas a las de los materiales metálicos usuales, como su capacidad de soportar altos niveles de tensión mecánica sin deformarse plásticamente (superelasticidad), algunos de las aleaciones que presentan memoria de forma son: Ag-Cd, Au-Cd, Cu-Zn-X (X= Si, Sn, Al, Ga), Cu-Al, Cu-Al-Ni, Cu-Sn, Ni-Al, Ti-Ni (*NITINOL*¹), Ti-Ni-X (X= Al, Cu, Pd, Zr, Hf, etc.), Fe-Pt, entre otras.

La memoria de forma en los metales se basa en la deformación mecánica de del material y la recuperación de la forma inicial por un simple calentamiento, durante el proceso el material cambia de fases en su estructura de austenita a martensita y viceversa. En cada fase el material presenta mejoras o desventajas en sus propiedades, para lo cual es necesario caracterizar la aleación en dicho proceso.

Bajo efectos térmicos o de tensión mecánica los materiales con memoria de forma presentan una variación en la deformación y la resistividad eléctrica del material acompañada de un cambio de fase o estructura atómica, característica que lo hace un firme candidato en aplicaciones como activadores eléctricos, y en otras ciencias como la medicina donde el estrechamiento de los vasos sanguíneos son corregidos con implantes como los *stents*² u otro implante medico donde el NITINOL o aleaciones con base Ti-Ni son las preferidas por su biocompatibilidad, ver figura 1.

FIGURA 1. Ejemplos de Stents para aplicaciones médicas.
Fuente: Memry corporación.



Las aleaciones con memoria de forma como el Nitinol, presentan varios tipos de fase o estructura cristalográfica, entre las cuales se destacan la **austenita** y **martensita**, en **austenita** los cristales que forman el material tiene estructura cúbica centrada en las caras, y en **martensita** los cristales son Monoclínicos, los cambios estructurales se realizan a escala atómica de acuerdo a las variaciones mecánicas o de temperatura a las cuales ha sido sometida la aleación de Nitinol.

¹ NITINOL: Acrónimo de **N**ickel **T**itanium **N**aval **O**rdinance **L**aboratory donde fue descubierta la aleación en 1965.

² STENTS: Implantes médicos utilizados para evitar el estrechamiento vascular (*stenosis*).

En el estudio o la caracterización de un material con memoria de forma es necesario realizar las pruebas de fatiga, para cuantificar variables como deformación, esfuerzo, cambios con la temperatura, variaciones en la resistividad y resistencia eléctrica bajo múltiples efectos como: tracción, presión y los efectos térmicos, con lo cual se ponderan sus propiedades en cada fase. Con el fin de determinar las propiedades de los materiales con memoria de forma, los equipos y dispositivos utilizados inicialmente se basaron en elementos mecánicos, que poseen poca confiabilidad y precisión puesto que la medición no permite detectar cambios mínimos de las variables durante el proceso.

Para eliminar esta desventaja, actualmente se cuenta con dispositivos electrónicos y sistemas de cómputo avanzados, que permiten procesar datos a altas velocidades con una precisión relativamente alta, con la ventaja de que los datos obtenidos durante el proceso sean suministrados posteriormente para su análisis, por esta razón se decidió implementar un sistema de adquisición de datos en una máquina de fatiga, lo cual dio como resultado este proyecto de grado.

Para la elaboración de este proyecto, se cuenta con dos precedentes dados en los trabajos de grado realizados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones de la UIS, titulado **Automatización de una máquina de tracción lenta** en el que se actualizó un equipo de tracción, y un trabajo de grado realizado en el Grupo de Investigación de Minerales, Biohidrometalúrgica y Ambiente de la Universidad Industrial de Santander, que tiene por título **Automatización de un equipo para la evaluación de recubrimientos mediante ensayo tensil**, el cual es una de las bases para desarrollar la automatización del equipo, puesto que parte de la estructura y de las variables obtenidas son similares.

Este trabajo de grado hace parte de un proyecto que desarrolla el Grupo de Investigación en Biomateriales de la Universidad Industrial de Santander y DIEF, y el Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación CEMOS de la Universidad Industrial de Santander.

Los capítulos que componen este trabajo de grado se encuentran distribuidos de forma que el lector pueda conocer, el procedimiento seguido de la automatización del sistema de adquisición de datos: En los dos primeros capítulos se encuentra la teoría, terminología y normas necesarias para realizar el ensayo de fatiga con la medición de sus variables físicas, en el tercer capítulo se describen los diferentes equipos de tracción que pueden adaptarse al sistema de adquisición de datos así como los diferentes transductores utilizados en las lecturas de las diferentes variables físicas a medir, dando a conocer sus características y funcionamiento.

En el cuarto capítulo se describe el **hardware** diseñado e implementado como los circuitos de alimentación, excitadores de sensores, amplificación y acondicionamiento de señal, y los utilizados en el control o aislamiento del mismo con los actuadores como las características de la tarjeta de adquisición de datos, en el capítulo quinto se menciona el **software** diseñado e implementado para la automatización del equipo como para la visualización de las diferentes variables del proceso en la interfase gráfica.

Por último se presentan algunas pruebas de los diferentes ensayos de fatiga realizados a aleaciones de Ti-Ni, además como anexos se presentan las hojas de datos de los diferentes transductores y dispositivos electrónicos utilizados en la implementación del equipo, las normas utilizadas para llevar a cabo el proceso de fatiga, y el manual de operación del sistema de adquisición de datos en una máquina de fatiga. El equipo forma parte del instrumental del Grupo de Investigación en Biomateriales de la Universidad Industrial de Santander.

1. FATIGA: TEORIA Y TERMINOLOGIA

El fallo de los metales por fatiga tiene lugar por las cargas aplicadas en forma variable o repetida. La carga máxima requerida para producir un fallo de esta forma es mucho menor que la carga de rotura estática. Muchos componentes y estructuras, en servicio, están sometidos a cargas variables y si bien los esfuerzos promedios son a menudo bajos, las concentraciones locales de tensiones, que no reducen mucho la resistencia estática pueden a veces producir fallos por fatiga.

La característica más notable de los fallos por fatiga es la falta de deformación en la región de las fracturas, las grietas formadas son generalmente finas y difíciles de detectar, que una vez se desarrollan a estado macroscópico la fractura del material es inminente. Las fracturas por fatiga están asociadas usualmente con miles o millones de ciclos de esfuerzos, pero pueden ocurrir con cientos o incluso decenas de ciclos.

Para obtener medidas cuantitativas del desarrollo de un ensayo de fatiga, es necesario realizar los ensayos bajo condiciones controladas y para ello, se puede disponer de los ensayos en el laboratorio con probetas y simulando lo que ocurre en la práctica, o de ensayos reales donde los elementos, las instalaciones y las condiciones son en sí, los que se encuentran en la práctica o la realidad.

La fatiga de los materiales influye en el diseño de cualquier sistema mecánico y estructural que se encuentre bajo tensiones variables, lo cual incluye la mayoría de elementos de uso industrial y cotidiano, que ha promovido la investigación de diferentes materiales en proceso de fatiga y así evitar posibles fallos de las piezas en operación o funcionamiento.

1.1. FATIGA

Es el proceso por el cual un material se deteriora o fractura progresivamente hasta producir su rotura final, generalmente cuando es sometido a cargas variables, o ciclos térmicos, para fines de investigación la fatiga se realiza por medio de ensayos en el laboratorio en los cuales se busca caracterizar el material hasta llevarlo a su ruptura.

1.1.1. Clasificación de los Ensayos de Fatiga

Los ensayos de fatiga se clasifican según su acción deformante que puede ser de esfuerzo axial, flexión, torsión y esfuerzos complejos o combinados.

FATIGA POR ESFUERZO AXIAL O DIRECTO: En este caso la probeta es sometida a esfuerzos de tracción o compresión alternantes, donde el esfuerzo a través de la sección de ensayo es uniforme.

FATIGA POR FLEXION: Para este caso hay dos modos de ensayos, la flexión rotatoria donde la probeta se soporta como una viga y se carga con pesos muertos aplicados por

medio de cojinetes, que permiten girar a la probeta, y cuando esta tiene rotación cada punto de la circunferencia de la sección de ensayo esta sometido a un esfuerzo alternante que varia sinusoidalmente desde un valor de tensión a otro igual de compresión. El otro modo de flexión se realiza cuando la probeta es flexionada de una dirección a otra.

FATIGA POR TORSION: En este caso la probeta se fija en uno de sus extremos y se aplica un par alternante en el otro extremo, como resultado se obtiene un esfuerzo de cizalla que es proporcional al momento de torsión aplicado.

FATIGA POR ESFUERZOS COMPLEJOS: Este es la combinación de dos o más de los anteriores tipos de ensayos de fatiga, o sometiendo una probeta tubular a una presión interna fluctuante.

1.1.2. **Objetivos de los Ensayos de Fatiga**

- i. Estudio del cambio de las propiedades mecánicas y físicas del material bajo fatiga.
- ii. Obtener información de las superficies fracturadas para realizar un mejor diagnostico en posibles fallos de fatiga de estructuras en servicio.

1.2. **ESFUERZO Y DEFORMACIÓN: TEORIA Y TERMINOLOGIA**

Un cuerpo esta formado por un conjunto de partículas muy pequeñas, ubicadas a determinadas distancias unas de otras y entre las cuales se ejercen unas fuerzas internas, que estando en equilibrio hacen que el cuerpo conserve su forma. Si una fuerza externa actúa sobre dicho cuerpo modificando las distancias entre las partículas, es decir se produce una deformación, las fuerzas internas sufrirán un incremento para equilibrar la fuerza externa y oponerse a la deformación, este incremento entre las fuerzas internas del material se constituye en un esfuerzo.

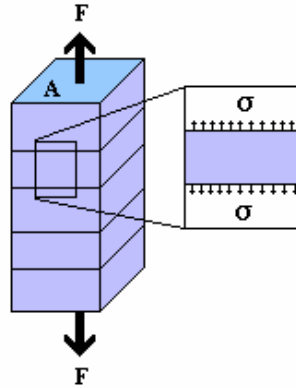
Cabe notar que las distancias entre las partículas tienden a conservarse, por lo tanto un aumento de las distancias longitudinales trae como consecuencia una disminución de las distancias en sentido transversal y viceversa.

La importancia del conocimiento de esfuerzos y deformaciones es evidente, en el diseño estructural, en el que el factor determinante puede ser el esfuerzo o la deformación, y cuya relación con las propiedades físicas y las fuerzas externas se estudia la resistencia del material a la fatiga.

1.2.1. Esfuerzo.

Si una barra de sección transversal A es sometida longitudinalmente a una fuerza F de tensión mecánica, ver figura 2, la fuerza F deberá ser axial, es decir, pasar por los centroides de las secciones rectas a fin de hacer posible la siguiente consideración.

FIGURA 2. Obtención del Esfuerzo Normal.
Fuente: El Autor.



Todas las fibras longitudinales de la barra sufrirán un alargamiento uniforme, luego las secciones rectas se conservarán planas después de la deformación, y por lo tanto, la fuerza F se distribuirá uniformemente sobre la sección recta, de manera que a cada unidad de superficie de dicha sección le corresponde una fuerza unitaria (σ), y dicha fuerza unitaria (σ) es conocida como *esfuerzo normal*, y se obtiene a partir de la expresión 1, donde F es la fuerza aplicada y A es el área transversal de la probeta (en el caso de los microtubos se calcula el área de una corona circular), y sus unidades son N/m^2 o lo que es igual en Pascales (Pa).

$$\sigma_i = \left[\frac{F}{A} \right] \text{ (Pa)} \quad (1)$$

En el caso del esfuerzo aplicado a los microtubos por medio de una presión interna se utiliza la expresión 2, donde b es el radio externo, a es el radio interno, r es el radio medio, P_i es la presión interna aplicada, y sus unidades son los Pascales (Pa).

$$\sigma_r = -P_i * \left[\frac{\left(\frac{b^2}{r^2} - 1 \right)}{Q} \right] \text{ (Pa)} \quad (2)$$

$$Q = \left(\frac{b^2}{a^2} - 1 \right)$$

1.2.2. Deformación

Es el cambio en las dimensiones de un cuerpo como resultado de un esfuerzo y se representan por la letra ε , en el caso de aplicación de una tensión mecánica el signo tanto del esfuerzo como de la deformación es positivo, para el cálculo del porcentaje de deformación se utiliza la expresión 3, donde l_o es la longitud de la probeta, l_i es la longitud inicial antes del ensayo y l es la longitud de la probeta durante el ensayo, esta misma expresión sirve para calcular la deformación radial realizando los respectivos cambios.

$$\varepsilon = \left[\frac{(l_i - l)}{l_o} \right] * 100\% \quad (3)$$

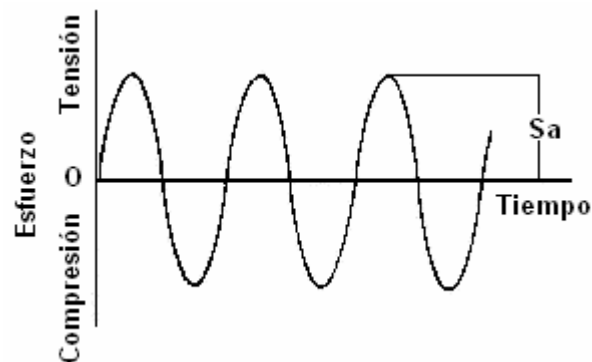
1.2.3. Tipos de Esfuerzo Aplicado en un Ensayo de Fatiga.

Durante un ensayo de fatiga, el ciclo de sollicitación presenta un esfuerzo medio S_m y un esfuerzo alternante S_a , que dependiendo de la magnitud de cada uno se clasifica el tipo de esfuerzo aplicado en el ensayo de fatiga.

ESFUERZO ALTERNANTE O INVERSO: Se presenta cuando el esfuerzo de tracción máximo es igual al esfuerzo de compresión máximo, $S_m=0$, en la figura 3 se presenta este tipo de esfuerzo.

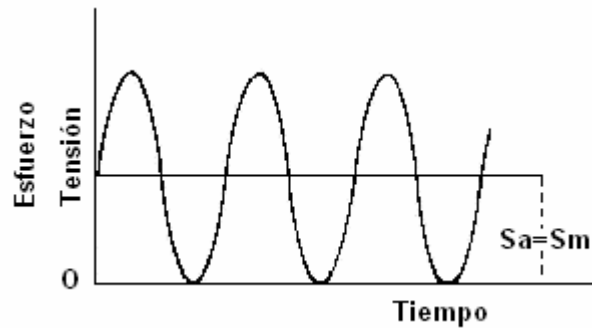
FIGURA 3. Esfuerzo Alternante.

Fuente: El Autor.



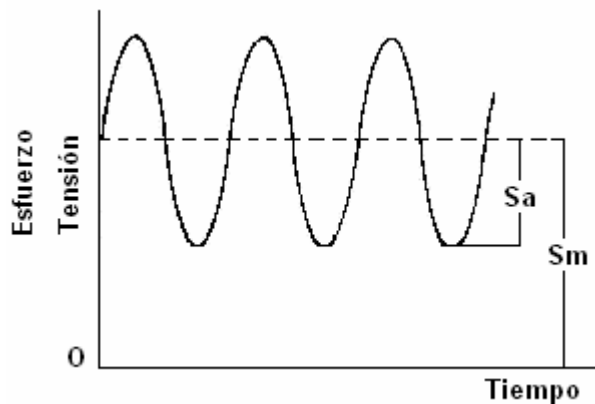
ESFUERZO REPETIDO O PULSATORIO: Se presenta cuando el esfuerzo mínimo del ciclo es cero, dando como resultado un esfuerzo de tracción o compresión puro, $S_m=S_a$, en la figura 4 se presenta este tipo de esfuerzo.

FIGURA 4. Esfuerzo Pulsatorio.
Fuente: El Autor.



ESFUERZO FLUCTUANTE: Se presenta en cualquier otra combinación diferente de las anteriores, donde tanto S_m como S_a varían en amplitud como se desee, en la figura 5 se presenta una posibilidad de este tipo de esfuerzo.

FIGURA 5. Esfuerzo Fluctuante.
Fuente: El Autor.



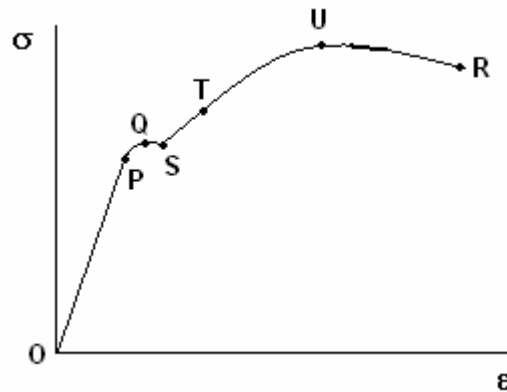
1.2.4. Diagrama de Esfuerzo vs. Deformación.

Este se obtiene de someter un material a una fuerza axial cuyo valor es conocido y midiendo con un instrumento de precisión la deformación producida se obtiene un par de valores σ y ϵ correspondientes; al suprimir la fuerza la deformación desaparece, manifestándose así el comportamiento elástico del material. Si se repite esta operación muchas veces y cada vez la fuerza aplicada es incrementada, se obtiene una serie de valores necesarios para construir la grafica de σ vs. ϵ .

En este trazo las ordenadas se dan por los valores de σ y las abscisas por los valores de ϵ de esta manera la línea OPQSTUR de la figura 6, representa gráficamente las relaciones entre el esfuerzo y la deformación, dicha línea es un esquema general del comportamiento de los metales bajo ensayos de tracción y cuyos valores cambian de acuerdo al material bajo investigación.

Siendo la línea OP una recta, hay una relación constante entre el esfuerzo y la deformación, de ahí que el punto P se denomina límite de proporcionalidad y el esfuerzo en este punto se denomina *límite elástico* σ_e , por ser el máximo esfuerzo que el material puede soportar, sin que aparezca deformación permanente.

FIGURA 6. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación.
Fuente: Resistencia de Materiales.



Del punto P hacia el Q las deformaciones empiezan a ser ligeramente mayores, hasta llegar al punto Q donde se produce una deformación pronunciada sin aumento en el esfuerzo hasta llegar al punto S, por eso el punto Q se llama *límite de fluencia* σ_f , cabe anotar que este fenómeno se produce solo en algunos casos.

En el punto S el material presenta una leve recuperación y soporta nuevos incrementos en el esfuerzo, pero con deformaciones cada vez mayores hasta llegar al punto U, donde se presenta el máximo esfuerzo soportado por el material, el esfuerzo correspondiente al punto U es conocido como *resistencia última* σ_u , a partir de este punto la deformación aumenta aun con disminución del esfuerzo, indicando que el material empieza a disminuir su diámetro hasta llegar al punto R donde finalmente ocurre la ruptura del material.

1.2.5. Propiedades Mecánicas en Ensayos de Fatiga.

- i. **Elasticidad:** Es la propiedad que tienen los cuerpos de recuperar la forma original, al cesar la fuerza que los deforma, si la deformación que sufre el cuerpo desaparece totalmente al cesar la fuerza se dice que el cuerpo es perfectamente elástico, y si conserva parte de la deformación es parcialmente elástico, sin embargo un mismo cuerpo, a través de la variación de la fuerza puede comportarse inicialmente perfectamente elástico, pasar por parcialmente elástico hasta un periodo plástico antes de su ruptura.
- ii. **Plasticidad:** es la propiedad contraria a la elasticidad, ya que permite a los cuerpos conservar su deformación después de aplicada la fuerza, la ductilidad y la maleabilidad

son dos formas de plasticidad, donde la **ductilidad** permite al cuerpo soportar deformación plástica al estar sometido a tracción y la **maleabilidad** permite al cuerpo soportar deformación plástica al estar sometido a compresión.

- iii. **Fragilidad:** Es la ausencia de plasticidad
- iv. **Tenacidad:** es la propiedad que permite al material soportar choque o golpe.
- v. **Rigidez:** es la propiedad que permite al material soportar un gran esfuerzo y sufrir una deformación muy pequeña.

2. NORMAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS

Para la automatización de equipos de laboratorio es necesario tener presentes las normas internacionales, con el fin de estandarizar los métodos y/o procedimientos en el diseño y construcción de los equipos, así como para determinar el desempeño de los materiales bajo determinadas condiciones en un ensayo, en este proyecto se tuvieron en cuenta las normas elaboradas por **The American Society for Testing and Materials ASTM**.

Para el ensayo de tracción se tuvieron en cuenta las Normas **ASTM 4-99 Standard Practices for Force Verification of Testing Machine** y la **E 8-04 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**, la primera norma cubre el procedimiento para la verificación y calibración de dispositivos que realizan lecturas de fuerza en máquinas de tracción y/o compresión, la segunda norma presenta el procedimiento para realizar ensayos de tracción y/o compresión, en probetas metálicas de diferentes formas geométricas, incluidos los microtubos, que son los probetaes de investigación en este proyecto, esta ultima norma es la mas completa y actualizada (en el año 2004), para la realización de ensayos de tracción.

Para los ensayos térmicos se utilizó la norma **ASTM F 2362-03 Standard Specification for Temperatura Monitoring Equipment**, que especifica los requerimientos que debe poseer un equipo para proveer control y monitorear la variable temperatura en aplicaciones Industriales, e incluye una descripción de los diferentes componentes que debe poseer el equipo en este aspecto.

Se utilizó la norma **ASTM E 1942-98 Standard Guide for Evaluating Data Acquisition System Used in Cyclic Fatigue and Fracture Mechanics Testing**, para comprender y minimizar los errores asociados con el sistema de adquisición de datos implementado para una máquina de fatiga, además ofrece una breve descripción de la terminología utilizada en lo referente al sistema de adquisición de datos y las fuentes y estimaciones de errores.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO PARA FATIGA

La evaluación de las deformaciones longitudinal y radial (ϵ_L , ϵ_R) y el esfuerzo longitudinal y radial (σ_L , σ_R) se realiza mediante ensayo de tracción y de presión, bajo determinadas condiciones térmicas, en donde al material con memoria de forma se le aplica una carga longitudinal que puede ser de forma constante o cíclica, una presión interna que es totalmente cíclica y una temperatura que puede ser constante o cíclica, esto con el fin de monitorear las diferentes variables del proceso hasta producir la ruptura de la probeta, para su posterior caracterización y análisis de falla y/o resistencia del material.

2.2. PREPARACION DEL ENSAYO

El material con memoria de forma seleccionado para la realización del ensayo de fatiga debe presentar los tratamientos térmicos presentados Anexo A.2, necesarios para que el material soporte el ensayo de tracción y presente mejoras en las características mecánicas.

La limpieza de la probeta es necesaria para evitar errores en la medición de las diferentes variables, que por lo general se deben a óxidos y otros residuos acumulados en la superficie, y que intervienen durante el proceso, además la limpieza del microtubo garantiza una mejor sujeción del microtubo y las mordazas, ya sea por agarre de las mordazas o por adhesión utilizando resinas o pegamentos y evita la corrosión.

Para evitar modificaciones en las condiciones iniciales del material, como la estructura (austenita o martensita) y las características mecánicas debidas a los procesos previos al ensayo, la probeta debe ser manipulada de forma especial evitando el contacto con el cuerpo a fin de no flexionarla o comprimirla mecánicamente y no transferirle grasas, partículas y temperatura corporal.

Para el análisis de los resultados la cantidad de replicas de la probeta sometida ensayo, es determinado por el investigador bajo el criterio de repetibilidad de los resultados, además se debe tener en cuenta parámetros que afectan el comportamiento del material como la temperatura.

2.3. PROCEDIMIENTO EN LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO

Con lo descrito en los ítems anteriores, la norma ASTM E8-04 incluye las especificaciones de la probeta y del procedimiento para realizar el ensayo de tracción, en esta norma se hace énfasis el ensayo de tracción para materiales metálicos, con varios tipos de formas geométricas y terminales de sujeción, para posteriormente obtener los resultados correctos y que proporcionen un análisis satisfactorio del comportamiento del material del material.

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

Una vez sujeta la probeta y teniendo en cuenta la alineación y el cumplimiento de las exigencias de la norma para este fin, se procede a determinar la velocidad de la prueba, para lo cual la norma indica que se puede definir en términos como: razón del esfuerzo de la probeta, razón de la deformación del espécimen, razón de la separación de las mordazas durante el ensayo, lapso del tiempo para completar parte o toda el ensayo, o la velocidad de la máquina de tracción con las mordazas libres.

Para el caso de la aplicación de tracción en microtubos de Nitinol se optó por utilizar la razón o la velocidad de deformación de la probeta que puede ser un valor menor a

0.04mm/s, teniendo en cuenta que la norma específica que el valor numérico y la selección del tipo de velocidad a aplicar es responsabilidad del comité de productos, y depende del material, y cualquier variación en la velocidad puede afectar los valores del ensayo porque la sensibilidad del material es afectada.

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 recalcar que cualquier desalineación de la probeta o fallo en los tratamientos previos al ensayo u otras modificaciones, afecta la repetibilidad del ensayo.

2.4. CÁLCULO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la correcta determinación de los resultados es necesario calcular los esfuerzos y las deformaciones utilizando las expresiones presentadas en el ítem 1.2, donde para cada muestra, los esfuerzos y las deformaciones son calculados en porcentajes a fin de determinar la resistencia y el comportamiento del material sometido a ensayo de fatiga.

Para la determinación de la fase o estructura cristalográfica de material se cuenta con el cálculo de la variación en la resistencia y la resistividad para caracterizar y corroborar dichas fases o sus posibles cambios, la temperatura en el ensayo es más parámetro de simulación para determinadas condiciones térmicas, que un parámetro determinante en la caracterización, aunque este factor afecta en gran medida los cambios de fase, sin embargo los ensayos de fatiga para el nitinol se hacen con cargas variables a temperatura constante.

2.5. OBTENCIÓN DE DATOS

Una vez terminado el ensayo de fatiga y realizada la toma de datos, se procede a elaborar una tabla en Excel con las lecturas de las variables que se nombran a continuación:

- i.** Porcentaje de deformación longitudinal ($\% \epsilon_L$).
- ii.** Temperatura del ensayo ($^{\circ}C$).
- iii.** Variación en la Resistencia del material ($\Delta R/R_0$).
- iv.** Variación de la Resistividad del material ($\Delta \rho/\rho_0$).
- v.** Porcentaje de deformación radial ($\% \epsilon_R$).
- vi.** Esfuerzo radial (σ_R).
- vii.** Esfuerzo longitudinal (σ_L).
- viii.** Numero de ciclos de tracción, en caso de elegirse este modo de aplicación de carga, de lo contrario este ítem presenta un cero en sus lecturas.
- ix.** Deformación longitudinal en milímetros (ϵ_L).
- x.** Deformación radial en milímetros (ϵ_R).

Con los datos presentados en Excel el Usuario tiene la facilidad de guardarlos o desecharlos si la prueba no es optima, también puede realizar algunas tareas matemáticas como aplicar regresiones a los datos obtenidos.

2.6. PRECISIÓN Y TENDENCIAS

Los parámetros de precisión y tendencias dependen de la exactitud en la medición de la fuerza y el seguimiento fiel de la norma ASTM E8-04 en el procedimiento para la realización del ensayo.

Para la evaluación de la fuerza aplicada en el ensayo de tracción se utilizó la norma ASTM E4-99, que presenta el método para evaluar las lecturas de fuerza en máquinas de tracción, bajo parámetros de Resolución y Error en la medición.

Siguiendo los procedimientos descritos en la norma ASTM E4-99, para calcular los parámetros de evaluación de las lecturas de la fuerza aplicada por la máquina de tracción, se vieron los siguientes resultados: Resolución: 0.12 Lbf y error máximo: $\pm 1\%$.

3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO (MÁQUINA DE TRACCIÓN)

Una vez definidas las consideraciones a tener en cuenta en la realización del ensayo de fatiga mediante el cual se caracterizaron las aleaciones de Nitinol, en este capítulo se describe el equipo dispuesto para la automatización; El cual se encuentra en desarrollo por la escuela de Ingeniería Mecánica y el laboratorio de Investigación en Biomateriales como parte de un trabajo de grado, en su defecto se tomaron los datos de otros equipos de tracción para los cuales el sistema de adquisición de datos es adaptable.

Para la automatización de la máquina de tracción es necesario conocer su estructura y accesorios diseñados para realizar el ensayo de fatiga con las normas descritas en el capítulo anterior, con el fin de cumplir con los objetivos de obtener un equipo que proporcione ensayos confiables, reproducibles y versátiles.

En este capítulo se describen las diferentes máquinas de tracción para las cuales el sistema de adquisición de datos es adaptable, con sus respectivas partes y modo de funcionamiento.

3.1. EQUIPO INICIAL

El equipo de tracción que se encuentra en desarrollo por el laboratorio de investigación en biomateriales y la Escuela de Ingeniería Mecánica, consta de un tornillo sin fin de bolas con su respectiva tuerca, una base fija, una columna guía, un motor paso a paso, y dos mordazas.

Al término de este proyecto el equipo de tracción se encuentra en la etapa de diseño y obtención de las piezas, por lo tanto se hace necesario realizar los ensayos en otro equipo de tracción, en la figura 7 se presenta el prototipo del equipo de tracción en desarrollo, con sus respectivas partes.

Para la realización de los ensayos de fatiga, el sistema de adquisición de datos se implementó con el fin de que fuera adaptable a cualquier equipo de tracción, observándose que el control se realiza por medio de tres interruptores, dos interruptores controlan el sentido del giro del motor y el tercer interruptor detiene el movimiento del mismo, el giro del motor es transmitido por medio de engranajes al tornillo sin fin, y este a su vez desplaza una plataforma móvil, obteniendo una fuerza tensil en la probeta que se encuentra entre la plataforma fija y móvil.

La finalidad de los engranajes es la de aumentar el torque y reducir la velocidad transmitida al tornillo sin fin desde el motor, en los siguientes apartes se presentan algunos de los equipos de tracción con los que se cuenta en la Universidad Industrial de Santander y para los cuales el sistema de adquisición de datos es adaptable.

FIGURA 7. Prototipo del Equipo de Tracción.
Fuente: Laboratorio de Investigación en Biomateriales.



3.1.1. Máquinas de Tracción.

A continuación se describen dos máquinas de tracción que se identificaron por medio de la marca **Monsanto** e **Instron**, que están presentes en la Universidad Industrial de Santander.

La **Monsanto** es una máquina de tracción Horizontal presente en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, la cual posee mordazas intercambiables, un tornillo sin fin, dos barras guías de acero inoxidable, una plataforma fija y otra móvil, un motor de AC controlado por interruptores, y un sistema de poleas intercambiables que transmite el movimiento del motor por medio de una correa y un engranaje autobloqueante, en la figura 8 se presenta la máquina de tracción **Monsanto** con sus respectivas partes.

La **Instron** es una máquina de tracción vertical presente en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil, la cual posee mordazas intercambiables, celda de carga intercambiable, dos tornillos sin fin, dos columnas guías, dos finales de carrera, una plataforma fija y otra móvil, un motor AC controlado por interruptores, un sistema de engranajes que transmite el movimiento del motor a los tornillos sin fin y un sistema de visualización o toma de datos, en la figura 9 se presenta la máquina de tracción **Instron** con sus respectivas partes.

FIGURA 8. Equipo de Tracción Monsanto.
Fuente: El Autor.



1. Tornillo sin fin
- 2 y 3. Barras Guía
4. Plataforma Fija
5. Plataforma Móvil.
6. Motor
7. Interruptores de control
- 8 y 9. Poleas y Correa
10. Engranaje Autobloqueante

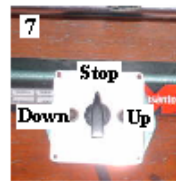
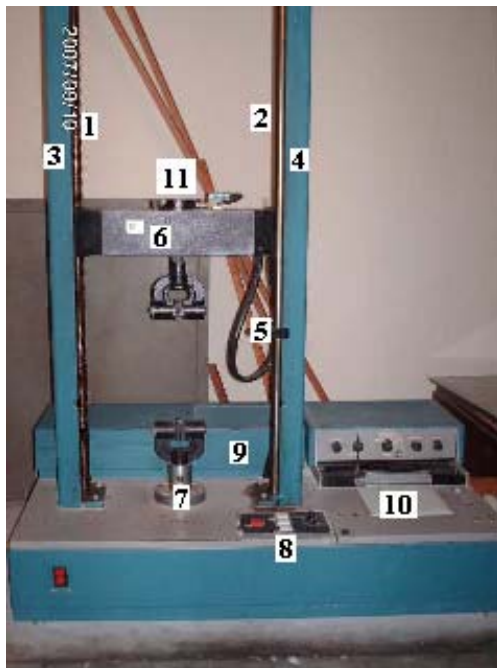
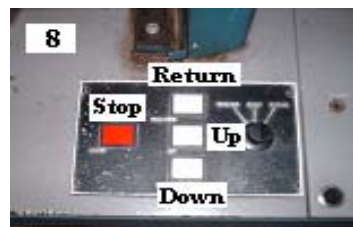


FIGURA 9. Máquina de Tracción Instron.
Fuente: El Autor.



- 1 y 2. Tornillos sin fin
- 3 y 4. Columnas guía
5. Final de carrera
6. Plataforma móvil con mordaza
7. Plataforma fija con mordaza
8. Interruptores de control del motor
9. Ubicación del motor
10. Sistema de toma de datos
11. celda de carga



Para la realización de las pruebas de fatiga se decidió por la máquina de tracción *Instron*, porque la *Monsanto* presenta problemas para el acople del recipiente con líquido y el sistema de frenado de la inercia del motor esta defectuoso, presenta un retardo de alrededor de 10 segundos para cambiar el sentido del giro del motor, por lo tanto los siguientes apartes hacen referencia a la máquina de tracción *Instron*.

3.1.2. Motor.

Es el dispositivo encargado de producir el movimiento de la plataforma móvil en este caso es un motor de alterna de Bodine Electric Company tipo NS7-55 de 115Vac 60Hz, con una corriente máxima de 4.8 A, con velocidad de 1800 RPM y $\frac{1}{8}$ de caballo de fuerza, lamentablemente no se pudo obtener una imagen del motor por la ubicación del mismo dentro de la estructura metálica, que es complicado removerla.

3.1.3. Engranajes.

La finalidad de los engranajes es convertir el giro del motor en desplazamiento lineal de la plataforma móvil que aloja la celda de carga, además aumenta el torque y reduce la velocidad del motor transmitida a los tornillos sin fin, con tal de aplicar la carga necesaria a una velocidad deseada, en la figura 10 se presenta una relación de engranajes del equipo de tracción *Instron*, en la cual el numero de dientes del engranaje mayor es de 80 dientes y el del engranaje menor es de 24 dientes.

FIGURA 10. Caja de Engranajes del Equipo de Tracción Instron.
Fuente: El Autor.



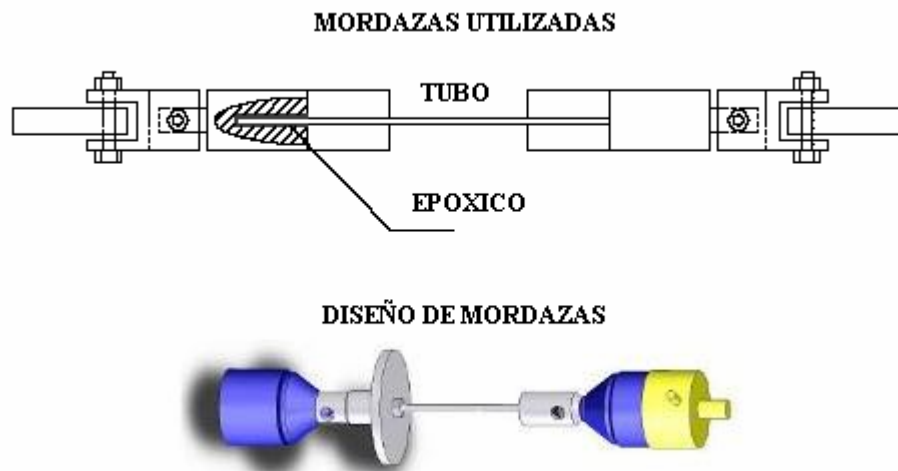
Esta relación de engranajes es intercambiable obteniéndose así diferentes velocidades y torques, cabe anotar que la información sobre la forma de transmisión del motor a los engranajes y de los engranajes a los tornillos sin fin no se obtuvo puesto que la estructura externa no permite su observación, además el desarme de tal estructura es complicado.

3.1.4. Mordazas.

Para el ajuste de la probetas o el microtubo fue necesario diseñar e implementar unas mordazas especiales para cumplir con los siguientes requerimientos: aplicación de una carga ya sea constante o variable sin que la mordaza libere la probeta y la aplicación de una presión constante o variable dentro del tubo, para lo cual la mordaza debe poseer una tubería interna.

En la figura 11 se presenta un esquemático de las mordazas utilizadas para realizar el ensayo de fatiga, junto con el diseño de las mordazas para la máquina de tracción en construcción.

FIGURA 11. Mordazas Utilizadas.
Fuente: El Autor.



3.1.5. Plataforma Fija y Móvil.

Como se observa en la figura 9 la plataforma móvil es desplazada por los dos tornillos sin fin presentes a cada lado de la plataforma, además en la parte central presenta un orificio para el alojamiento de la celda de carga de la cual se desprende la mordaza, la composición de la estructura es de acero dando así rigidez a los ensayos de tracción, por su parte la plataforma fija en este caso es un acople roscado para la mordaza y se encuentra ensamblado en la base de la máquina.

3.2. ESTRUCTURA FINAL DEL EQUIPO (MÁQUINA DE TRACCIÓN INSTRON)

La estructura final del equipo de tracción *Instron* que se empleó en la realización de los diferentes ensayos de fatiga, no tuvo variaciones importantes con respecto a su modelo original, en este caso la única variante fue el empleo de pinzas especiales para la fijación de la probeta, y en todo caso de los diferentes equipos iniciales antes vistos, el equipo final para el sistema de adquisición de datos será el equipo de tracción que se encuentra en construcción, y es desarrollado por el laboratorio de Investigación en Biomateriales y la Escuela de Ingeniería Mecánica como proyecto de grado para su uso como equipo de laboratorio.

Cabe anotar que de los diferentes equipos iniciales la mayoría no pertenece al laboratorio de Investigación en Biomateriales, pero se utilizó el equipo de tracción *Instron* en calidad de préstamo para realizar los ensayos de fatiga iniciales, y de los diferentes sensores se carecía de la mayoría, por lo tanto fue necesario adquirir tanto el equipo de tracción, como los diferentes sensores para contar con la máquina de fatiga como instrumental del laboratorio.

3.2.1. Sensor de Temperatura.

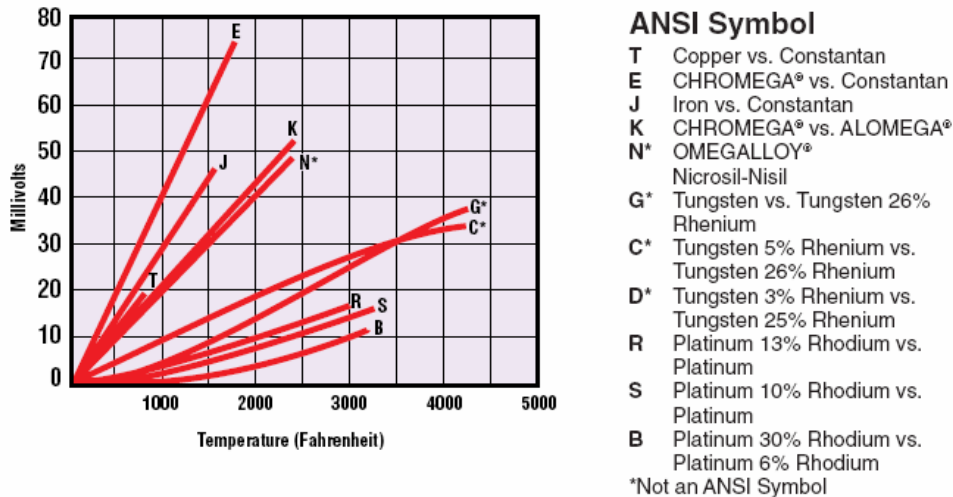
Para la medición de temperatura el laboratorio contaba con una termocupla tipo K como sensor, tal dispositivo funciona por *efecto Seebeck* nombrado así en honor a Thomas Seebeck quien hizo este descubrimiento en 1821, este fenómeno termoeléctrico consiste en que si dos hilos de metales diferentes son unidos en sus terminales y uno de sus terminales en calentado entonces hay un flujo de corriente en el circuito cerrado, además si tal circuito es abierto en el centro se puede medir un voltaje de circuito abierto (*voltaje de seebeck*), que es función de la temperatura de la unión y de la composición de los dos metales, $\Delta e_{AB} = \alpha T$ donde α ($\mu V/^{\circ}C$) es el coeficiente de Seebeck y es una constante proporcional que depende de la composición de los metales, la figura 12 se constituye en un diagrama que permite resumir los fenómenos mencionados.

FIGURA 12. En la izquierda efecto Seebeck, a la derecha Voltaje de Seebeck.
Fuente: Omega Engineering Inc.



La termocupla tipo K que posee el laboratorio está compuesta de dos hilos uno de níquel-cromo y el otro de níquel-aluminio, presenta un rango de medición de temperatura de 0 a $1370^{\circ}C$ y un coeficiente de Seebeck de $\alpha = 40 \mu V/^{\circ}C$, hay otros tipos de termocuplas conocidas como la tipo E, J, R, S y T que tienen diferentes composiciones, coeficientes de seebeck y rangos de medición de temperatura, como se observa en la figura 13.

FIGURA 13. Diferentes tipos de Termocuplas y sus composiciones.
Fuente: Omega Engineering Inc.



Las ventajas y desventajas del empleo de una termocupla se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Ventajas y Desventajas del empleo de una Termocupla
Fuente: El Autor.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No necesita alimentación	No es lineal
Amplio rango de temperatura	Bajo voltaje de salida
Diferentes tipos para cada aplicación	Necesita Compensación o Referencia
Sencilla	Baja Estabilidad
Bajo costo	Poca Sensibilidad

El uso de este dispositivo en la construcción de este proyecto de grado fue descartado por las siguientes razones:

- ◆ El dispositivo es poco preciso por su baja estabilidad y no linealidad.
- ◆ Para emplear la termocupla es necesario compensarla ya sea por software, o por hardware empleando un bloque isotérmico y un sensor mas lineal (RTD), lo cual es innecesario ya que el rango de medición de temperatura en el proceso es pequeño (-50 a 150 °C), comparado con el rango de medición de la termocupla tipo K, y fácilmente este rango lo puede medir una RTD, también se puede compensar con el uso de circuitos integrados que emplean la compensación por temperatura de unión fría.
- ◆ La termocupla es un sensor muy utilizado en aplicaciones de altas temperaturas por otros equipos del laboratorio, por lo tanto es prescindible que el sistema de adquisición de datos cuente con un sensor propio y que no dependa del uso de otros equipos.

Una vez descartado el uso de la termocupla el siguiente candidato como sensor de temperatura es la RTD (*Resistance Temperature Detector*) o detector resistivo de temperatura, Sir Humprey Davy en 1821 anuncio que la resistencia de los metales muestra una marcada dependencia de la temperatura, y cinco años después Sir William Siemens refirió el uso platino como elemento detector de temperatura por su variación en la resistencia.

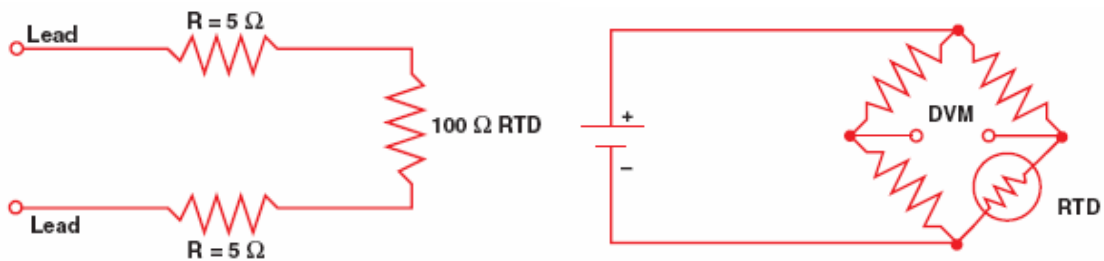
El platino es uno de los materiales más usados en la construcción de una RTD, pero se utilizan otros metales como se muestra en la Tabla 2 y que presentan diferentes resistividades, su costo depende del material de fabricación.

Tabla 2. Diferentes Tipos de Metales y sus Resistividades
Fuente: Omega Engineering Inc.

METAL		RESISTIVITY OHM/CMF
		(cmf = circular mil foot)
Gold	Au	13.00
Silver	Ag	8.8
Copper	Cu	9.26
Platinum	Pt	59.00
Tungsten	w	30.00
Nickel	Ni	36.00

La configuración de una RTD influye drásticamente en la medición de la temperatura, de esta manera que cada configuración presenta Ventajas y desventajas, la primera configuración es la RTD de dos hilos, esta configuración presenta la desventaja que la resistencia de las líneas se adiciona a la resistencia de la RTD creando un error en la medición, este tipo de RTD se emplea en la configuración de un puente de *Wheatstone* teniendo en cuenta el efecto de las líneas de la RTD en la medición, la figura 14 muestra el efecto de las líneas en la medición y la configuración de la RTD en el puente de *Wheatstone*.

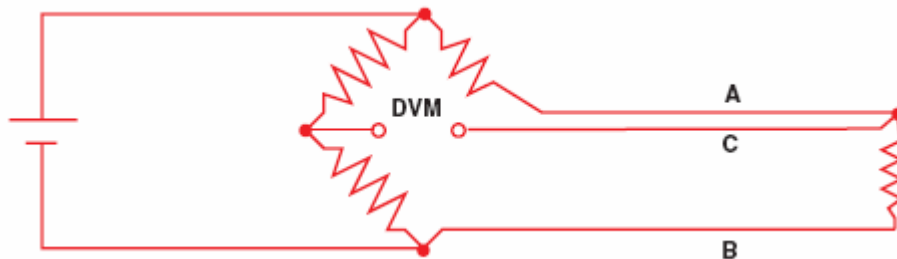
FIGURA 14. Efecto de las líneas de la RTD y su configuración en un puente de Wheatstone.
Fuente: Omega Engineering Inc.



La siguiente configuración es la RTD de tres hilos. Con este tipo de RTD se minimizan los efectos de adición de la resistencia de las líneas a la resistencia de la RTD. Como se observa en la figura 15 las líneas A y B tienen la misma longitud, los efectos de su impedancia se cancelan porque cada una de las líneas se ubican en ramas opuestas del puente, y la línea C actúa sensando el voltaje sin portar corriente, la desventaja de esta

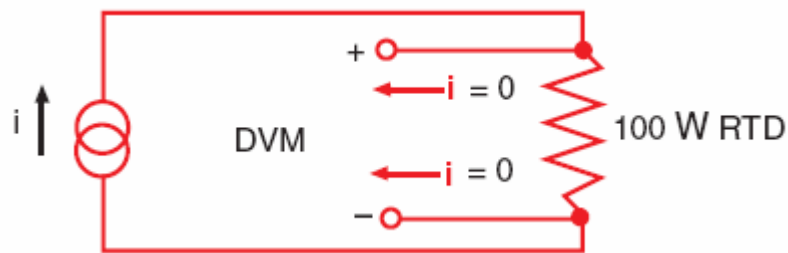
configuración es que se pueden introducir errores si las líneas A y B no tienen igual longitud o resistencia, además esta configuración produce una relación no lineal entre el voltaje de salida del puente y el cambio de resistencia de la RTD, por lo tanto es necesario caracterizar el puente de *Wheatstone* incluyendo la RTD.

FIGURA 15. Configuración de una RTD de tres líneas en un puente de Wheatstone
Fuente: Omega Engineering Inc.



La última configuración es la RTD de cuatro hilos; esta RTD elimina por completo los efectos que las líneas hacen sobre la medición. Como se observa en la figura 16 dos de las líneas conducen la corriente de excitación del sensor, y las otras dos realizan la medición de voltaje que es directamente proporcional al cambio de resistencia, sin conducir corriente, la única desventaja que presenta esta configuración es un pequeño aumento en el costo del dispositivo con relación a las anteriores tipos de RTD.

FIGURA 16. RTD de cuatro hilos alimentada con una fuente de corriente.
Fuente: Omega Engineering Inc.



Esta última configuración ofrece además la ventaja de eliminar el puente *Wheatstone* como circuito excitador, evitando así los errores producidos por las tolerancias de las resistencias que conforman el puente.

Otra característica fundamental es la tolerancia que tiene la RTD en la medición de temperatura. Dependiendo del valor de tolerancia se clasifica la RTD, una RTD con una tolerancia menor al 2% es clase A, y una RTD con tolerancia menor al 5% es clase B, en la tabla 3 se muestra la comparación de una RTD clase A con una clase B con la desviación que se presenta en la medición de temperatura.

Otros factores que se deben tener en cuenta con la RTD es el autocalentamiento que es producido por efecto *Joule* al excitarse el sensor, y el tiempo de respuesta de la RTD, que es el tiempo de retardo que presenta el sensor en dar respuesta a una variación térmica.

Tabla 3. RTD clase A, comparada con una RTD clase B
Fuente: Omega Engineering Inc.

Class A			Class B		
Temperature °C	Deviation		Temperature °C	Deviation	
	ohms	°C		ohms	°C
-200	±0.24	±0.55	-200	±0.56	±1.3
-100	±0.14	±0.35	-100	±0.32	±0.8
0	±0.06	±0.15	0	±0.12	±0.3
100	±0.13	±0.35	100	±0.30	±0.8
200	±0.20	±0.55	200	±0.48	±1.3
300	±0.27	±0.75	300	±0.64	±1.8
400	±0.33	±0.95	400	±0.79	±2.3
500	±0.38	±1.15	500	±0.93	±2.8
600	±0.43	±1.35	600	±1.06	±3.3
650	±0.46	±1.45	650	±1.13	±3.6
			700	±1.17	±3.8
			800	±1.28	±4.3
			850	±1.34	±4.6

Para la conversión de temperatura a resistencia se puede utilizar la expresión 4 de *Callendar-Van Dusen* como una caracterización estricta de una RTD, o la expresión 5 como una aproximación de la anterior.

$$R_T = R_o + R_o \alpha \left[T - \delta - \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \left(\frac{T}{100} \right) - \beta \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \left(\frac{T}{100} \right)^3 \right] \quad (4)$$

R_T = Resistencia a la temperatura T.

R_o = Resistencia a T=0°C.

α = Coeficiente de Temperatura (típico para el platino 0.00392Ω/Ω/°C)

δ = Factor de corrección (1,49 para el platino)

$\beta = 0$ T > 0, $\beta = 0,11$ T < 0 (platino)

$$\Delta R = R_o (1 + \alpha * \Delta T) \quad (5)$$

Las ventajas y desventajas del empleo de una RTD se observan en la tabla 4.

Tabla 4. Ventajas y Desventajas del uso de una RTD.

Fuente: El Autor.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mayor Estabilidad	Requiere fuente de corriente
Mas Linealidad	Autocalentamiento
Mayor Exactitud	Pequeñas ΔR
Costo Moderado	
Mayor Sensibilidad	

Para la construcción del sistema de adquisición de datos se optó por una RTD con configuración de cuatro hilos por las características y ventajas antes mencionadas, ya que cumplen con los requerimientos establecidos como mayor exactitud, estabilidad en la medición de la temperatura y rango de medición óptimo para la aplicación.

La referencia de la RTD obtenida es: RTD-3-1PT100KN3026CLA-60-G de Omega Engineering Inc., donde el 3 significa que es configuración de 4 hilos, 1PT100 que es una RTD de platino con una resistencia $R_0=100\Omega$ a $T=0^\circ\text{C}$, KN encapsulado cerámico, 3026 que tiene como dimensiones 30 mm de largo y 2,6 mm de diámetro, CLA que es clase A y 60 G que tiene una extensión de 60 pulgadas de largo forrada en fibra de vidrio. Este sensor se ubica dentro del recipiente donde se encuentra la probeta inmersa en silicona o en su defecto agua, en la figura 17 se presenta el sensor mencionado y posteriormente algunos datos del fabricante, en la figura 18 la curva de caracterización del sensor. Para mayores detalles en el Anexo B.5 se presenta la hoja de datos del sensor.

FIGURA 17. RTD

Fuente: El Autor.

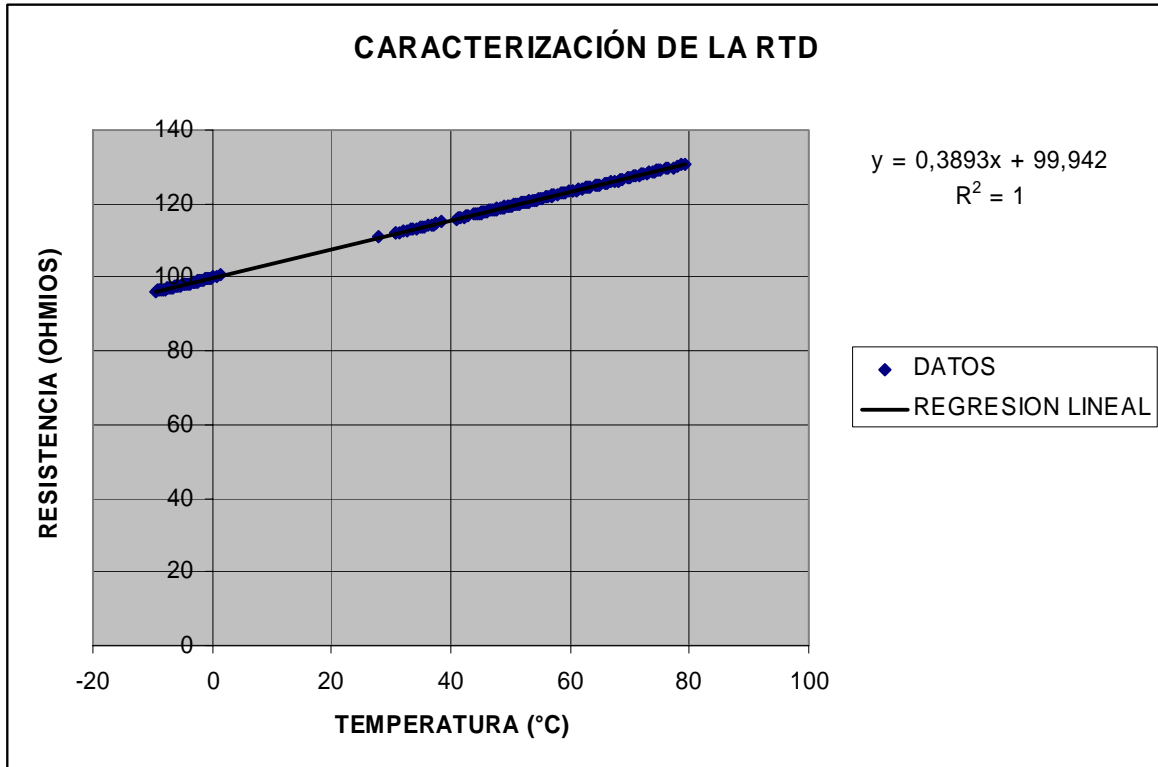


Rango: -200 a 600 °C

Error de Autocalentamiento: 0.06°C/mW.

Coefficiente de temperatura α : 0.00385 $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$.

FIGURA 18. Caracterización de la RTD.
Fuente: El Autor.



3.2.2. Sensor de Presión.

Para el estudio del comportamiento radial de los microtubos de *Nitinol*, en este caso para caracterizar esfuerzo radial σ_R bajo fatiga, es necesario proveer dentro del tubo una presión en forma cíclica similar a los ciclos de la presión sanguínea y así obtener los datos del comportamiento del microtubo actuando como *Stent*. Bajo condiciones simuladas a las del cuerpo humano. El esfuerzo radial σ_R es una medida directamente proporcional a la fuerza o carga ejercida a las paredes internas del microtubo y por lo tanto directamente proporcional a la presión ya mencionada.

La presión sanguínea promedio de una persona normalmente saludable es de 120/80 mmHg y varía con una frecuencia de aproximadamente 1.2 Hz, esta medida de presión se hace sobre la presión atmosférica y varía al incrementarse la edad de la persona y sus condiciones de salud, haciendo el cambio de unidades este valor representa 15,99/10.66 kPa o 2,32/1,547 PSI.

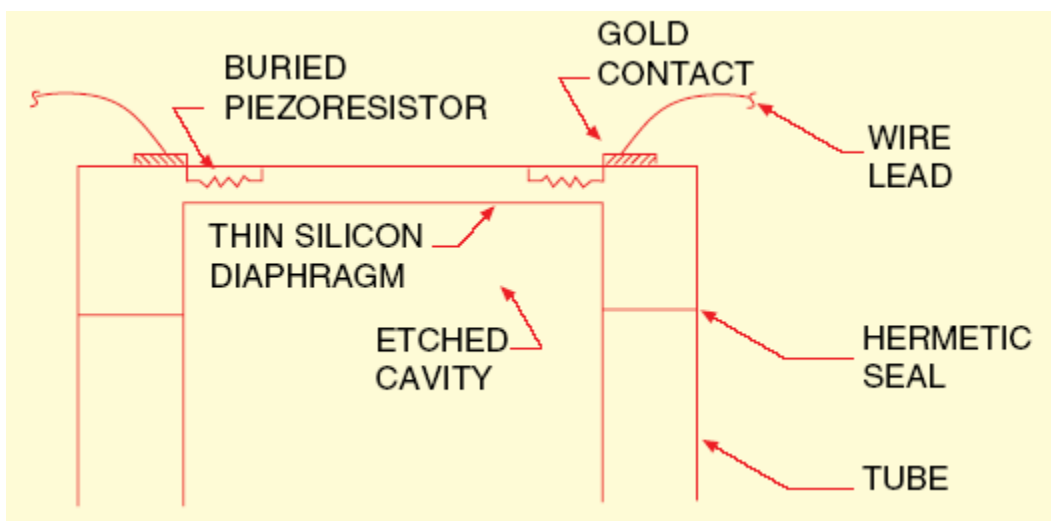
En este caso se decidió que el sensor de presión midiera en un rango de 0 a 5 PSI y así tener un rango de operación amplio, además el sensor debe medir la presión de un gas o en su defecto de aire presurizado.

De los diferentes tipos de sensores de presión como el tipo capacitivo, galgas extensiométricas, Piezoelectrico y Piezoresistivo, se prefirió este último porque tiene una rápida respuesta a variaciones de presión, de aproximadamente de $1\mu s$, otras características son:

- ◆ Posee una estructura rígida generalmente de acero u otro metal.
- ◆ Presenta una baja impedancia de salida.
- ◆ Presenta adecuada linealidad, repetibilidad y sensibilidad.

En la figura 19 se presenta la estructura de un sensor de presión Piezoresistivo.

FIGURA 19. Estructura de un Sensor Piezoresistivo
Fuente: Omega Engineering Inc.

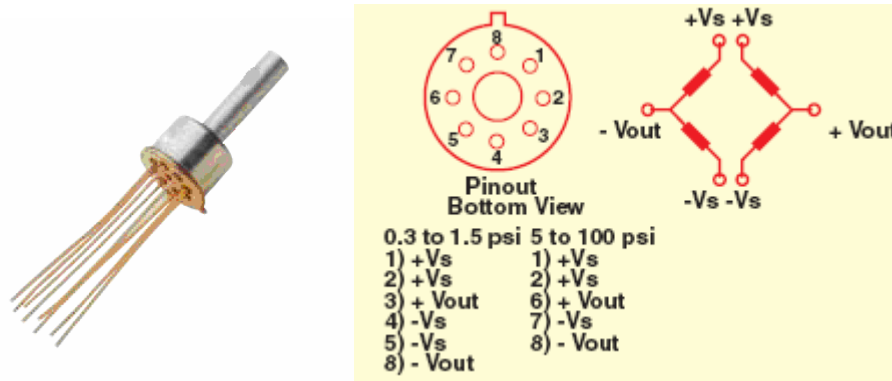


El funcionamiento de un sensor de presión Piezoresistivo es de la siguiente manera: Al aplicar una presión sobre el diafragma de silicón, ésta se deforma por el esfuerzo aplicado, dicha deformación produce una variación sobre los piezoresistores que forman un puente de **Wheatstone**, el cambio en el valor de las resistencias del puente es directamente proporcional a la deformación del diafragma que a su vez es proporcional a la presión aplicada ($\Delta P \sim \Delta \sigma \sim \Delta R$).

Para la realización de este trabajo de grado seleccionó un sensor de presión Piezoresistivo con un rango de presión de 0 a 5 PSI y las características deseadas como: medición de gases presurizados, alta sensibilidad y linealidad.

La referencia del sensor es PX72-005GV de Omega Engineering Inc., y se ubica entre la probeta y la válvula de presión electrónica, en la figura 20 se muestra el sensor y posteriormente algunas de sus características, para mayores detalles en el Anexo B.4. Se presentan apartes de la hoja de datos del sensor.

FIGURA 20. Sensor de Presión Piezoresistivo.
Fuente: Omega Engineering Inc.



Rango de presión: 0 – 5 PSI.
 Impedancia del Puente: $3300\Omega \pm 700\Omega$
 Linealidad: $\pm 0.5\%$ Full Scale (FS)
 Repetibilidad: $\pm 0.3\%$ (FS)
 Compensado en el rango de temperatura: $-15 - 185\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Sensibilidad: Típica 20 mV/PSI.
 Alimentación: 5Vdc

3.2.3. Transductor de Fuerza.

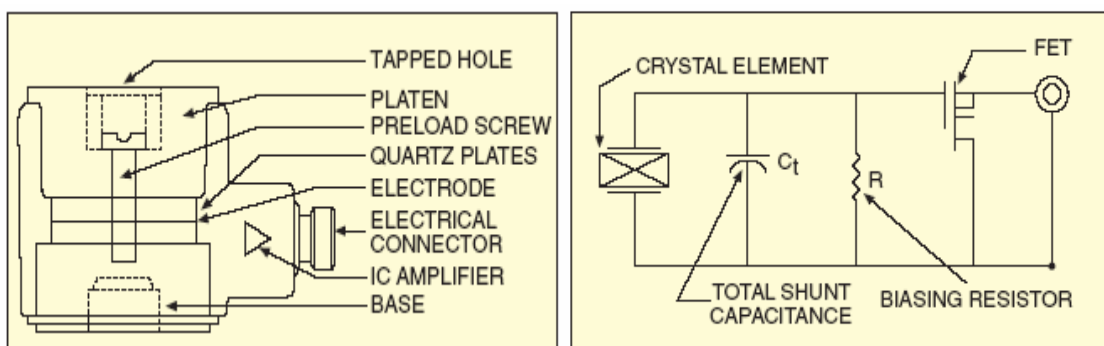
Para el proceso de fatiga se deben realizar ensayos de tracción a los microtubos ya sea de forma constante o en ciclos, con el fin de obtener la medición del esfuerzo longitudinal σ_L aplicado a los tubos. Esta medición se realiza directamente sobre la fuerza mecánica ejercida a la probeta, por lo tanto es necesario contar con un transductor que realice la conversión de la señal mecánica de fuerza a la señal eléctrica de voltaje.

Para realizar el ensayo de tracción se limitó el rango de carga aplicada de (0 – 500) Lbf que equivale a (0 - 2.22411) kN. De los diferentes transductores que permite realizar este tipo de mediciones se encontró un candidato que realiza la medición de fuerza en forma directa, la celda de carga. Este tipo de dispositivo se presenta en diferentes rangos de carga incluyendo el deseado, además tiene un valor de sobrecarga segura del 150% de la capacidad de la misma, en este caso si la celda un rango de medida hasta 500 Lbf la sobrecarga segura que puede soportar la celda es de 750 Lbf antes de presentar daños, la sobrecarga de fractura de la celda es del 300% de la capacidad de la misma.

Una celda de carga es un sensor piezoeléctrico conformado por cristales de cuarzo, y un amplificador y su funcionamiento es el siguiente: Al aplicar tensión o compresión mecánica sobre los discos de cristales de cuarzo estos generan una señal, el signo de la señal indica el tipo de acción mecánica que efectúa, + si es tensión y – si es compresión, dicha señal es

enviada al amplificador en este caso un MOSFET que tiene como ganancia uno, pero disminuye la resistencia de salida del sensor en razón de 10 en comparación si la salida del sensor fuese directamente de los cristales de cuarzo, en la figura 21 se presenta la estructura y circuito que conforma una celda de carga.

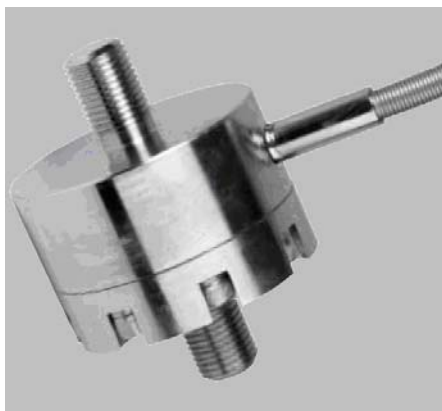
FIGURA 21. Estructura y Circuito que Conforman una Celda de Carga.
Fuente: Omega Engineering Inc.



Para la medición de la carga aplicada a la probeta se seleccionó una celda de carga con una capacidad de 0 – 500 Lbf tanto en compresión como en tensión mecánica, la referencia es LD203-500 de la compañía Omega Engineering Inc., y se ubica entre la plataforma móvil y las pinzas que sostiene la probeta.

En la figura 22 se presenta la celda de carga seleccionada seguidamente se presenta algunas de sus características, se insta al lector leer el Anexo B.2 si desea más información sobre la celda de carga.

FIGURA 22. Celda de Carga LD203-500.
Fuente: El Autor.



Excitación: 10-15 Vdc
 Capacidad: ± 500 Lbf
 Salida: $0.2 \text{ mV/V} \pm 0,25 \%$
 Linealidad: $\pm 0.15 \%$
 Repetibilidad: $\pm 0.05 \%$
 Resistencia de entrada: 501.9Ω
 Resistencia de salida: 351.3Ω

3.2.4. Transductores de Desplazamiento.

Durante los ensayos de tracción y presión no solo es importante medir el esfuerzo longitudinal σ_L y el esfuerzo radial σ_R sobre la probeta, en estos ensayos también ocurre otro fenómeno llamado deformación ε y está estrechamente relacionado con cada uno de los ensayos antes mencionados y sus respectivos esfuerzos, cuando a un microtubo se le aplica una carga en forma longitudinal se observa una deformación longitudinal ε_L , y cuando se le aplica una presión interna a la probeta se observa una deformación radial ε_R .

Es preciso aclarar que la medición de la deformación radial ε_R no se encuentra dentro de los objetivos de este proyecto porque no está especificada en los compromisos planteados, sin embargo el autor presenta esta solución como un adicional al proyecto, del problema que le fue planteado en el transcurso de la elaboración del mismo, el autor se compromete solo a seleccionar el sensor de desplazamiento radial y a realizar su acondicionamiento, por su parte el Laboratorio de Investigación en Biomateriales realiza la obtención del sensor.

Para la medición de estas dos deformaciones (ε_L y ε_R) se debe medir el estiramiento o elongación que la probeta presenta durante cada el proceso (carga y presión), los dispositivos empleados para realizar dichas mediciones son transductores de desplazamiento, actualmente se cuenta con una amplia gama de dispositivos para realizar esta medición como: los sensores de ultrasonido, sensores magnéticos o inductivos, LVDT's y potenciómetros de desplazamiento lineal.

Para emplear los sensores ultrasónicos y de tipo inductivo es fundamental que el objetivo sobre el cual se realiza la medición tenga unas dimensiones iguales o similares a la parte frontal del sensor, que es donde estos sensores emiten sus señales ultrasónicas y magnéticas, razón por la cual se descarta su uso en este proyecto, porque las dimensiones del microtubo son muy pequeñas en comparación con las dimensiones de la cara del sensor, ya sea ultrasónico o magnético.

Para la elección de los dos transductores de desplazamiento se tuvieron en cuenta las siguientes especificaciones para cada transductor, ver tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones para los Transductores de Desplazamiento.
Fuente: El Autor.

Desplazamiento radial	Desplazamiento longitudinal
Compensado entre 0 y 150 °C	Construcción robusta
Inmersión en líquidos	Rango (0 - 50) mm
Rango (0 - 1.5) mm	Alta sensibilidad
Alta sensibilidad	Alta resolución
Amplio ciclo de vida útil	Adaptable sobre la estructura

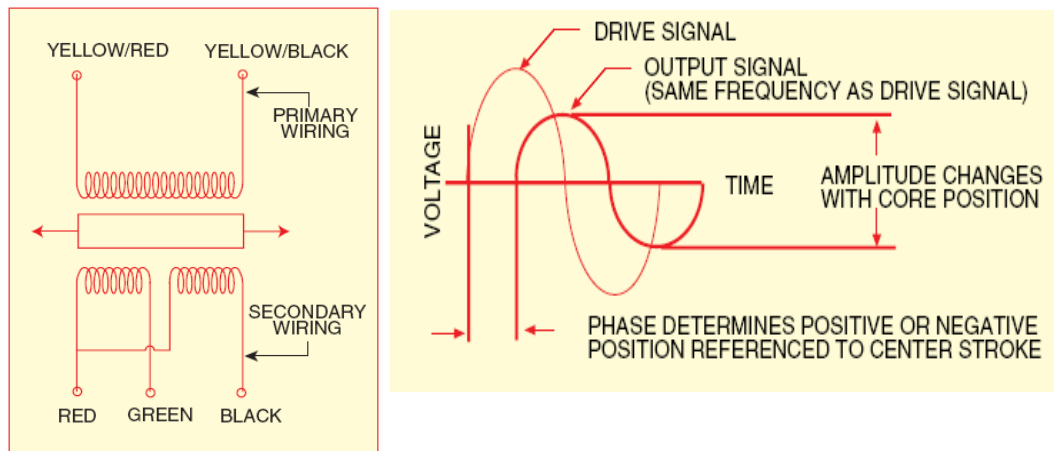
Para la medición del desplazamiento radial el potenciómetro se descarta porque no se puede sumergir en líquidos y no está compensado en el rango de temperatura especificado. Por lo tanto el más oprimado es el LVDT que cumple con todos los requerimientos. Para la medición del desplazamiento longitudinal cualquiera de los dos sensores cumplen con las especificaciones, sin embargo se decidió por un potenciómetro de desplazamiento lineal por la sencillez en su funcionalidad y adaptabilidad.

LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) (Adicional): es un sensor eléctrico utilizado para la medición de desplazamiento, que consta de un devanado primario, dos devanados secundarios y un núcleo ferroso similar a un transformador, pero en este dispositivo el núcleo es móvil.

Su funcionamiento es el siguiente: Al excitar el devanado primario con una señal de voltaje de alterna de alta frecuencia, este genera un flujo magnético que viaja a través del núcleo ferroso, dicho flujo magnético en el núcleo induce en los devanados secundarios un voltaje cuya magnitud depende de la posición del núcleo dentro del sensor.

Como se observa en la figura 23 cuando el núcleo está centrado dentro del sensor la magnitud del voltaje inducido en los devanados secundarios es igual, pero una vez el núcleo se desplaza en una dirección, la magnitud de voltaje del devanado secundario localizado en la dirección contraria disminuye; la diferencia de voltaje de los devanados secundarios es proporcional al desplazamiento realizado, para la determinación de la dirección se observa la diferencia entre las fases de los devanados secundarios.

FIGURA 23. Estructura de un LVDT y sus Señales de Entrada y Salida.
Fuente: Omega Engineering Inc.



En este trabajo de grado se seleccionó un LVDT para la medición del desplazamiento radial y posteriormente obtener la deformación radial ϵ_R . La referencia del LVDT es LD200-1.25 de Omega Engineering Inc. En la figura 24 se muestra el sensor seleccionado y posteriormente algunas características del sensor. Este dispositivo estaría ubicado dentro

del recipiente con su núcleo en contacto con la probeta en forma perpendicular, en el Anexo B.7 se presenta la hoja de datos del LVDT.

FIGURA 24. LVDT Seleccionado.
Fuente: Omega Engineering Inc.



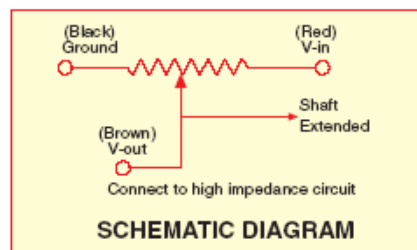
Frecuencia de excitación: 1 a 10 kHz
 Voltaje de excitación: 1 a 10 V_{RMS}
 Temperatura de operación: -55 a 150°C
 Rango de medición: ±1.25 mm
 Sensibilidad: 250 mV/V/mm

Potenciómetro de desplazamiento lineal: Este dispositivo consta de una lámina de plástico conductiva sobre la cual se desliza un contacto eléctrico accionado por una barra o núcleo, este tipo de dispositivos funciona de la siguiente manera: El sensor es energizado con un voltaje DC que se aplica a través de toda la lamina conductiva, el desplazamiento de la barra acciona el contacto eléctrico que a su vez presenta un voltaje DC que es proporcional al deslizamiento realizado. Este tipo de dispositivos presenta un comportamiento descrito como divisor de voltaje, su comportamiento es descrito por medio de la expresión 6 y un esquemático de su estructura interna se presenta en la figura 25.

$$V_{out} = V_{exc} * \left(\frac{L_D}{L_T} \right) \quad (6)$$

- V_{out}: Voltaje de salida del sensor.
- V_{exc}: Voltaje de excitación del sensor.
- L_D: Desplazamiento realizado.
- L_T: Valor máximo de desplazamiento del sensor.

FIGURA 25. Estructura Interna del Potenciómetro Lineal.
Fuente: Omega Engineering Inc.



Para la medición del desplazamiento longitudinal y calcular la medición de deformación longitudinal ϵ_L se obtuvo un potenciómetro lineal de referencia LP802-50 de Omega Engineering Inc., en la figura 26 se observa el sensor obtenido y posteriormente algunas de sus características, en el Anexo B.3 se presenta la hoja de datos del dispositivo.

FIGURA 26. Potenciómetro Lineal LP802-50.
Fuente: El Autor.



Linealidad: $\pm 1.0\%$ FS (Full Scale)
Histéresis: ± 0.025 mm
Repetibilidad: ± 0.012 mm
Sensibilidad Incremental: $1.27 \mu\text{m}$
Rango de medición: (0 - 50) mm

3.2.5. Válvula de control de presión. (Adicional)

En el inicio de este proyecto para realizar los ciclos de presión se había decidido obtener un dispositivo que regulara la presión en forma mecánica, para introducir dentro del microtubo una presión que aumentara y disminuyera en forma lineal, es decir que describiese una onda triangular simulando en forma aproximada a una señal cardíaca, sin depender del sistema del adquisición de datos o su interfase.

La dificultad presentada en la obtención de la válvula mecánica, hizo que fuera necesario investigar si en el comercio se encontraba alguna que realizara la regulación en forma eléctrica cumpliendo con lo deseado, el resultado de la investigación arrojó como solución: Una válvula controlada electrónicamente por una señal de voltaje de (0 - 5) Vdc, que utiliza una válvula solenoide y un control de mando electrónico para controlar la presión, caudal y otros parámetros de los gases en forma proporcional, la referencia de la válvula es PV104-5V de Omega Engineering Inc.

En la figura 27 se presenta una imagen de la válvula PV104 y posteriormente algunas de sus características, esta se ubicaría después del sensor de presión para facilitar la salida de los gases o en su defecto aire, si el lector desea más información en el Anexo B.6. Se presenta la hoja de datos de la válvula.

Es preciso aclarar que el control de la válvula electrónica de presión, no se encuentra dentro de los objetivos de este proyecto porque no está especificada en los compromisos planteados, sin embargo el autor presenta esta solución como otro adicional al proyecto, del problema que le fue planteado en el transcurso de la elaboración del mismo, el autor se compromete solo a seleccionar la válvula electrónica de presión y a realizar su acondicionamiento para realizar el control de la

válvula desde el PC, por su parte el Laboratorio de Investigación en Biomateriales realiza la obtención de la válvula seleccionada.

FIGURA 27. Válvula Electrónica de Presión PV104.
Fuente: Omega Engineering Inc.



Voltaje de alimentación: 12 a 24 Vdc
Señal de control: 0 a 5 Vdc
Repetibilidad: $\pm 5\%$
Máxima presión: 40 PSI

3.2.6. Resistencia Térmica.

Para aplicar calor al proceso y así aumentar la temperatura ya sea en forma constante o en ciclos, el Laboratorio de Investigación en Biomateriales cuenta con diferentes equipos y elementos para tal fin, como se muestra en la figura 28, algunos de ellos son: resistencias térmicas, planchas y el equipo de calentamiento U2, los equipos y dispositivos antes mencionados tienen como fuente de alimentación la red de 120 Vac.

FIGURA 28. Dispositivos de Calentamiento.
Fuente: El Autor.



Para este proyecto se eliminó el uso de las planchas por su inadaptabilidad con el ensayo de fatiga, ya que no hay lugar en el proceso para introducir un dispositivo de dimensiones tan considerables, por otra parte se eliminó el uso del equipo U2 porque este utiliza una red de tuberías para hacer circular el agua caliente en el proceso, y dicha red invade en su mayoría el espacio del proceso, además este equipo se utiliza constantemente en el laboratorio en otras aplicaciones.

El uso de la resistencia térmica es el más adecuado para el proceso por sus dimensiones y versatilidad, además su control se puede realizar desde la interfase con el hardware adecuado, en la figura 29 se presenta la resistencia térmica utilizada para calentar el proceso y posteriormente algunas de sus características.

FIGURA 29. Resistencia Térmica Utilizada.
Fuente: El Autor.



Resistencia: 31Ω
Voltaje de Alimentación: 110Vac
Potencia Utilizada: 400W

3.2.7. Sistema de Refrigeración.

En el inicio de este proyecto se planteó que el sistema de refrigeración de control **ON-OFF** constara de un pequeño compresor que hiciera circular un líquido refrigerante a través de una tubería cercana a la probeta, pero se desechó la idea de su construcción por razones de costo y versatilidad, se tuvo en cuenta que la refrigeración durante el proceso no es importante en forma crítica, ya que esta solo pretende aumentar la velocidad de enfriamiento en los ciclos térmicos, mas no en hacer las pruebas a baja temperatura, puesto que se trata de simular las condiciones del cuerpo humano.

Además la construcción del recipiente para minimizar la transferencia de calor del proceso refrigerado y el medio ambiente, exige un grado más de complicación en la construcción de la máquina de tracción en desarrollo por la escuela de Ingeniería Mecánica y el Laboratorio de Investigación en Biomateriales, lo cual implica que la construcción de dicho recipiente pueda ser objetivo un trabajo de grado adicional.

Para superar este problema se implementó el siguiente sistema de refrigeración **ON-OFF**, que consta de dos bombas. Una de estas bombas activa la circulación de líquido refrigerado, y la otra bomba el líquido caliente, dentro de una tubería plástica. En la figura 30 se presenta un esquema del sistema de refrigeración, y en la figura 31 se presentan las bombas utilizadas y posteriormente algunas de sus características, ver Anexo B.19 para más información sobre las bombas.

Las bombas se controlan por medio del sistema de adquisición de datos con el releo RG.

FIGURA 30. Esquema del Sistema de Refrigeración Implementado.
Fuente: El Autor.

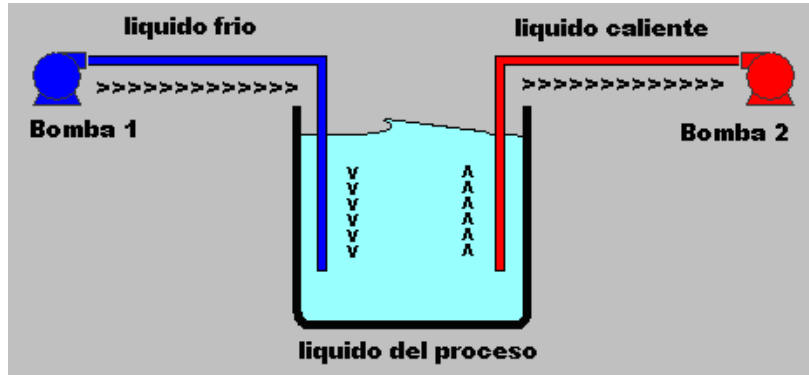


FIGURA 31. Bombas Utilizadas.
Fuente: El Autor.



Alimentación: 110 Vac
Corriente: 0.8 A

4. HARDWARE EMPLEADO EN LA AUTOMATIZACIÓN

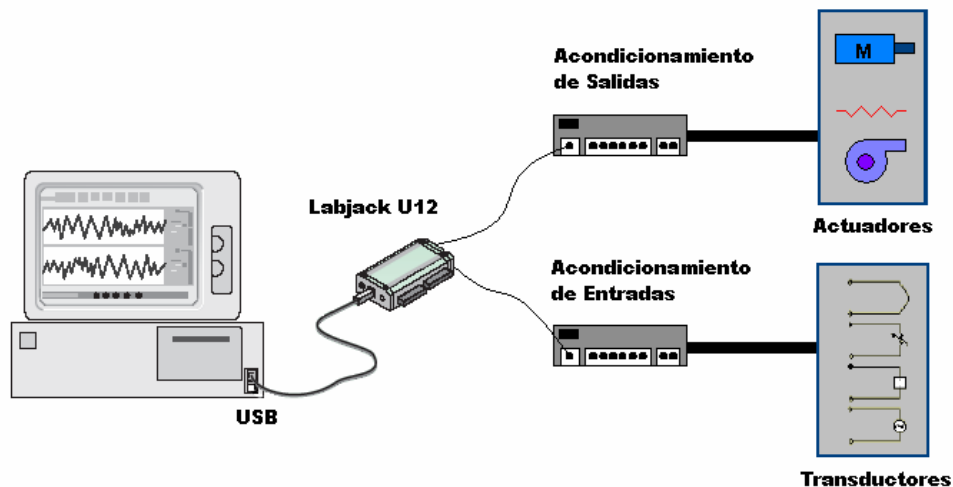
En este capítulo se describen las características de la tarjeta de adquisición de datos utilizada y las diferentes topologías de circuitos implementados para el acondicionamiento de las señales eléctricas provenientes de los transductores, así como para los circuitos de control de los actuadores, para el aislamiento eléctrico de la tarjeta de adquisición de datos, y las fuentes de alimentación para la excitación de los sensores y circuitos.

4.1. TARJETA LABJACK™ U12

Las diferentes señales acondicionadas provenientes de los transductores del equipo, fueron procesadas mediante **software**, la adquisición de datos fue realizada por la tarjeta de adquisición de datos que sirvió de puente entre la información del mundo real y el PC.

Una vez acondicionada cada señal proveniente de los diferentes sensores, se acoplan a las entradas de la tarjeta, para que posteriormente se envíen al computador por puerto USB y así adquirir los datos en el **software**. De manera inversa ocurre para el control, las señales de control son enviadas por el **software** del PC a la tarjeta por puerto USB, y de los diferentes terminales de salida de la tarjeta son enviados a los dispositivos de control, con el debido acondicionamiento de señal, en la figura 32 se presenta un diagrama del proceso descrito.

FIGURA 32. Adquisición de Datos y Control Realizado por el PC.
Fuente: El Autor.

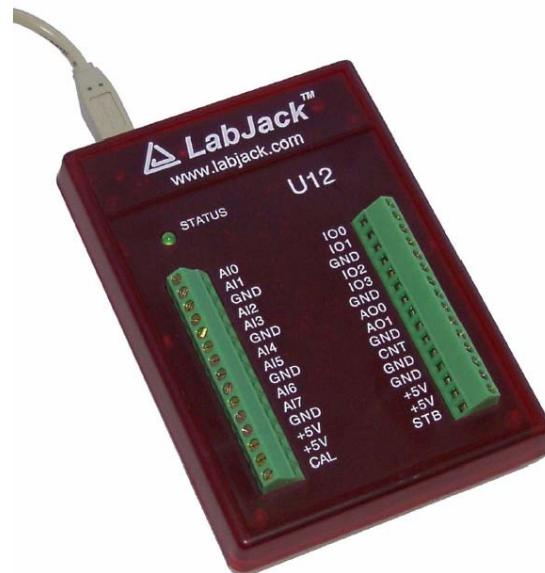


Para la comunicación con el PC, la tarjeta cuenta con su cable USB, y su bloque de terminales para las señales de entrada y salida, y se ubica dentro de la caja de acondicionamiento.

La tarjeta de adquisición de datos adquirida es comercializada por **Labjack Corporación**, bajo la referencia Labjack™ U12, su tasa de muestreo es variable desde 4096 Hz para 2 canales de entradas analógicas, hasta 50 Hz para 4 canales de entradas analógicas, también depende de la configuración utilizada en la interfase, lo que la hace versátil para la aplicación implementada, posee un bloque de terminales para acceder a los 8 canales de entradas analógicas, 2 canales de salidas analógicas, 4 canales digitales de salida y/o entrada, un contador de propósito general, una fuente de +5V y calibración.

La tarjeta cuenta además con puertos USB y paralelo para la comunicación con el PC, su alimentación es dada por el PC y la estructura interna de la tarjeta consta de un conversor Análogo/Digital de 12 bits y un amplificador de ganancia programable (PGA por sus siglas en ingles), en la figura 33 se presenta una fotografía del dispositivo.

FIGURA 33. Tarjeta de Adquisición de datos **Labjack™ U12**.
Fuente: <http://www.Labjack.com>



A esta altura, cabe mencionar que la tarjeta de adquisición de datos descrita es de propiedad del Laboratorio de Investigación en Biomateriales, y que este dispositivo se encontraba en el mismo antes de iniciar este Trabajo de grado, en el Anexo A.3 se describen los diferentes bloques que conforman la tarjeta de adquisición de datos, y que son utilizados en la automatización de la máquina de fatiga, si el lector desea mas información sobre la tarjeta instamos ver el Anexo B.1 donde se encuentra la hoja de datos de la misma.

4.2. FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Una fuente de alimentación es un circuito electrónico capaz de convertir la potencia de una fuente de energía, en este caso la red pública de corriente alterna AC, en el nivel de potencia requerido por el dispositivo electrónico a alimentar o energizar.

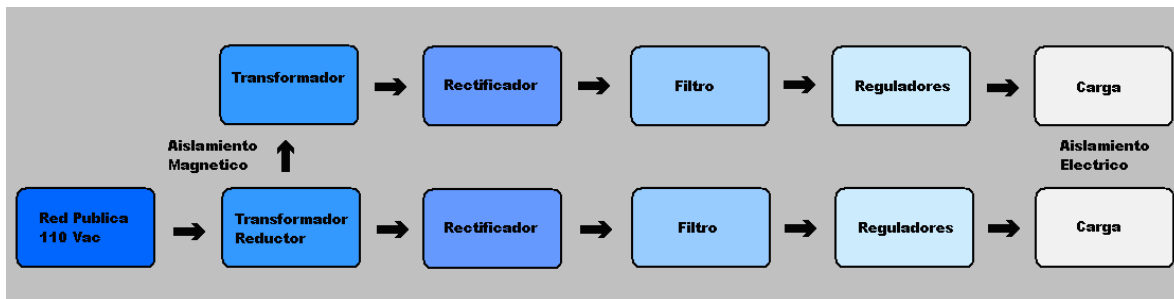
Para este caso la fuente de alimentación debe proveer voltaje tanto a los componentes activos como pasivos, que conforman el sistema de acondicionamiento o acople de las señales provenientes de los transductores, para tal fin se implementaron dos fuentes duales independientes que proveen un voltaje DC de $\pm 15V$, a partir de 110Vac de la red pública.

Como todo circuito electrónico, las fuentes diseñadas siguen unos parámetros de rendimiento que garantizan su buen desempeño, a continuación se presentan las características de fuentes diseñadas y sus parámetros de rendimiento.

4.2.1. Fuentes Empleadas.

En la elaboración de este proyecto de grado se emplearon dos fuentes independientes de $\pm 15Vdc$, esto con el fin de proveer alimentación y aislamiento eléctrico en el sistema de acondicionamiento de señal, en la figura 34 se presenta el diagrama de bloques de las fuentes implementadas, donde el primer bloque corresponde a la fuente de energía primaria para este caso la red pública de 110Vac.

FIGURA 34. Estructura de las Fuentes Empleadas.
Fuente: El Autor.

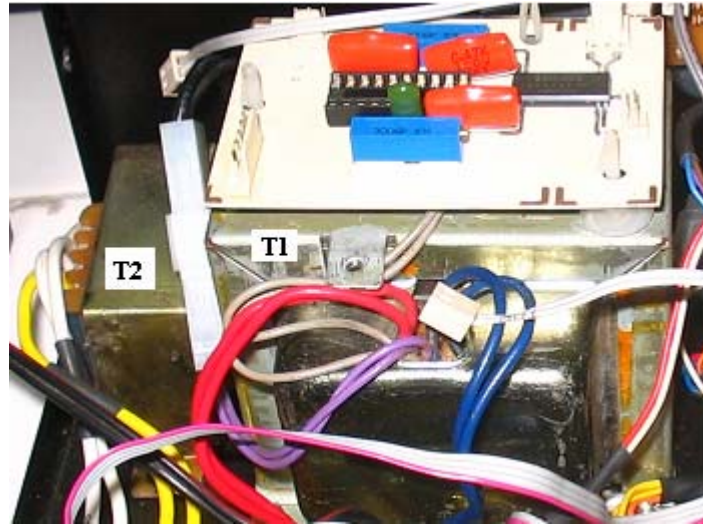


El voltaje de la red pública entra al devanado primario del transformador T1, el cual tiene cuatro devanados secundarios independientes, los cuales proveen los siguientes voltajes: dos de los devanados proveen cada uno 17 Vac para el rectificador 1, uno de los devanados secundarios provee 3 Vac para el control de un circuito sincrónico con la red.

El cuarto devanado secundario de T1 provee 17 Vac al devanado primario del transformador T2 que es de relación 1:1 y tiene 2 devanados secundarios, que proveen cada uno 17 Vac al circuito rectificador 2, el acople entre T1 y T2 provee un aislamiento

magnético, que posteriormente se utilizara en el circuito de acondicionamiento de señal, en la figura 35 se presentan los transformadores utilizados, cabe anotar que se contaba con los dos transformadores antes de iniciar el proyecto.

FIGURA 35. Transformadores Utilizados.
Fuente: El Autor.



A la salida de cada rectificador se obtiene un voltaje DC pulsante que es convertido en un voltaje DC uniforme por los filtros, los filtros están compuestos por condensadores de 3300 $\mu\text{F}/25\text{V}$.

Los reguladores son dispositivos monolíticos integrados que se encargan de mantener estable el voltaje que la fuente entrega a la carga, para tal fin se seleccionaron los reguladores LM7815 y LM7915 para las dos fuentes, además aprovechando la rectificación y filtrado de la fuente relacionada con T1 se adicionaron los reguladores LM7810, LM7805 y LM317 para la excitación de los sensores, y que posteriormente se explicarán en sus correspondientes ítems.

A la salida del bloque de reguladores y después de filtrar la señal a través del capacitor de 0.1 μF que mejora la inmunidad al ruido, se obtienen dos fuentes duales que proporcionan a la carga $\pm 15\text{V}$ y aislamiento eléctrico a los amplificadores ISO122, en el apartado siguiente se describe los parámetros de rendimiento de dichas fuentes, y a continuación en la figura 36 se presenta un esquemático de las fuentes implementadas para alimentar los circuitos de acondicionamiento de señal.

FIGURA 36. Diagrama Esquemático de las Fuentes Duales Implementadas.
Fuente: El Autor.

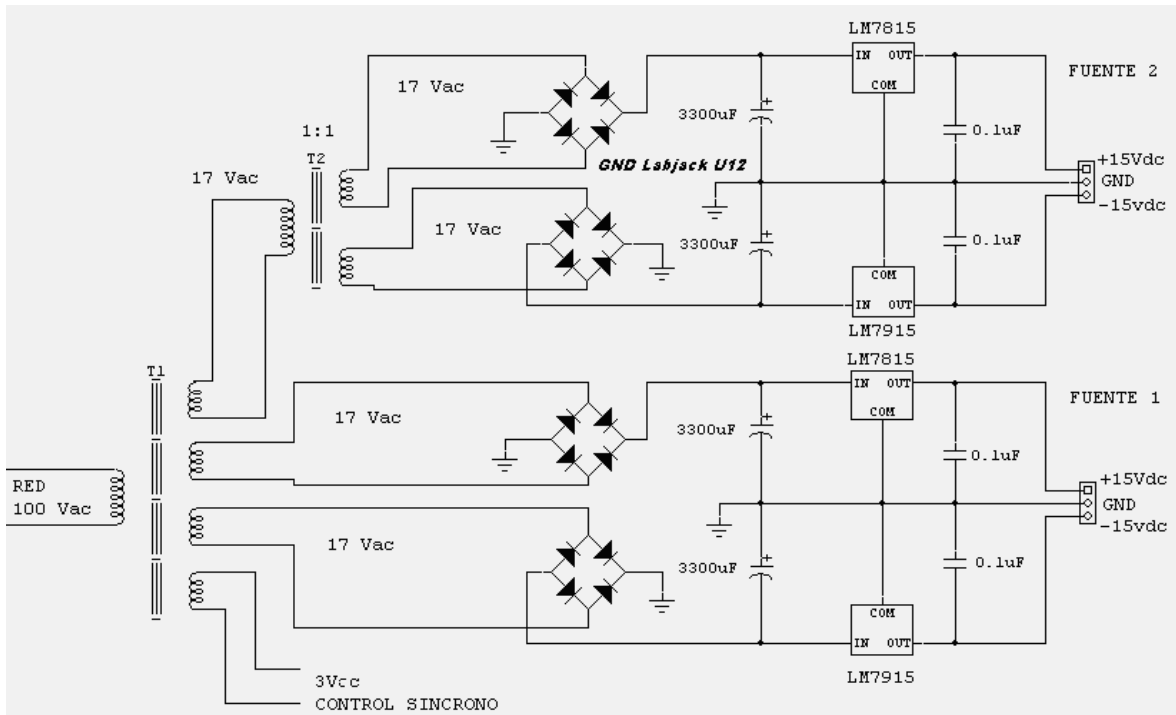
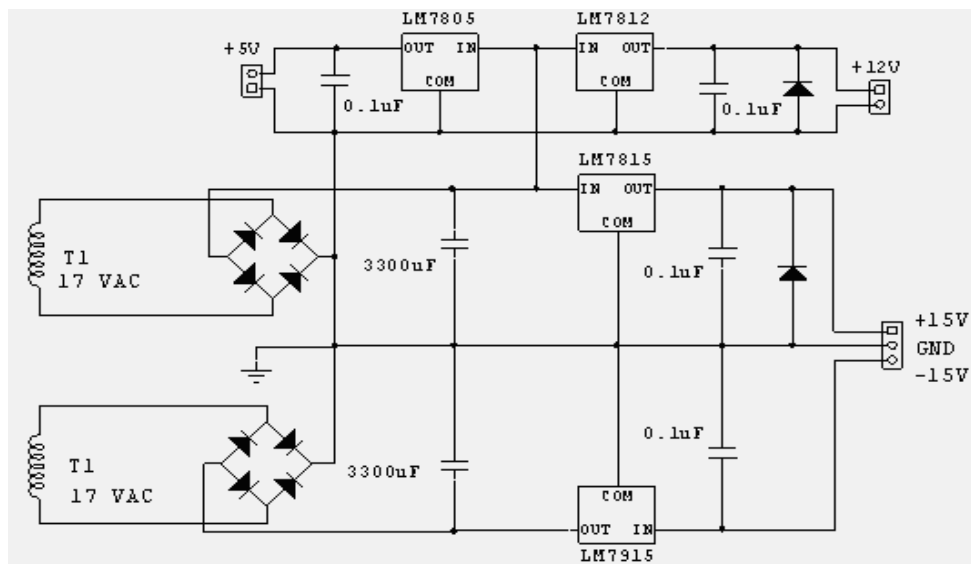


FIGURA 37. Diseño de la Fuente 3.
Fuente: El Autor.



Como un adicional, se diseñó una fuente 3 que consta de $\pm 15V$ para alimentar el circuito de aislamiento, de 5V para la fuente de corriente de 100mA, además de 12V para el ventilador. Esta fuente se encuentra conectada en paralelo a los devanados secundarios de T1 en

paralelo con la fuente 1, que se muestra en la figura 36, en la figura 37 se presenta un esquemático de la fuente implementada, y los diodos de libre paso 1N4007 para proteger los reguladores de la corriente de descarga de los motores DC.

4.2.2. Parámetros de Rendimiento

La teoría en el diseño y construcción de las fuentes es ideal, por lo tanto el voltaje presente a la salida de las mismas es constante, libre de rizado e insensible a variaciones de voltaje y corriente presentes en la carga, pero en la práctica el comportamiento del diseño es en ciertos parámetros diferente, dichos parámetros aseguran que el comportamiento de la fuente real se aproximen al de una fuente ideal, y son: porcentaje de regulación en la carga y en la línea, voltaje de rizado entre otros.

I. Porcentaje de Regulación en la Carga: Esta figura de mérito evalúa el grado de aproximación en el comportamiento de una fuente real con respecto a una ideal, también es conocida como regulación y está definida por la expresión 7, donde V_{FL} y V_{NL} son los voltajes de salida con carga y sin carga respectivamente, en la elaboración de este trabajo de grado se tomaron las lecturas de estos valores y se halló que el porcentaje de regulación es del 0.05%, lo que indica que la fuente mantiene el voltaje de salida aproximadamente constante, indiferente si está o no conectada la carga.

$$\%REG = \left[\frac{(V_{NL} - V_{FL})}{V_{FL}} \right] * 100\% \quad (7)$$

II. Porcentaje de Regulación de Línea: Es la variación del voltaje entregado con referencia en la variación de tensión en la red, para los reguladores LM7815 es de 7mV para un voltaje de entrada entre 17.5 y 30V, para los reguladores LM7915 es de 5mV para un voltaje de entrada entre -17.5 y -30V.

III. Voltaje de Rizado: Este parámetro indica que tan cercana está la fuente de una fuente ideal, para tal fin se observa el voltaje de rizo producido en la carga y descarga de los condensadores, y se calcula con la expresión 8, para el circuito implementado se calculó un voltaje de rizado de 252mV, valor que es aceptable para la aplicación.

$$V_{rpp} = \left[\frac{I_L}{2 * C * F} \right] \quad (8)$$

IV. Rechazo al Rizado: La estabilidad que los reguladores ofrecen en el voltaje de salida, ante una variación de voltaje a la entrada de los mismos, puede ser cuantificada por medio del parámetro de Rechazo al Rizado, en la expresión 9 se presenta la expresión para determinar el posible voltaje de rizado, teniendo en cuenta el rechazo al

rizado, dado en la hoja de datos de los reguladores, en este caso 70dB y con el ítem anterior se despeja de la ecuación 9 el voltaje de rizo a la salida que es 79.7 μ V.

$$RR = \left[\frac{V_{r(sal)}}{V_{r(ent)}} \right] \quad RR' = 20 \log \left(\frac{V_{r(sal)}}{V_{r(ent)}} \right) \quad dB \quad (9)$$

V. Resistencia de salida: De la hoja de datos dada por el fabricante los reguladores tienen una resistencia de salida de 19m Ω , para más información en el Anexo B.8 y Anexo B.10 se encuentran los apartes de la hoja de datos de los dispositivos reguladores.

4.3. *CIRCUITOS EXCITADORES DE SENSORES*

Como se hace mención en el aparte anterior, las fuentes diseñadas solo alimentan los circuitos de acondicionamiento de señal y aislamiento eléctrico, más no los sensores, esto se debe a que los sensores se excitan a un nivel de voltaje más bajo o con otro tipo de señal diferente al proporcionado por las fuentes, e implementar un regulador después de un regulador tiene sus consecuencias, como el aumento del consumo de potencia del primer regulador, y la dependencia del segundo regulador a las variaciones y posibles defectos del primero.

Para evitar este tipo de situaciones, se prefirió diseñar las fuentes de excitación para cada grupo de sensores de un mismo nivel de voltaje o señal, como se mencionó anteriormente. Para realizar esta maniobra solo se adicionaron los reguladores LM7810, LM7805 y el LM317, después del condensador que filtra el nivel positivo de voltaje de la fuente 1, aprovechando el rectificado y filtrado realizado en, las fuentes de alimentación, en la figura 38 se presenta el esquemático en donde se ubican los reguladores antes mencionados

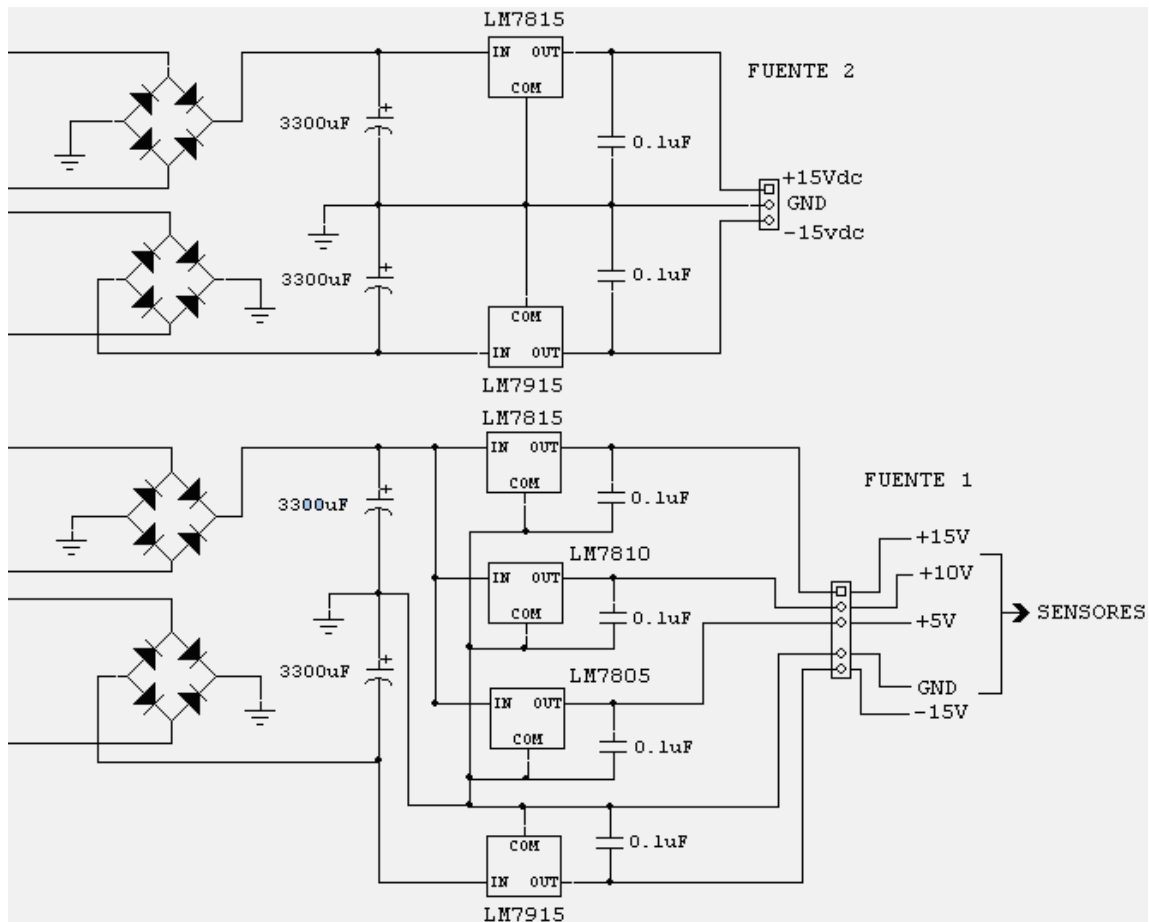
En los siguientes apartes se explicará la funcionalidad de cada fuente con algunos parámetros de rendimiento y sus respectivos sensores a excitar.

4.3.1. **Fuente de +5V.**

Esta fuente se adicionó para la excitación del sensor de presión PX72-005 para lo cual se utilizó el regulador LM7805 que se muestra en la figura 38, y presenta los siguientes parámetros de rendimiento:

$$\begin{aligned} V_{out} &= 5.02V \\ \%REG &= 0.04\% & RR &= 70dB \\ V_{rrp} &= 252mV & V_{r(sal)} &= 79.7\mu V \end{aligned}$$

FIGURA 38. Esquemático de los Reguladores Adicionados.
Fuente: El Autor.



4.3.2. Fuente de +10V.

Esta fuente se adicionó para la excitación de la Celda de Carga LC203-500 y el Potenciómetro de Desplazamiento Lineal LP802-50 para lo cual se utilizó el regulador LM7810 que se muestra en la figura 41, y presenta los siguientes parámetros de rendimiento:

- $V_{out} = 10.01V$
- $\%REG = 0.05\%$
- $V_{rrp} = 252mV$
- $RR = 70dB$
- $V_r(sal) = 79.7\mu V$

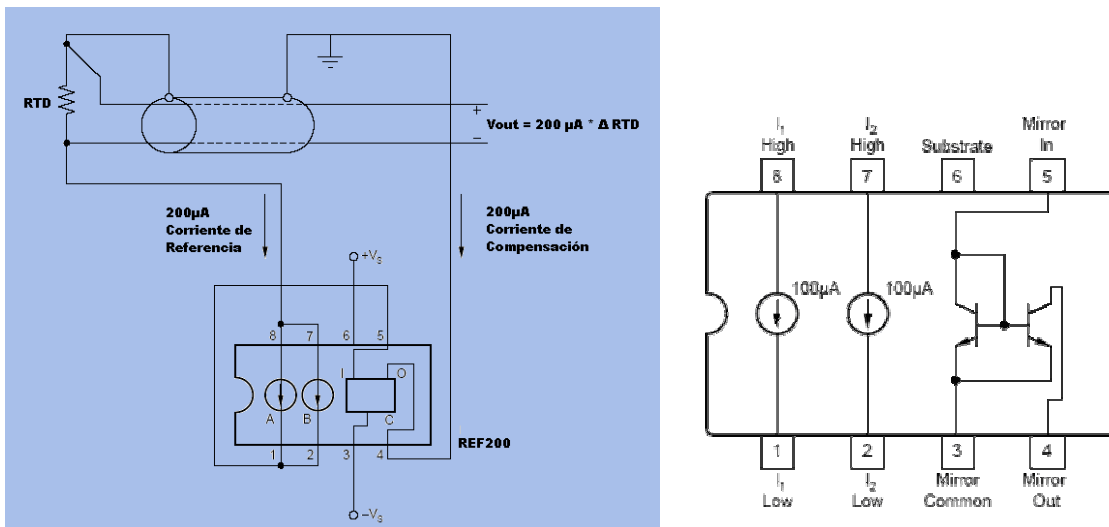
4.3.3. Circuito excitador de la RTD.

Para la excitación de la RTD elegida (ver ítem 3.2.1 **sensor de Temperatura**) es necesario excitarla con una fuente de corriente, la cual debe tener una magnitud mínima para que no genere errores por autocalentamiento, para la RTD obtenida el error por autocalentamiento en el aire es de $0.06\text{ }^{\circ}\text{C/mW}$.

Dentro de los muchos dispositivos excitadores por corriente que hay en el mercado, se escogió una fuente dual de corriente de $100\mu\text{A}$ cada una, y que es utilizada como fuente excitadora de RTD's como lo especifica el fabricante, la referencia de tal dispositivo es REF200 de **Texas Instruments**, con $200\mu\text{A}$ de corriente atravesando la RTD se tiene que el promedio del consumo de potencia es de $4\mu\text{W}$, con lo cual se tiene un error por autocalentamiento de $240 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}$ que es despreciable en la medición.

El dispositivo REF200 es excitado con la fuente 1 de $\pm 15\text{V}$, en el Anexo B.13. Se presentan apartes de la hoja de datos del dispositivo, y en la figura 42 se presenta el esquemático del circuito excitador de la RTD y el dispositivo REF200, posteriormente algunas características del dispositivo REF200.

FIGURA 39. Circuito Excitador de RTD.
Fuente: El Autor.



Exactitud: $100\mu\text{A} \pm 0.5\%$
Coeficiente de Temperatura: $\pm 25\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$
Voltaje de alimentación: 2.5 a 40V
Ruido a 10Hz: 1nA_{pp}

4.3.4. Fuente de Corriente de 100mA.

Para caracterizar el material durante el ensayo de fatiga y observar sus posibles cambios de fase mencionados en el capítulo 1, es importante observar la variación de la resistencia $\Delta R/R_0$ y la variación de la resistividad $\Delta\rho/\rho_0$ del material.

La resistencia eléctrica del material está relacionada con su conductividad, que varía cuando su estructura interna es modificada o desplazada por el esfuerzo a que ha sido sometida la muestra, las variaciones en la resistencia $\Delta R/R_0$ del material se puede obtener de acuerdo a la expresión 10, donde $\Delta R/R_0$ depende de las variaciones de voltaje presentes en la muestra, cuando le es inyectada una corriente y esta bajo esfuerzo longitudinal.

$$\frac{\Delta R}{R_0}(T) = \left[\frac{(U_i - U_f)}{U_f} \right] * 100\% \quad (10)$$

La variación en la resistividad eléctrica $\Delta\rho/\rho_0$ depende de la variación en la resistencia eléctrica $\Delta R/R_0$ y de los cambios en la geometría de la muestra, esta última se da sin cambios en el volumen de la probeta, es decir que se contempla el cambio en la longitud del microtubo (ε_L) acompañada de una reducción del diámetro, por lo tanto la variación en volumen es cero $\Delta V=0$, y la dilatación térmica es nula, a partir de lo anterior se puede obtener la variación en la resistividad eléctrica $\Delta\rho/\rho_0$ con la expresión 11.

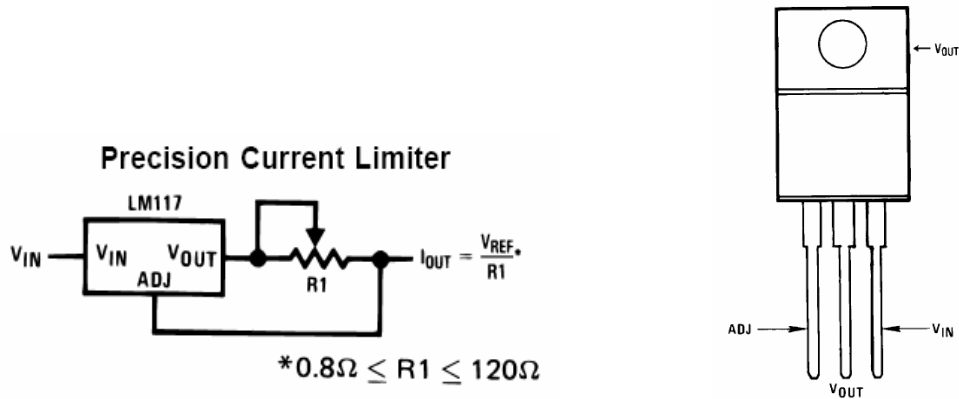
$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0}(T) = \frac{\Delta R}{R_0}(T) - 2 * \varepsilon(T) \quad (11)$$

Para obtener las dos variables antes mencionadas, se hace indispensable inyectar a la muestra una corriente, cuya magnitud debe ser mínima ya que por efecto **Joule** esta se puede calentar y producir transformaciones o cambios de fase del material, según los estudios realizados con anterioridad se observa que una corriente de 100mA es suficiente para excitar la probeta, y observar un voltaje a través de ella sin calentarla.

Para tal fin se diseñó una fuente de corriente de 100mA, con el regulador LM317 de **National Semiconductor**, en la configuración mostrada en la figura 40, como se observa en la figura y en la hoja de datos del dispositivo LM317, esta topología de circuito es un limitador de corriente de precisión que está limitado a 100mA, pero como la resistencia del microtubo es muy pequeña $R < 0.5\Omega$ aproximándose a un corto, el valor de corriente permanece estable durante el ensayo de fatiga, permitiendo obtener las variaciones de voltaje para el cálculo de $\Delta R/R_0$ y $\Delta\rho/\rho_0$.

En la figura 40 se presenta el diagrama de pines del regulador LM317 y a continuación algunas de sus características eléctricas, para más información en el Anexo B.11 se presentan apartes de su hoja de datos

FIGURA 40. Fuente de Corriente de 100mA.
Fuente: National Semiconductor.



Corriente de Carga: 1.5 A
 %REG: 0.08%
 Rango de temperatura: -40 a 150 °C
 RR: 80dB

4.4. CIRCUITOS DE AMPLIFICACIÓN Y ACOPLA DE SEÑAL

Como se ha mencionado en los apartes anteriores, al ser excitados los sensores estos presentan una salida eléctrica de voltaje, de acuerdo a los estímulos ofrecidos por las señales físicas reales.

Las salidas de los sensores presentan un nivel muy bajo de voltaje del orden de los mV, que es fundamental adecuar o amplificar a los rangos de voltaje ofrecidos por la tarjeta de adquisición de datos en sus entradas de señales analógicas AI0-AI7, que para este caso se utilizó el rango de ± 10 V, ya sea en configuración *single ended* (SE) o diferencial (DIFF), además el sistema de acondicionamiento de señal debe poseer un sistema de aislamiento eléctrico para ofrecer a la tarjeta una protección contra sobrevoltaje o cortocircuito presente en el acondicionamiento.

En los siguientes apartes se presentan las diferentes topologías de circuito utilizadas para amplificar y aislar, las diferentes señales provenientes de los sensores, con su respectiva explicación y parámetros de diseño.

4.4.1. Amplificación de la señal de Temperatura.

Después de caracterizar y excitar la RTD como se ha explicado anteriormente, se obtuvieron los siguientes valores de voltaje de salida V_{out} del sensor, de acuerdo al rango de temperatura en que opera el ensayo de fatiga, ver tabla 6.

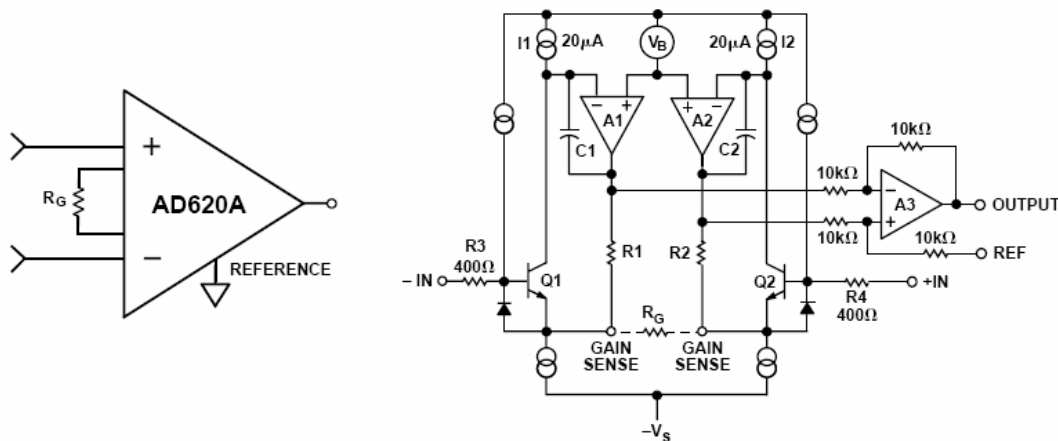
Tabla 6. Rango de Operación y V_{out} de la RTD.
Fuente: El Autor.

Temperatura °C	Resistencia Ω (RTD)	V_{out} mV (RTD)
-50	80.477	16.0954
0	99.942	19.9884
150	158.337	31.6674

Para acoplar el voltaje de salida V_{out} de la RTD con el voltaje de entrada analógica de la tarjeta que es $\pm 10V$, se diseñaron dos bloques de amplificación en cascada que proveen una ganancia total aproximada de $G_T \approx 1284.36$ V/V, este diseño se debe a que el amplificador de instrumentación utilizado en cada bloque ganancia, solo ofrece una ganancia de $G_A = 1000$ V/V, por lo tanto es imposible adecuar dicha señal con solo un amplificador de instrumentación.

El amplificador de instrumentación utilizado en el diseño de cada bloque de ganancia es el AD620 de *Analog Device* que se presenta en la figura 41, el cual provee un rango ganancia de 1 a 1000 V/V con solo requerir una resistencia externa, para el calculo de dicha ganancia o resistencia se utiliza la expresión 12.

FIGURA 41. Amplificador de Instrumentación AD620.
Fuente: Analog Device.

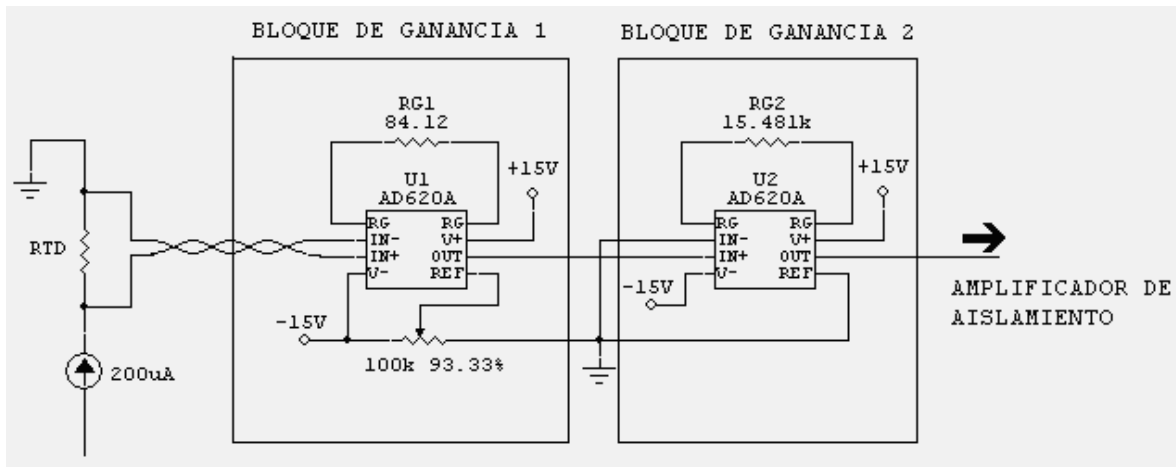


$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1 \quad R_G = \frac{49.4k\Omega}{(G-1)} \quad (12)$$

Algunas características del amplificador de instrumentación AD620 se presentan a continuación, para más información sobre el mismo ver el Anexo B.9.

Voltaje de alimentación: $\pm 15V$
 Corriente de Ruido de 0.1 a 10 Hz: $0.1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
 CMRR: 100dB
 Voltaje de Offset: $50 \mu\text{V}$
 Slew rate: $1.2V/\mu\text{s}$

FIGURA 42. Circuito de Amplificación de la señal de Temperatura.
 Fuente: El Autor.



En el primer bloque de ganancia se ajusto una ganancia de $G_1 \approx 586.23 \text{ V/V}$ y un voltaje offset de $-14V$, dando como resultado un voltaje de salida $V_{out1} \approx \pm 4.565V$, que posteriormente entra al segundo bloque de ganancia que tiene una ganancia de $G_2 \approx 2.191$ que al final resulta en un voltaje de salida $V_{out2} \approx \pm 10V$. En la figura 45 se presenta el esquemático del circuito implementado.

4.4.2. Amplificación de la señal Tensil.

Al excitar la celda de carga LC203-500 con $\pm 10V$ y aplicándole una carga se obtuvo un voltaje de salida V_{out} como se observa en la tabla 7.

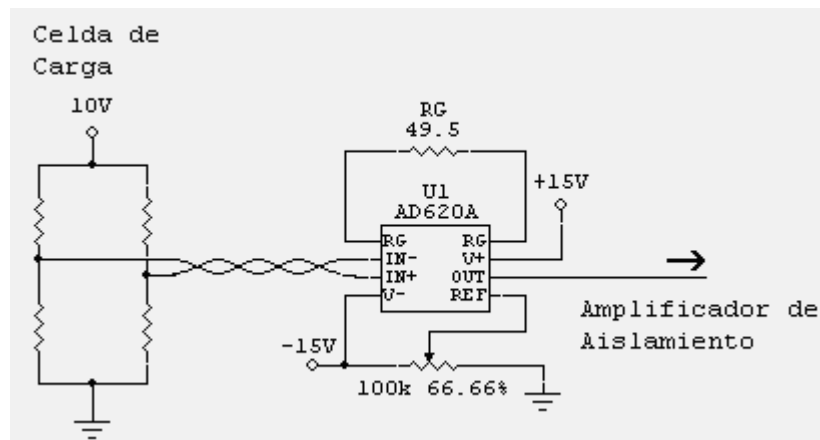
Para el acople del voltaje de salida V_{out} de la Celda de Carga con el rango de $\pm 10V$ de la tarjeta de adquisición de datos, se diseño un bloque de ganancia con $G \approx 997.884 \text{ V/V}$, este bloque esta diseñado con el amplificador de instrumentación AD620, mencionado en el ítem 4.4.1.

Tabla 7. Carga y Voltaje de Salida de la Celda de Carga.
Fuente: El Autor.

Carga (Lbf)	V_{out} (mV)
0	0.000
250	10.01
500	20.04

El diseño del bloque consiste en proveer una ganancia $G \approx 997.884$ V/V y un voltaje de Offset de -10V, obteniendo un voltaje de salida en el amplificador de $V_{out} \approx \pm 10V$, en la figura 43 se presenta el esquemático del circuito implementado.

FIGURA 43. Circuito de Amplificación de la Señal Tensil.
Fuente: El Autor.

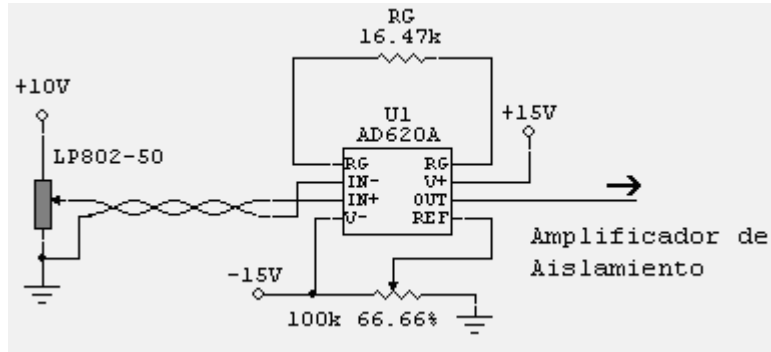


4.4.3. Amplificación de la señal del Extensómetro Lineal.

Como se mencionó anteriormente el potenciómetro lineal LP802-50 se excita con 10V y su voltaje de salida V_{out} tiene un rango de 0 a 10V, de acuerdo con el desplazamiento realizado al núcleo del sensor.

Como la salida del sensor tiene un nivel de voltaje similar al requerido por la tarjeta de adquisición de datos, en sus canales analógicos de entrada, solo fue necesario diseñar un bloque de ganancia $G \approx 2$ V/V, y un nivel de voltaje de offset de -10V, obteniendo un voltaje de salida en el amplificador de $V_{out} \approx \pm 10V$, en la figura 44 se presenta un esquemático del circuito implementado, para la elaboración de dicho bloque de ganancia se utilizó el amplificador de instrumentación AD620 mencionado en el ítem 4.4.1.

FIGURA 44. Circuito Amplificador de la señal del LP802-50.
Fuente: El Autor.

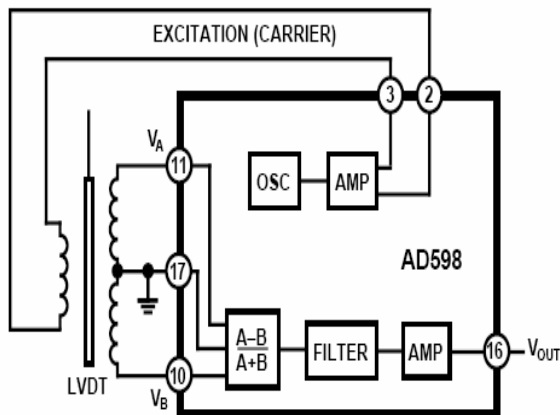


4.4.4. Amplificación de la señal del Extensómetro Radial (Adicional).

Como se mencionó en el capítulo anterior el dispositivo que se pretende utilizar para medir el desplazamiento radial del microtubo es un LVDT, cuya referencia es LD200-1.25 de Omega Engineering.

Como se explica en el aparte 3.2.4 para obtener una medición del desplazamiento en el LVDT es necesario excitar el sensor con una voltaje de alterna a alta frecuencia, y observar la diferencia entre la fase y el nivel de voltaje de los devanados secundarios, dentro de los diferentes dispositivos que se ofrecen en el mercado para excitar y amplificar señales de LVDT, se escogió implementar el circuito de excitación y el de amplificación con el AD598 de Analog Device.

FIGURA 45. Acondicionador de Señal LVDT AD598.
Fuente: Analog Device.



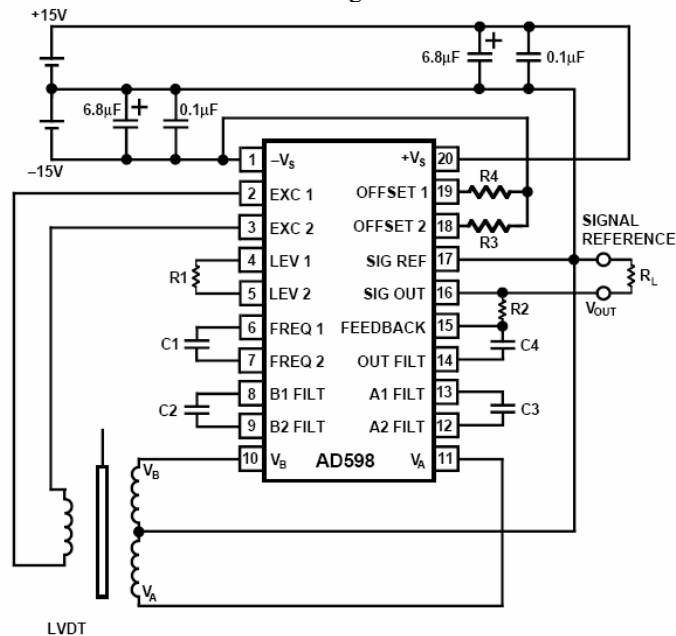
Linealidad: $\pm 0.05\%$ Full Scale
 Rango de frecuencia: 20Hz a 20kHz
 Voltaje de excitación: 2.1 a 24Vrms
 Fuente de alimentación (max): $\pm 18V$ dual, 36V sencilla
 Voltaje de salida máximo: $\pm 11V$

El AD598 es un acondicionador de señal de LVDT, que consta de un oscilador con amplificador para excitar el devanado primario de un LVDT con una señal senoidal de baja distorsión, además utiliza un circuito de modulación para obtener la diferencia de voltaje de los devanados secundarios del LVDT, dividido entre la suma de voltaje de los devanados secundarios del LVDT, que posteriormente es filtrada y amplificada, para obtener un nivel de voltaje DC proporcional al desplazamiento del núcleo del sensor.

En la figura 45 se presenta un diagrama de bloque del funcionamiento del AD598, y posteriormente algunas de sus características, para mayor información sobre el funcionamiento y detalles referirse al Anexo B.15 en donde se explica el funcionamiento y diseño con tal dispositivo.

En el acondicionamiento de señal del LVDT implementado en este trabajo de grado se utilizó el dispositivo antes mencionado, con los elementos externos que cumplen con los parámetros de diseño presentados en el Anexo B.15, en la figura 46 se presenta el esquemático del circuito implementado, posteriormente el valor de los elementos utilizados con su respectivo parámetro de diseño.

FIGURA 46. Esquemático de Acondicionador de Señal AD598.
Fuente: Analog Device.



Ancho de banda (f_{sub}): 250Hz entonces $C2=C3=C4=10^{-4} \text{ F} / f_{sub} \approx 0.4\mu\text{F}$
 Frecuencia de Excitación (f_{exc}): $10 * f_{sub}$: 2.5kHz entonces $C1=35\mu\text{F} / f_{exc} \approx 14\text{nF}$
 Voltaje de Excitación: $5V_{rms}$ entonces $R1 \approx 10\text{k}\Omega$
 Sensibilidad del LVDT (S): 250 mV/V/mm entonces $S = 250$
 Desplazamiento del LVDT (d): $\pm 1.25\text{mm} = \pm 0.05\text{in} = 0.1\text{in}$,
 $V_{out} = \pm 10\text{V} = 20\text{V}$ y dado que $V_{PRI} \approx V_A + V_B$ con la expresión 13 se obtiene el valor de R2.

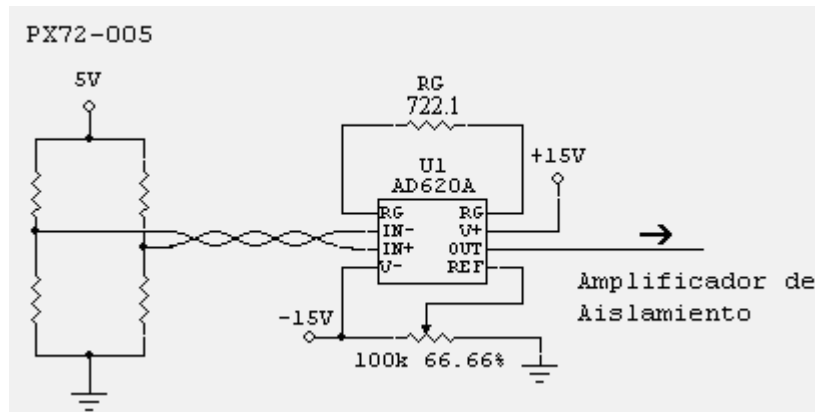
$$R2 = \left[\frac{V_{OUT} * (V_A + V_B)}{(S * V_{PRI} * 500 \mu A * d)} \right] \quad (13)$$

$R2 \approx 1.6k\Omega$ como el voltaje de salida V_{out} es bipolar, entonces el voltaje de offset es cero, por lo tanto $R3$ y $R4$ deben ser circuitos abiertos, por lo tanto se obtiene un voltaje de salida +10V si el desplazamiento es +1.25mm y de -10V si el desplazamiento es -1.25mm, tomando 0V si el núcleo esta centrado.

4.4.5. Amplificación de la señal de Presión.

Para la amplificación de la señal del sensor de presión PX72-005 tratado en el ítem 3.2.2, hay que tener en cuenta que este se excita con +5V DC y presenta un voltaje de offset $V_{off} = 215mV$ y un voltaje de salida $V_{out} = 14.6mV$ por cada PSI, este ultimo es conocido como la sensibilidad del sensor (12mV/PSI mínima), está dado en la hoja de datos del dispositivo y se corroboró con experimentación directa en el Laboratorio de Investigación de Biomateriales.

FIGURA 47. Circuito Amplificador de la Señal de Presión.
Fuente: El Autor.



El rango de medición de presión es de 0 a 5 PSI, por lo tanto el sensor tiene un rango de voltaje de salida V_{out} de 0 a 288.13mV. Para acondicionar estos niveles de voltaje a los voltajes de operación de la tarjeta de adquisición de datos, en sus entradas analógicas $\pm 10V$, se amplificó la señal del sensor con un amplificador de instrumentación cuya ganancia fue de $G \approx 69.41V/V$ y un voltaje de offset de -10V, obteniendo un voltaje de salida en el amplificador de instrumentación de $\pm 10V$, el amplificador utilizado fue el AD620 de Analog Device mencionado en el ítem 4.4.1.

En la figura 47 se presenta el esquemático del circuito de amplificación de la señal de presión implementado.

4.4.6. Amplificación de la señal de voltaje de la muestra.

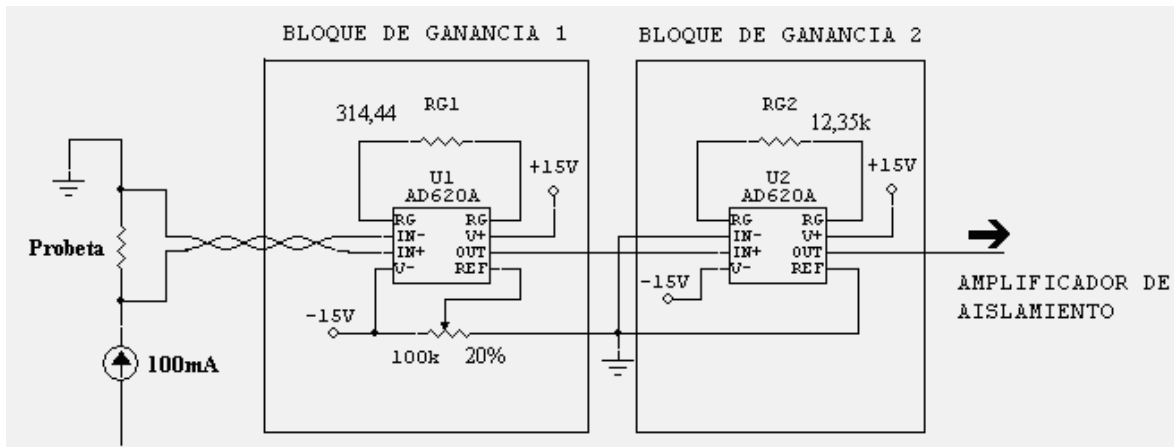
Como se mencionó anteriormente, la variación del voltaje de la muestra producido por una corriente DC inyectada a la misma, nos permite realizar las lecturas de la variación en la resistencia $\Delta R/R_0$ y la variación en la resistividad $\Delta\rho/\rho_0$, por lo tanto para amplificar dicha señal es necesario conocer el rango de operación.

De la hoja de datos de los microtubos de Nitinol se obtuvo el valor de la resistividad del material que es $82\mu\Omega/\text{cm}$. y las dimensiones, con los cuales se calculó la resistencia del material en $160\text{m}\Omega$, que es muy aproximado al valor obtenido en la practica $169\text{m}\Omega$, y teniendo en cuenta que la máxima variación en la resistencia del material bajo tracción es de aproximadamente el 50%, se obtiene el máximo valor de resistencia que es $253\text{m}\Omega$, para un microtubo de 4 in o 101.6mm , que es la longitud máxima de la probeta para ensayo de fatiga.

El Nitinol con una resistencia variando entre 0 y $253\text{m}\Omega$ y una corriente DC de 100mA inyectada, produce un voltaje DC entre 0 y 25.3mV , que es rango de operación o de la señal a amplificar, para tal fin se construyeron dos bloques de ganancia con el amplificador de instrumentación AD620, en el primer bloque la ganancia es $G \approx 158.103\text{V/V}$ y de voltaje de offset es -2V , produciendo un voltaje de salida en el primer bloque de ganancia de $\pm 2\text{V}$.

El voltaje de salida del primer bloque de ganancia es introducido al segundo bloque cuya ganancia es de $G \approx 5\text{V/V}$ y cuya salida produce un voltaje de salida de $\pm 10\text{V}$, que posteriormente es enviada al amplificador de aislamiento ISO122, en la figura 48 se presenta el esquemático del circuito implementado.

FIGURA 48. Circuito Amplificador del Voltaje de la Muestra.
Fuente: El Autor.



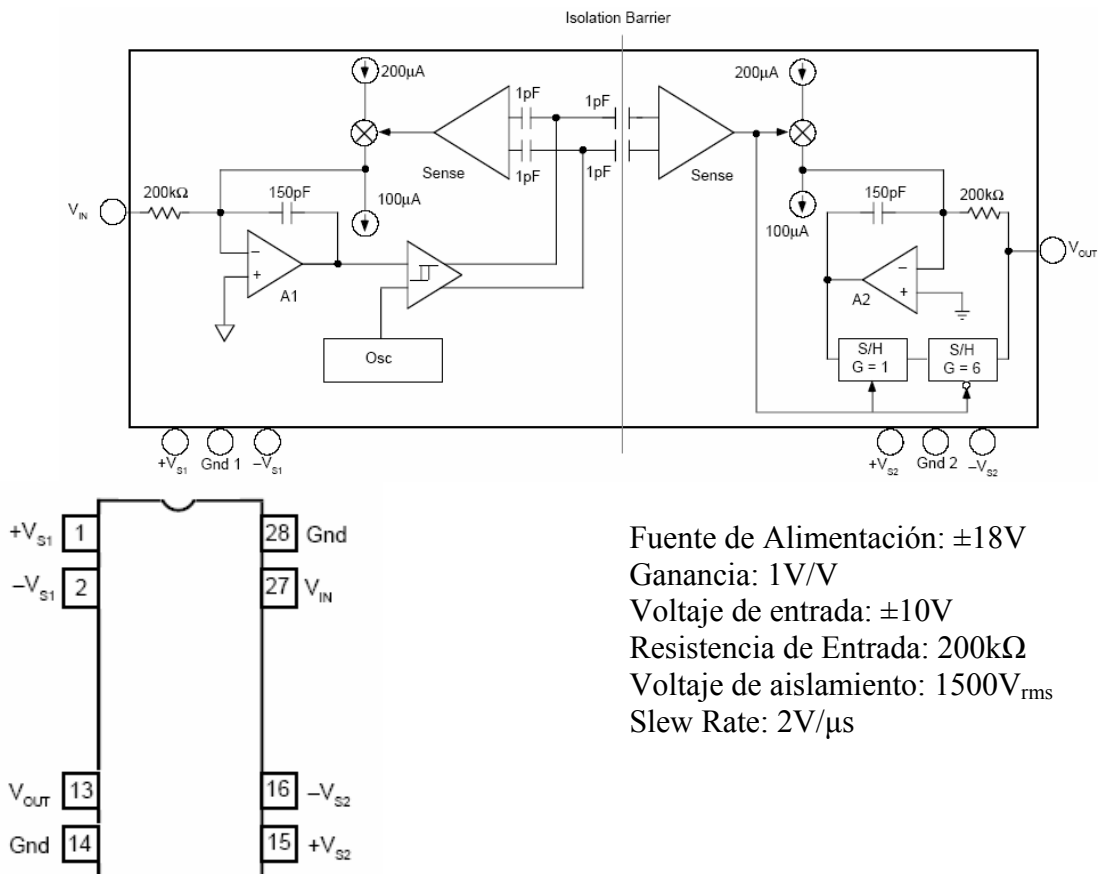
4.4.7. Aislamiento Eléctrico para la Tarjeta LABJACK™ U12.

Después de la amplificación de los voltajes provenientes de los sensores se diseñó un sistema de aislamiento eléctrico. Este aísla el sistema de acondicionamiento de señal y la tarjeta de adquisición de datos, con el fin de proveer una protección a la tarjeta contra corto circuitos y sobrevoltaje generados en el acondicionamiento de señal, también se diseñó este sistema de aislamiento para la señal de salida de la tarjeta que controla la válvula electrónica de presión.

El circuito de aislamiento eléctrico está implementado con el amplificador de aislamiento ISO122 de **Texas Instruments**, el aislamiento de este dispositivo consiste en separar las líneas de alimentación y las tierras de las fuentes 1 y 2, mencionadas en el ítem 4.2.1, para lograr esto el ISO122 utiliza técnicas de modulación de la señal de entrada y demodulación de la señal de salida, a través de un capacitor que actúa como barrera de aislamiento.

En la figura 49 se presenta un diagrama de bloques y de pines del ISO122, posteriormente algunas características del dispositivo, para mayor información sobre el funcionamiento y detalles del mismo referirse al Anexo B.12.

FIGURA 49. Diagrama de Bloques y Pines del ISO122.
Fuente: Texas Instruments.



En la figura 50 se presenta el esquemático del circuito de aislamiento implementado para las diferentes señales del sistema de amplificación, como para el control de la válvula electrónica de presión.

A esta altura no se ha mencionado la conectividad entre la tarjeta de adquisición de datos y las diferentes señales amplificadas y aisladas. En la tabla 8 se presentan las diferentes señales acondicionadas y los canales que ocupan en la tarjeta de adquisición, con su respectiva configuración

FIGURA 50. Sistema de Aislamiento Eléctrico Para la Labjack U12.
Fuente: El Autor.

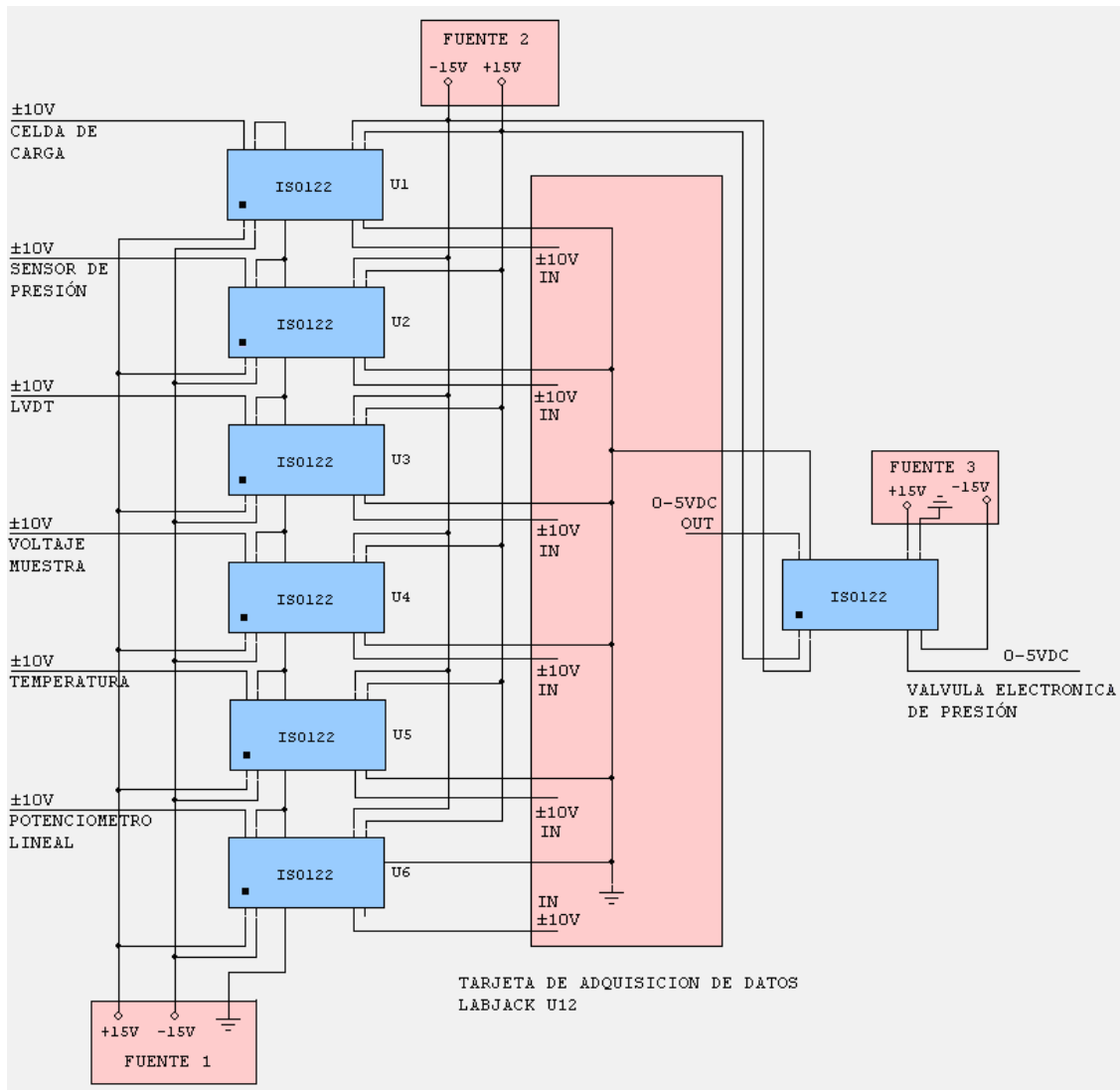


Tabla 8. Conexión de las Señales en la Tarjeta Labjack U12.
Fuente: El Autor.

Señal de Entrada	Entrada Tarjeta	Configuración
Potenciómetro Lineal	AI0-AI1	DIFF ±10V
Temperatura (RTD)	AI2-AI3	DIFF ±10V
Voltaje ($\Delta R/R_0$ y $\Delta \rho/\rho_0$)	AI4	SE ±10V
LVDT	AI5	SE ±10V
Presión	AI6	SE ±10V
Celda de Carga	AI7	SE ±10V

4.5. CIRCUITOS PARA EL CONTROL DE ACTUADORES

Una vez realizada la adquisición de datos por la tarjeta, la interfase en el PC realiza el calculo y visualización de las variables en forma grafica, además realiza el correspondiente control para los actuadores.

Después de realizar el cálculo del control desde la interfase, las señales de control son enviadas desde el PC hacia la tarjeta de adquisición, ya sea por las salidas digitales o analógicas. Para los actuadores como el motor, el sistema de refrigeración y la válvula electrónica de presión se diseñaron circuitos para complementar el control realizado desde el PC, que consiste en circuitos de potencia y aislamiento.

Para control de la resistencia térmica se utilizó un sistema PID desde el **software**, y un circuito de control de potencia sincrono con la red publica, en los siguientes apartes se exponen y explican los circuitos utilizados para complementar o realizar el control, en los actuadores.

4.5.1. Circuito de Control de la Resistencia Térmica.

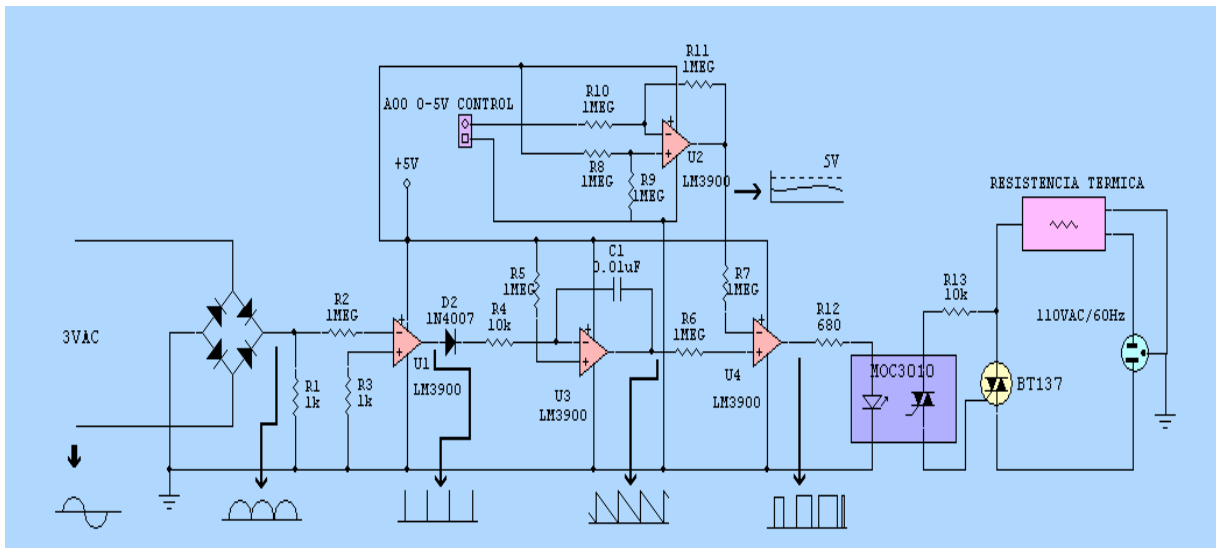
El control de la temperatura se Realiza desde la interfase del PC, utilizando un sistema PID, la señal de control de la interfase sale por la tarjeta de adquisición de datos utilizando la salida analógica AO0 hacia el circuito de control de potencia sincrono con la red.

El control de potencia sincrono con la red además de la señal de control utiliza una copia de la señal de la red publica 110Vac y 60Hz para obtener una sincronía con la misma, en este caso utiliza la señal de uno de los devanados secundarios de T1 que tiene 3Vac (ver figura 36), para realizar esta maniobra se diseñó el circuito mostrado en la figura 51, donde los elementos utilizados son el OP-AMP LM3900, el optotriac MOC3010 y el triac BT137-800.

En la primera etapa, la señal de 3Vac 60Hz de alterna es rectificada por el puente de diodos, generando una señal pulsante de DC de 120Hz como se muestra en la figura 53, en

la segunda etapa la señal pulsante de DC de 120Hz es entregada al LM3900 U1 que conforma circuito detector de cruces por cero, el cual genera un pulso de 5V cada vez que la señal pulsante de DC de 120Hz pasa por 0V, en la tercera etapa los pulsos son convertidos en una señal diente de sierra de 120Hz cuando pasa por el circuito integrador formado por el LM3900 U3, el cual tiene una constante de tiempo $\tau = R \cdot C \approx 0.1\text{ms}$.

FIGURA 51. Circuito de Control de la Resistencia Térmica.
Fuente: El Autor.



La señal de control de AO0 se entrega al LM3900 U2 que está configurado como amplificador en diferencia para ajustar la lógica de control entre interfase y el **Hardware** como se observa en la tabla 9.

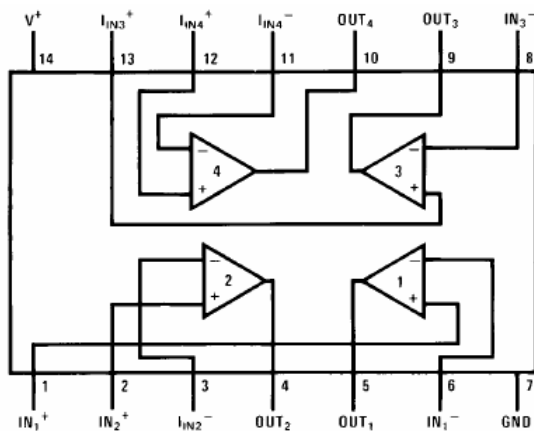
Tabla 9. Lógica entre la Señal de la Interfase y el **Hardware**.
Fuente: El Autor.

Voltaje de AO0 (V)	% Potencia Suministrada a la Resistencia Térmica de la Red Publica
Menor a 2.3	0%
2.975	25%
3.65	50%
4.325	75%
5	100%

La señal diente de sierra generada por U3 y la señal de control ajustada por U2 es entregada al LM3900 U4 que está configurado como comparador, la comparación de las señales de U3 y U2 generan una señal modulada por ancho de pulso PWM (del inglés Pulse Wide Modulation) en sincronía con la red pública.

Como se explicó anteriormente el dispositivo utilizado para implementar el circuito de procesamiento de la señal de control es el LM3900 que se presenta en la figura 52 y posteriormente algunas de sus características, además este circuito es alimentado con los 5V y la tierra que provee la tarjeta de adquisición de datos, para mayor información sobre el dispositivo referirse al Anexo B.16.

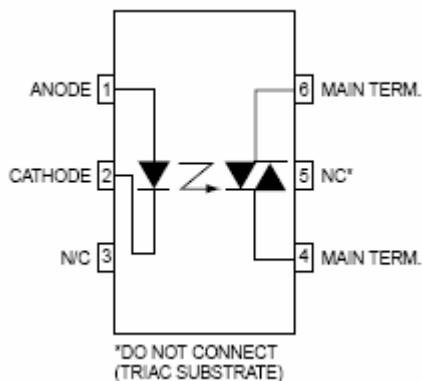
FIGURA 52. Amplificador Operacional LM3900.
Fuente: Nacional Semiconductor.



Voltaje de Alimentación: 4 a 32 Vdc
Corriente de entrada: 30nA
Ganancia de Lazo Abierto: 70dB
Ancho de Banda: 2.5MHz G = 1
Corriente de salida: 10mA

La modulación por ancho de pulso se aísla eléctricamente con el Optotriac MOC3010, esto con el fin proteger el circuito de control y la tarjeta de adquisición de datos de la parte de potencia operada por el triac, ya que los niveles de potencia son diferentes, en la figura 51 se presenta la configuración del dispositivo implementado, y en la figura 53 se presenta el MOC3010, posteriormente algunas de sus características, para mayor información sobre el dispositivo ver el Anexo B.17.

FIGURA 53. Optotriac MOC3010.
Fuente: Fairchild Semiconductors.

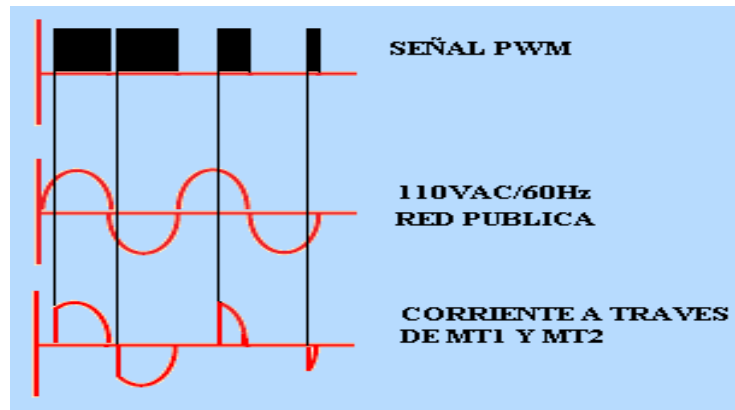


Voltaje de Aislamiento: 5300Vac RMS
Disipación de potencia: 100mW
Voltaje DC: 1.5V
Corriente DC: 15mA
Corriente de mantenimiento: 100μA

El triac es un dispositivo que conduce la corriente en forma bidireccional a través de sus terminales MT1 y MT2, cuando es activado con un pulso en la compuerta, esto es: al darle un pulso en la compuerta, el triac conduce la corriente del semiciclo que se presenta entre MT1 y MT2, hasta que el semiciclo termine, y solo vuelve a conducir si se da un pulso en

la compuerta, en la figura 54 se presenta la modulación PWM que activa el triac a través del MOC3010, el voltaje de la red pública y la corriente que conduce a través de MT1 y MT2.

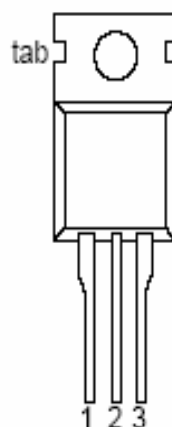
FIGURA 54. Modulación PWM y Corriente entre MT1 y MT2.
Fuente: El Autor.



La excitación de la resistencia térmica depende de la corriente que atraviesa el triac, por lo tanto el control PWM que gobierna el triac también controla la potencia que le suministra la red pública a la resistencia térmica utilizando el triac como una especie de regulador de potencia de AC.

En el circuito implementado se utilizó el Triac BT137-800 que se presenta en la figura 55 y posteriormente algunas de sus características, para más información ver el Anexo B.18.

FIGURA 55. Triac BT137-800.
Fuente: Philips Semiconductors.



Voltaje Pico Inactivo: 800V
Corriente RMS: 8A
Corriente de Mantenimiento: 40mA

1	|	main terminal 1
2	|	main terminal 2
3	|	gate
tab	|	main terminal 2

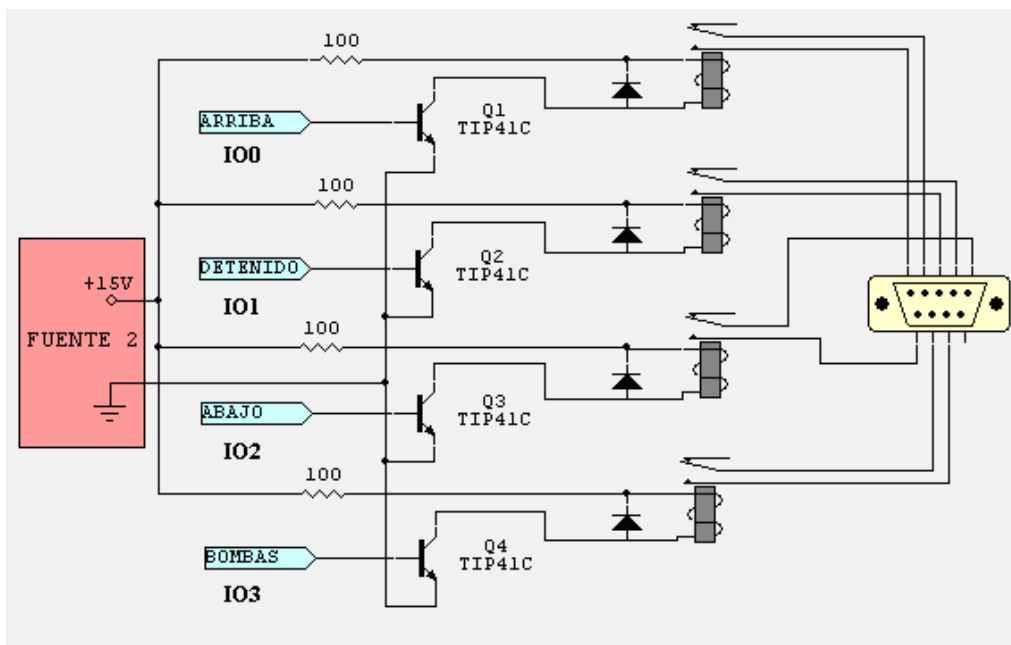
4.5.2. Circuito para el Control del Motor.

De las diferentes máquinas de tracción con motor AC vistas en el ítem 3.1.1, se observó que cada una de ellas tiene incorporado en su estructura un control para el movimiento del motor AC, el cual se basa tres interruptores Arriba, abajo y detenido, con lo cual la máquina de tracción presenta estas tres posibilidades de movimiento, para el diseño que se encuentra en desarrollo por la escuela de Ingeniería Mecánica se utiliza un motor paso a paso.

Para este proyecto el control del motor AC y del motor paso a paso se realiza desde la interfase en el PC, donde las señales de control para el motor AC son enviadas por las salidas digitales de la Tarjeta de adquisición de datos, donde IO0, IO1, y IO2 realizan el movimiento hacia arriba, detenido y hacia abajo de la máquina de tracción respectivamente, y el caso de utilizarse un motor paso a paso las señales de control son enviadas desde el PC por el puerto paralelo utilizando los pines 2 (D0), 3 (D1), 4 (D2) y 5 (D3) con la respectiva codificación de paso intermedio.

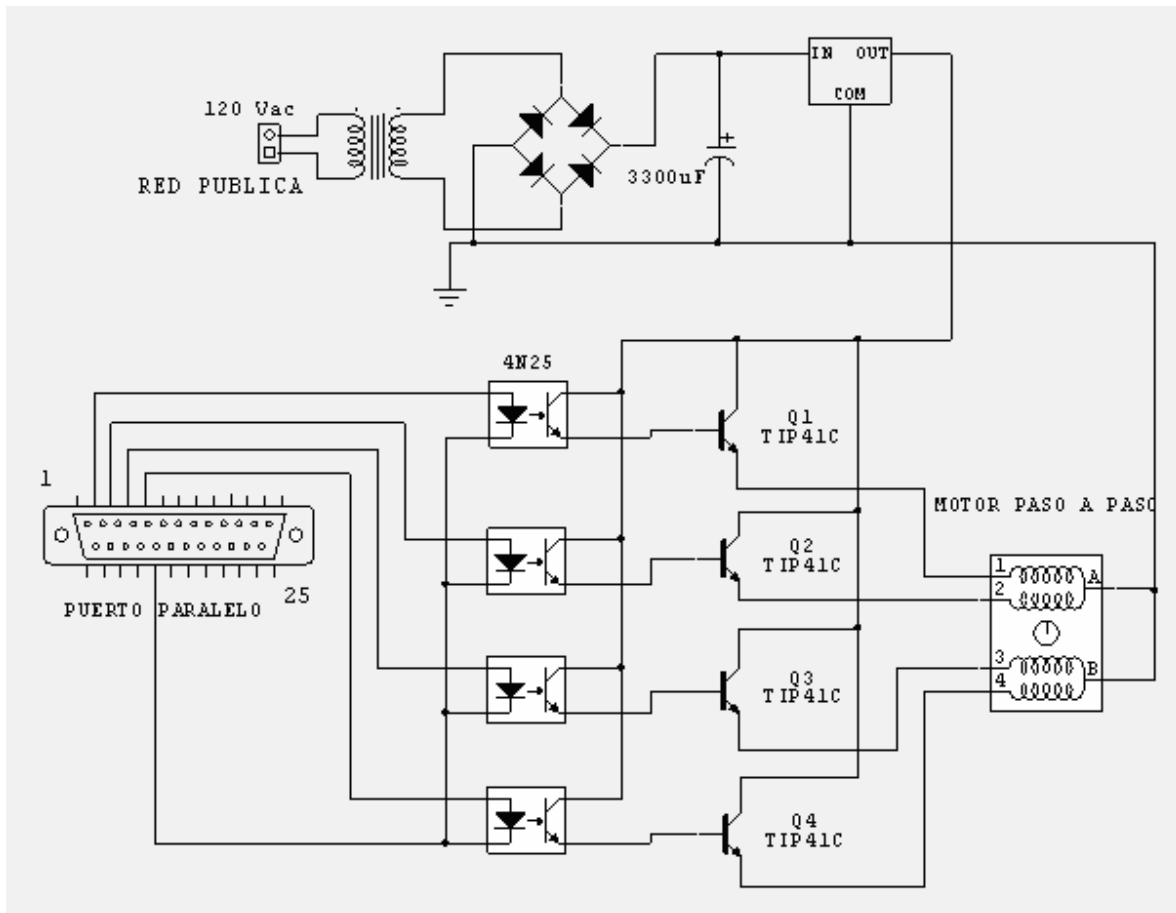
Para el control del motor AC cada salida digital de tarjeta de adquisición de datos envía 5Vdc o un alto para activar, y un 0Vdc o un bajo para desactivar el correspondiente movimiento, por lo tanto se diseñó un acondicionamiento para las señales de control y aislamiento para la tarjeta, en la figura 56 se presenta el circuito utilizado para el control del motor donde los TIP41C acondicionan la potencia necesaria para los relees que proveen de aislamiento eléctrico.

FIGURA 56. Circuito Para el Control del Motor AC.
Fuente: El Autor.



Para el control del motor paso a paso los pines 2 (D0) y 3 (D1) activan las bobinas A y A' del motor y los pines 4 (D2) y 5 (D3) activan las bobinas B y B' del motor, por lo tanto se diseñó un acondicionamiento para las señales de control y aislamiento para el puerto paralelo, en la figura 57 se presenta el circuito utilizado para acondicionamiento del control del motor donde los TIP41C acondicionan la potencia necesaria para las bobinas y el optotransistor 4N25 proveen de aislamiento eléctrico.

FIGURA 57. Circuito Para el Control del Motor Paso a Paso.
Fuente: El Autor.



En el Anexo B.14 se presentan apartes de la hoja de datos del TIP41C.

4.5.3. Circuito para el Control del Sistema de Refrigeración.

El control del sistema de refrigeración mencionado en el ítem 3.2.7, es similar al control del motor AC, donde IO3 es la salida digital de control para bombas, de igual forma se diseñó el acondicionamiento de la señal de control de IO3 con su respectivo aislamiento, ver la figura 56.

4.5.4. Circuito para el Control de la Válvula Proporcional.

Como se explico en el ítem 3.2.5 la válvula electrónica de presión utiliza una señal de control de 0 a 5Vdc, esta señal de control es enviada desde la interfase del PC hacia la tarjeta de adquisición de datos, y la tarjeta presenta la señal en la salida analógica AO1, la cual se aísla eléctricamente con el ISO122 para proteger la tarjeta, en la figura 50 se presenta el esquemático del circuito implementado en el aislamiento de AO1.

5. SOFTWARE DISEÑADO E IMPLEMENTADO

Para la automatización del sistema de adquisición de datos se desarrolló un software de alto nivel en el lenguaje gráfico **LabVIEW®**. En su versión 7.0, este software ofrece un correcto acople entre el hardware implementado y la tarjeta de adquisición **Labjack U12™** mencionados en los capítulos anteriores; la finalidad del software implementado es ofrecer al usuario una interfaz gráfica sencilla y agradable para la comprensión del proceso y la posterior toma de datos para su interpretación, con la posibilidad de monitorear las variables del proceso y realizar el respectivo control en tiempo real.

Para la calibración de los diferentes transductores de carga, desplazamiento y temperatura, mencionados en el capítulo 4, fue necesario implementar un instrumento virtual (**VI** por sus siglas en inglés), para obtener la caracterización de los transductores para su posterior calibración, esto con el fin de presentar una correcta medición de los datos adquiridos.

Con el lenguaje de programación gráfico implementado se facilitó la creación de instrumentos virtuales para control de procesos, toma de datos, almacenamiento, presentación de los mismos en Excel, entre otras muchas aplicaciones, permitiendo así obtener un software versátil y confiable, sin la necesidad de programar con líneas de códigos como sucedería en otros lenguajes.

5.1. CALIBRACIÓN DE TRANSDUCTORES

Como se mencionó anteriormente la lectura de las diferentes variables físicas que interviene en el proceso es realizada por medio de los transductores, el hardware y la tarjeta de adquisición de datos. Para caracterizar este sistema fue necesario implementar un **VI** especial para obtener la curva característica de cada dispositivo, con el fin de incorporar la caracterización en el **VI** principal u operativo.

En la figura 58 se presenta el panel frontal del **VI** que se implementó para la calibración y caracterización de los transductores, a continuación se presentan los datos obtenidos en la calibración de los diferentes dispositivos y las curvas características de los mismos utilizadas en el **VI** principal.

FIGURA 58. Panel Frontal del VI para la Calibración de Transductores.
Fuente: El Autor.



5.1.1. Calibración del Potenciómetro Lineal.

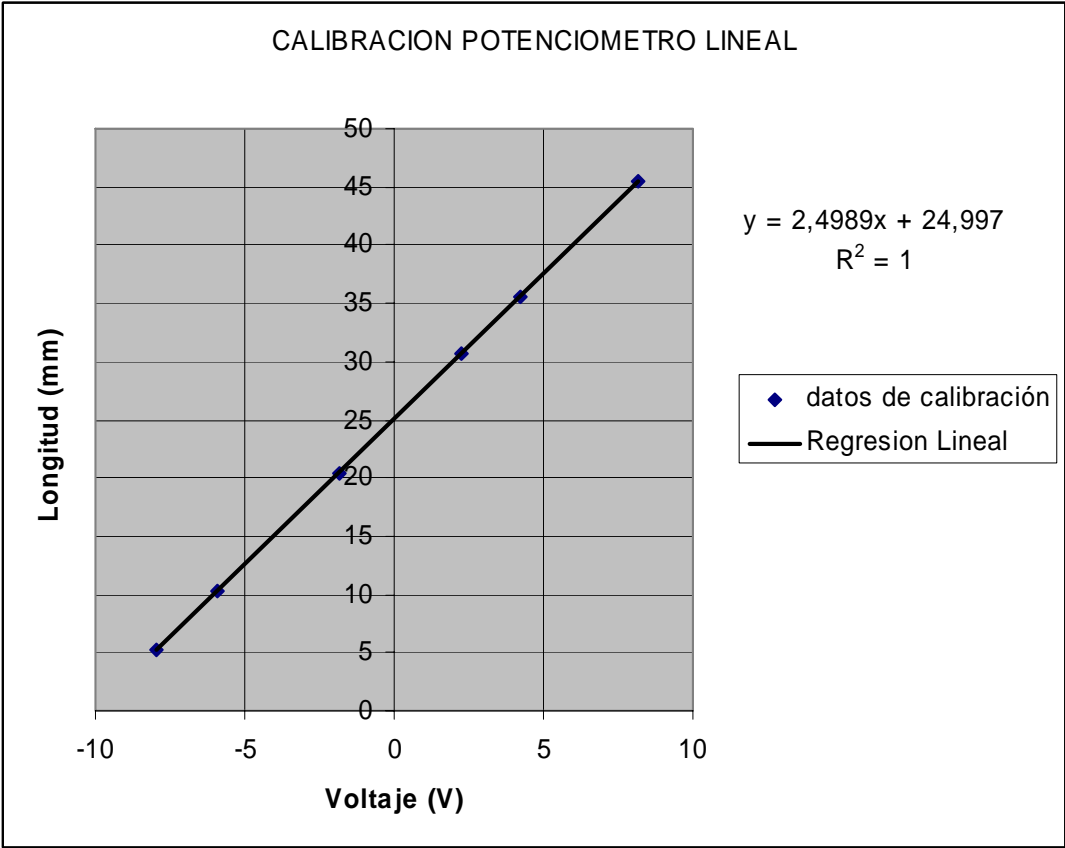
Para la calibración del Extensómetro se utilizaron las entradas analógicas AI0 y AI1 en configuración diferencial con el hardware mencionado en el capítulo 4, posteriormente se desplazó el núcleo o vástago del sensor obteniendo los siguientes resultados mostrados en la tabla 10.

Tabla 10. Calibración del Potenciómetro lineal.
Fuente: El Autor.

Longitud (mm)	Voltaje en Hardware (V)	Voltaje en Software (V)
5.2	-7.98	-7.9248
10.24	-5.95	-5.9012
20.36	-1.81	-1.8603
30.62	2.23	2.2509
35.55	4.26	4.2285
45.43	8.03	8.1738

Con los datos obtenidos en el software se realizó una regresión lineal, donde el eje Y es la longitud y el eje X es el voltaje; se tomaron estos datos ya que proveen mas cifras significativas que los datos tomados en Hardware, en la figura 59 se presenta la regresión lineal para el potenciómetro lineal con su respectiva expresión. Cabe anotar que el voltaje en hardware y la longitud fueron medidos por un multímetro marca Meterman de referencia 38XR y un calibrador.

FIGURA 59. Regresión Lineal para el Extensómetro Longitudinal.
Fuente: El Autor.



5.1.2. Calibración de la Celda de Carga.

De forma similar se realizó la calibración de la celda de carga, para este caso se utilizó el canal analógico AI7 en configuración **single ended**, y el hardware ya mencionado. Posteriormente se aplicaron diferentes cargas al transductor obteniendo los siguientes datos mostrados en la tabla 11.

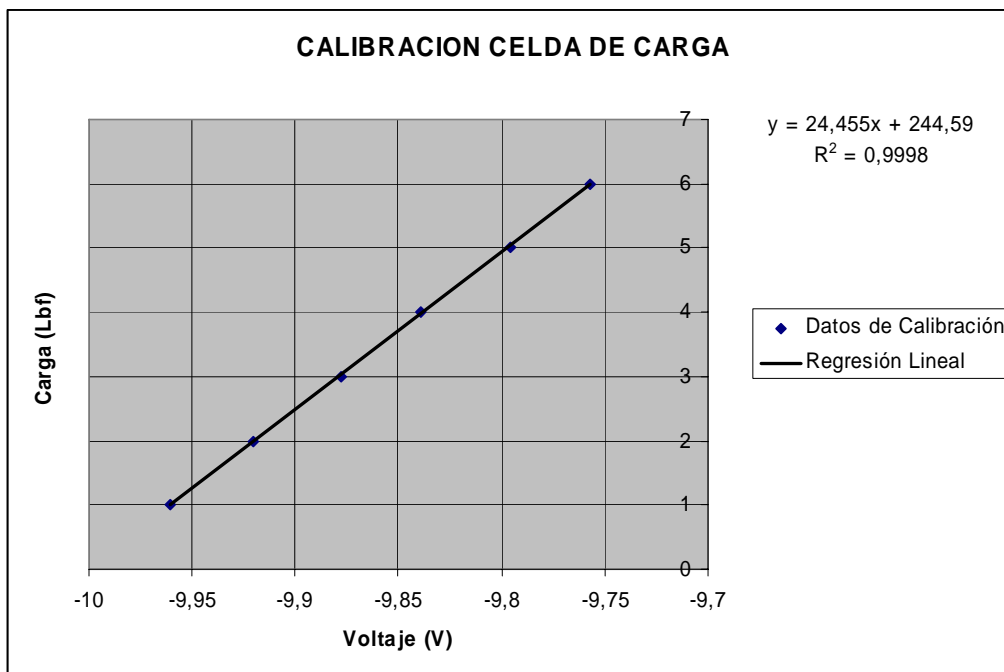
Tabla 11. Calibración de la Celda de Carga.

Fuente: El Autor.

Carga (Lb-f)	Voltaje en Hardware (V)	Voltaje en Software (V)
1	-10.01	-9.9606
2	-9.98	-9.9201
3	-9.93	-9.8779
4	-9.95	-9.8395
5	-9.81	-9.7956
6	-9.77	-9.7568

Tomando los datos obtenidos en el software se realizó una regresión lineal, donde el eje Y es la carga y el eje X es el voltaje según el software, en la figura 60 se presenta la regresión lineal para la celda de carga con su respectiva expresión, cabe notar que la carga se aplicó por medio de pesos estándar.

FIGURA 60. Regresión Lineal Para la Celda de Carga
Fuente: El Autor.



5.1.3. Calibración de la RTD.

Para la calibración de la RTD se realizó el mismo procedimiento que en los ítems anteriores, utilizando los canales analógicos AI2 y AI3 en configuración diferencial. Como se mencionó en el ítem 3.2.1, la caracterización y la respectiva regresión lineal de la RTD utilizada, permiten ajustar la ganancia del hardware para obtener una lectura de temperatura

más adecuada, posteriormente se introdujo el sensor en agua y variando la temperatura del agua, se obtuvieron los datos presentados en la tabla 12.

Tabla 12. Calibración de la RTD.

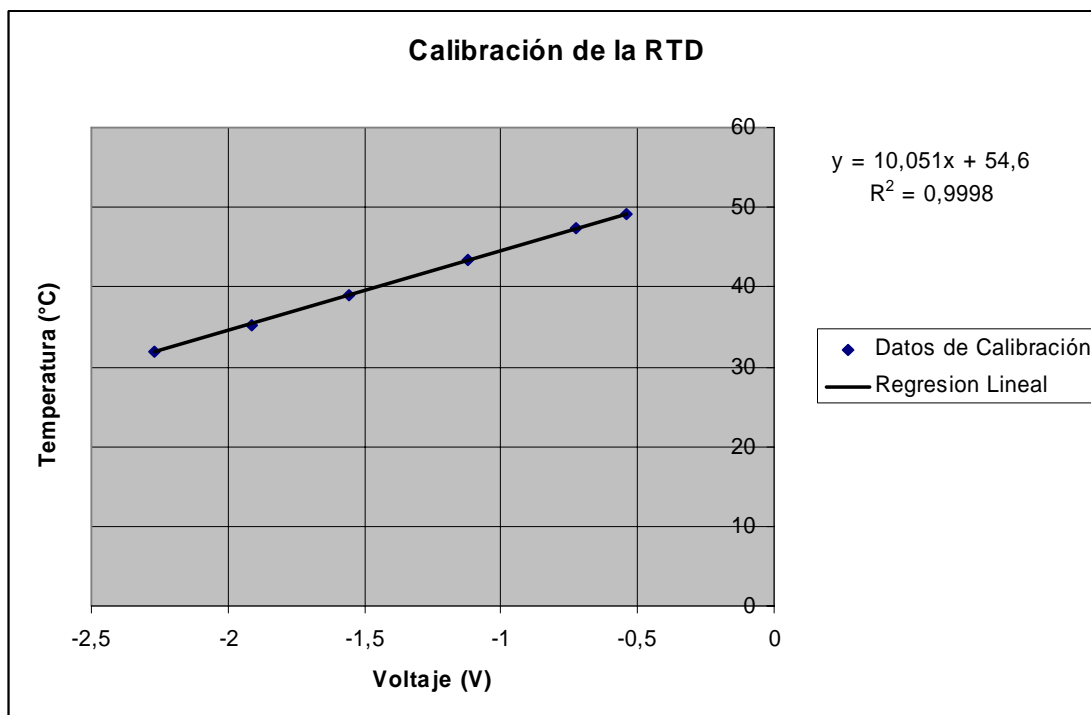
Fuente: El Autor.

Temperatura (°C)	Voltaje en Hardware (V)	Voltaje en Software (V)
49.1	-0.6	-0.5417
47.3	-0.75	-0.7231
43.5	-1.13	-1.1187
39	-1.56	-1.5573
35.2	-1.93	-1.9144
31.83	-2.27	-2.2705

Con las lecturas realizadas en el software se realizó una regresión lineal donde el eje Y es la temperatura, y el eje X es el voltaje según el software, en la figura 61 se presenta la regresión lineal para la RTD con su respectiva expresión, para la medición de la temperatura se utilizó un termómetro de mercurio con 0.1°C de precisión

FIGURA 61. Regresión Lineal Para la RTD.

Fuente: El Autor.



5.1.4. Calibración del Sensor de Presión.

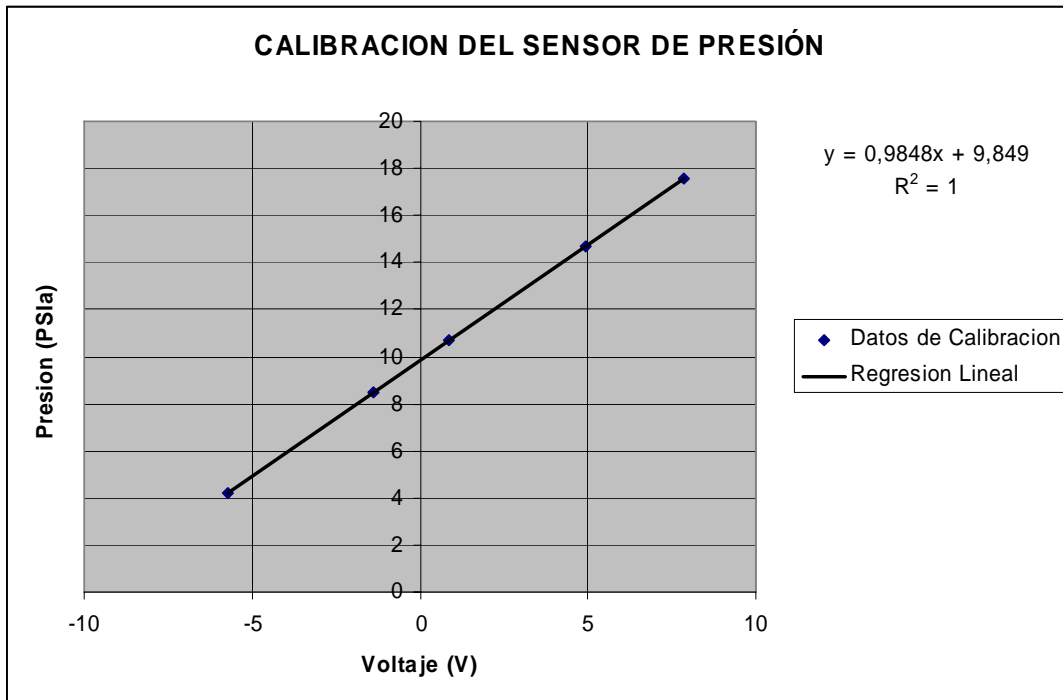
Para la calibración de este transductor se realizó el procedimiento visto en los ítems anteriores, para lo cual se configuró el canal AI6 en **single ended**, y el hardware respectivo, y posteriormente se aplicaron diferentes presiones de aire, obteniendo los datos mostrados en la tabla 13.

Tabla 13. Calibración del Sensor de Presión.
Fuente: El Autor.

Presión (PSIa)	Voltaje en Hardware (V)	Voltaje en Software (V)
4.2	-5,82	-5.7361
8.5	-1,34	-1.3711
10.7	0,91	0.863
14.7	4,86	4.9315
17.6	7,92	7.8674

Con las lecturas elaboradas en el software se realizó una regresión lineal donde el eje Y es la presión, y el eje X es el voltaje según el software, en la figura 62 se presenta la regresión lineal para el sensor de presión con su respectiva expresión, para la medición de la presión se utilizó un manómetro.

FIGURA 62. Regresión Lineal para el Sensor de Presión.
Fuente: El Autor.



5.1.5. Calibración del Voltaje en la Muestra.

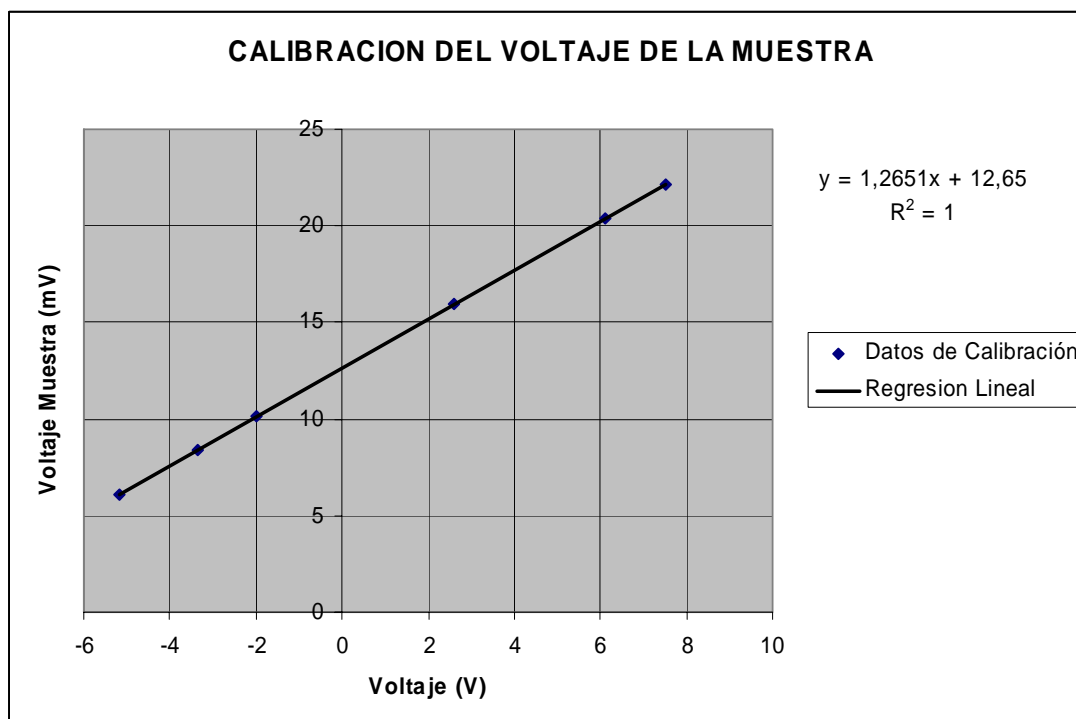
Para la calibración del voltaje presente en la muestra por la inyección de 100mA de corriente, se utilizó el canal analógico AI4 en single ended, y el hardware respectivo, en la respectiva toma de valores es necesario utilizar una probeta, puesto que la resistencia de la misma es muy pequeña ($R < 0.3\Omega$) para ser simulada o reemplazada por otro dispositivo, el resultado de la toma de datos arrojó los valores mostrados en la tabla 14.

Tabla 14. Calibración del Voltaje de la Muestra.
Fuente: El Autor.

Voltaje de la Muestra (mV)	Voltaje en Hardware (V)	Voltaje en Software (V)
6.1	-5.25	-5.1765
8.4	-3.43	-3.3590
10.15	-2.1	-1.9763
15.94	2.75	2.6012
20.36	6.23	6.0938
22.17	7.54	7.5257

Con las lecturas realizadas en software se realizó una regresión lineal, donde el eje Y representa el voltaje de la muestra y el eje X el voltaje según el software, en la figura 63 se presenta la regresión para el Voltaje de la Muestra y su respectiva expresión.

FIGURA 63. Regresión lineal para el Voltaje de la Muestra.
Fuente: El Autor.

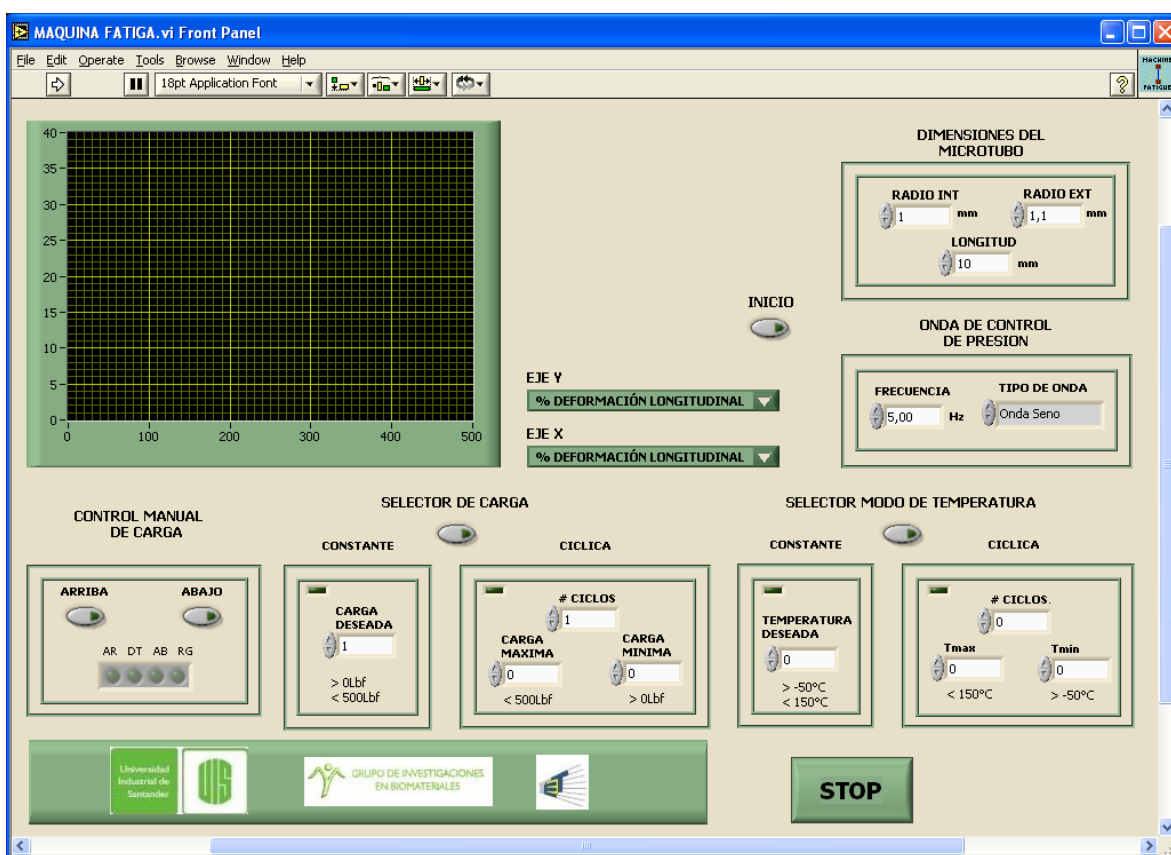


5.2. INTERFAZ GRAFICA

Una vez obtenidas las expresiones características de cada transductor como se explicó en los ítems anteriores, estas ecuaciones son llevadas al VI principal por medio de **subVIs** para la determinación de las diferentes variables físicas de interés en el ensayo de fatiga.

En la figura 64 se presenta el panel frontal del VI principal que se implementó para automatizar el ensayo de fatiga, para su elaboración se tuvo en cuenta que la interfase debe ser amigable para que el operario obtenga una comprensión del proceso.

FIGURA 64. Panel Frontal del VI Principal.
Fuente: El Autor.



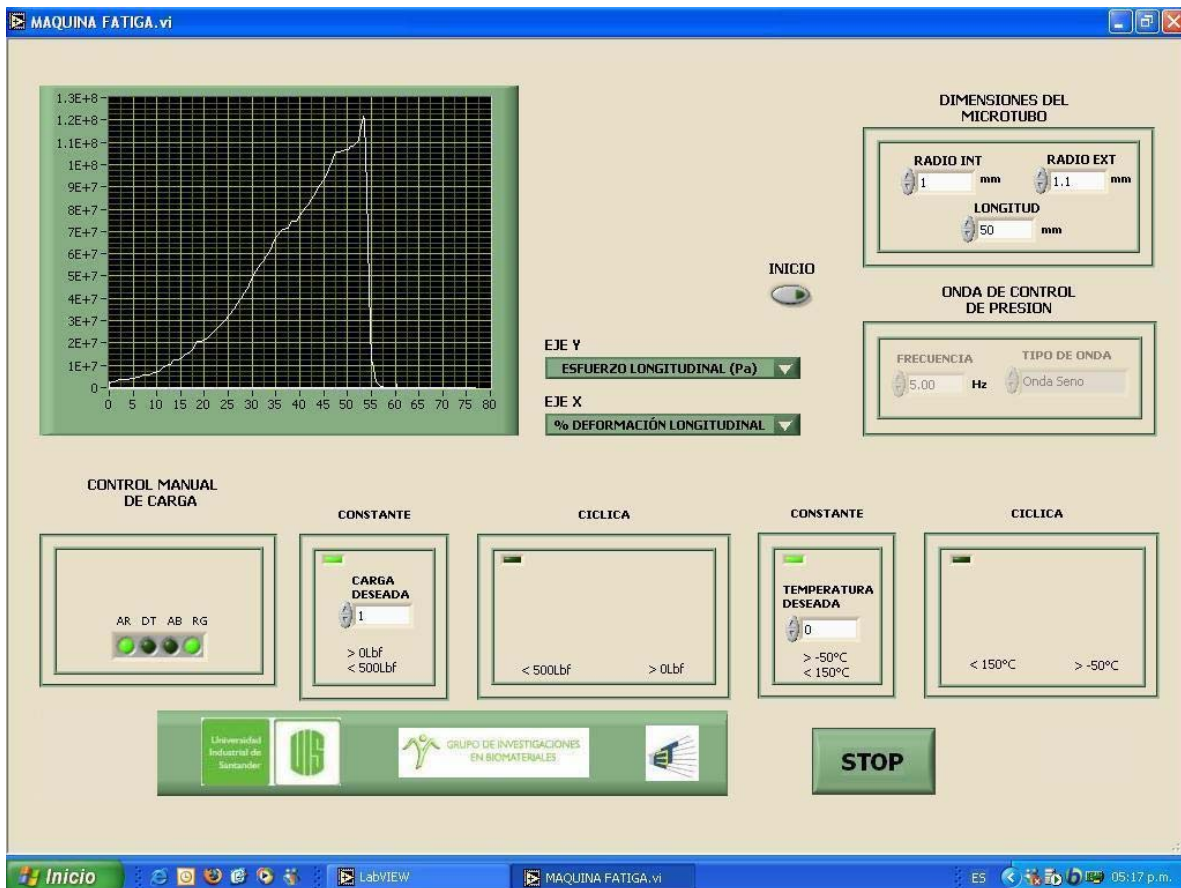
Al iniciar la prueba se solicita la información de cada uno de los controles del ensayo de fatiga, la información es introducida por medio de ventanas de selección e introducción de valores que son expuestas al operario para su manejo, posterior a este proceso se pulsa el botón inicio y el ensayo comienza.

Al finalizar el proceso se expone una ventana de selección para que el operario guarde los datos obtenidos durante en el ensayo, dichos datos son posteriormente expuestos en un libro de Excel para el análisis de la probeta bajo ensayo, a continuación se expone algunas de las ventanas con que cuenta el VI implementado.

5.2.1. Visualización del Progreso de la Prueba.

Una vez introducidos los valores solicitados por la interfase y pulsado el botón inicio, la interfase permite el monitoreo de las variables a través de la ventana de gráficos que se observa en la figura 65, dicha ventana permite observar las diferentes variables del proceso contra el tiempo o contra otras variables, esto se consigue seleccionando el tipo de variable a graficar en cada eje. Esta selección se realiza por medio de los selectores que se ubican al lado derecho de la ventana de gráficos, a continuación se presenta un ejemplo donde se grafica el esfuerzo longitudinal σ_L en contra de la deformación longitudinal ϵ_L .

FIGURA 65. Visualización del Progreso del Ensayo.
Fuente: El Autor.



5.2.2. Datos Suministrados por el Software.

Al concluir el ensayo de fatiga, la interfase despliega una ventana al operario para que guarde los datos obtenidos durante el ensayo, dichos datos son tomados con una frecuencia de 3 Hz, es decir en cada segundo se guardan 3 datos de cada variable, y las variables a guardar son: % deformación longitudinal, temperatura °C, $\Delta R/R_o$, $\Delta \rho/\rho_o$, % deformación radial, esfuerzo radial, esfuerzo longitudinal, número de ciclos de tracción, deformación

longitudinal en mm y deformación radial en mm, en la figura 66 se presenta un aparte de los datos guardados en Excel.

FIGURA 66. Datos Guardados en Excel.
Fuente: El Autor.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		% DEF-LON	TEMPERA °C	(DELTA R)/R	(DELTA r)/ro	% DEF-RAD	ESF-RAD Pa	ESF-LON Pa	CICLO	DEF-LON mm	DEF-RAD mm
1		76,9	30,51	0	-153,81	-0,01	4,69E+04	602,82	0	38,45	0
2		0	9,83	-0,34	-0,34	0,01	4,69E+04	0	0	0	0
3		0	14,93	0	0	0	4,69E+04	0	0	0	1,83E-05
4		0	19,02	0	0	0	4,69E+04	0	0	0	3,05E-05
5		0	22,04	0,34	0,34	0	4,69E+04	0	0	0	-3,66E-05
6		0	24,23	0	0	-0,01	4,69E+04	0	0	0	0
7		0	25,86	0	0	0	4,69E+04	0	0	0	-6,10E-06
8		0	27,25	0,34	0,34	0,01	4,69E+04	0	0	0	9,16E-05
9		0	27,94	0	0	-0,01	4,69E+04	3,09E+05	0	0	0
10		0	28,59	0	0	0	4,69E+04	2,41E+03	0	0	-3,66E-05
11		0	29,24	-0,34	-0,34	0,01	4,69E+04	18,84	0	0	8,54E-05
12		0	29,61	0,34	0,34	0,01	4,69E+04	0,07	0	0	5,49E-05
13		0	29,72	0	0	0	4,69E+04	0	0	0	3,05E-05
14		0	29,92	-0,34	-0,34	0	4,69E+04	8,98E-06	0	0	-1,22E-05
15		0	30,06	0	0	-0,01	4,69E+04	7,02E-08	0	0	0
16		0	30,15	0	0	0	4,69E+04	5,48E-10	0	0	-3,05E-05
17		0	30,4	0	0	0,01	4,69E+04	4,28E-12	0	0	8,54E-05
18		0	30,29	0	0	0,01	4,69E+04	3,35E-14	0	0	5,49E-05
19		0	30,33	0,34	0,34	0	4,69E+04	2,61E-16	0	0	3,66E-05
20		0	30,43	-0,34	-0,34	0	4,69E+04	2,04E-18	0	0	-1,22E-05
21		0	30,41	0,34	0,34	-0,01	4,69E+04	1,60E-20	0	0	0
22		0	30,45	0	0	0	4,69E+04	1,25E-22	0	0	-3,05E-05
23		0	30,64	0	0	0,01	4,69E+04	9,74E-25	0	0	7,32E-05
24		0	30,65	0	0	0,01	4,69E+04	3,80E-27	0	0	8,54E-05
25		0	30,45	0	0	0	4,69E+04	2,97E-29	0	0	3,66E-05
26		0	30,48	0	0	0	4,69E+04	2,32E-31	0	0	-6,10E-06
27		0	30,5	-0,34	-0,34	-0,01	4,69E+04	1,81E-33	0	0	-7,93E-05
28		0	30,49	0	0	-0,01	4,69E+04	1,42E-35	0	0	-6,10E-05
29		0	30,51	-0,34	-0,34	0,01	4,69E+04	2,51E+05	0	0	5,49E-05

5.3. SUBVIS IMPLEMENTADOS

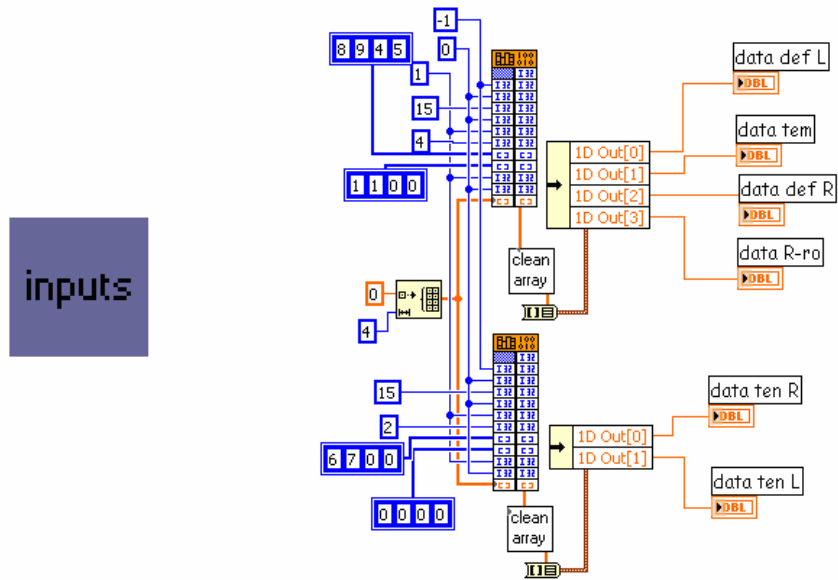
Como se menciono anteriormente las ecuaciones características de cada transductor son llevadas por medio de **subVIs** al **VI** principal, para su posterior operación como subrutina que realizan tareas específicas durante la operación del **VI**.

A continuación se describen los **subVIs** implementados y la función que estos cumplen. En este punto cabe mencionar que la tarjeta de adquisición de datos **Labjack U12** posee sus propios **subVIs** de configuración de canales y otros **SubVIs** utilizados se encuentran dentro de los ejemplos de **LabVIEW**.

- i. **SubVI para la Configuración de Entradas:** Su finalidad es configurar los canales analógicos de la tarjeta de adquisición de datos, como se mencionó anteriormente, los **Drivers** de la tarjeta proveen los **subVIs** para realizar esta tarea, pero no todos cumplen con los requerimientos de la aplicación como: comunicación directa con el PC, mayor velocidad de transferencia de datos en la configuración de los canales deseados en paralelo; para el proyecto se utilizó el **Call Library Function Node** del

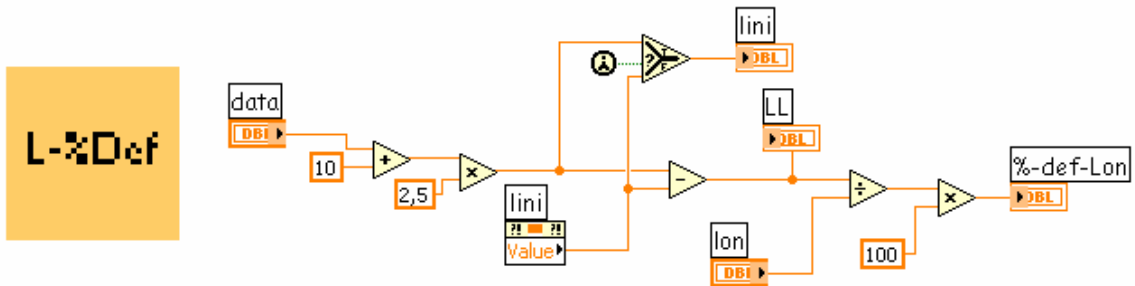
SubVI Alsample de los **Drivers** de la tarjeta **Labjack U12**, con lo cual se obtuvo una frecuencia de muestreo de aproximadamente 14Hz con los otros **subVIs** de la tarjeta, en la figura 67 se presenta la configuración del **subVI** y su imagen representativa.

FIGURA 67. SubVI para la configuración de Entradas.
Fuente: El Autor.



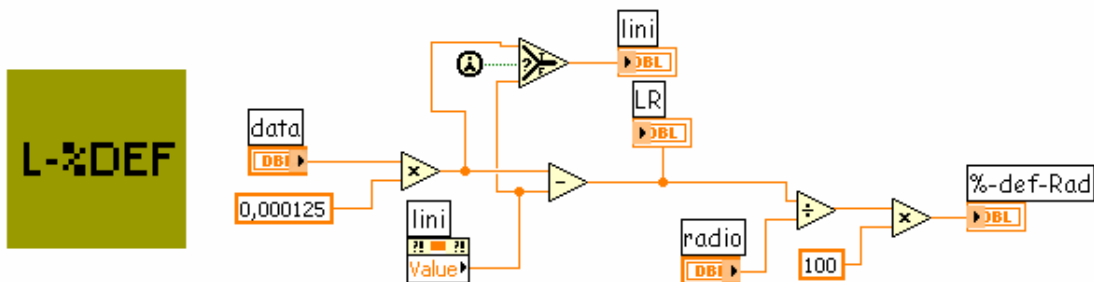
- ii. **SubVI para el Potenciómetro Lineal:** En la figura 68 se presenta el **subVI** implementado en la medición de la Deformación longitudinal, tanto en porcentaje como en milímetros, esta medida se basa en el desplazamiento realizado por el transductor y como es de esperarse recibe la lectura del voltaje proveniente de la entrada de la tarjeta y con la ecuación característica de Extensómetro se obtienen las medidas ya presentadas.

FIGURA 68. SubVI para el Potenciómetro Lineal.
Fuente: El Autor.



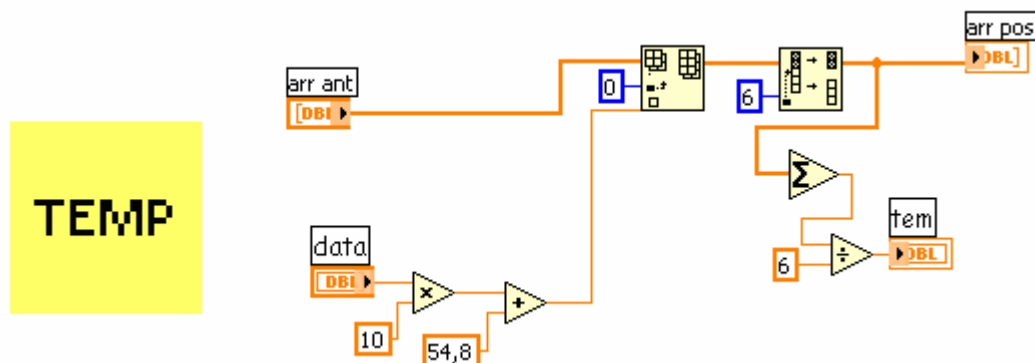
iii. **SubVI para el LVDT (adicional):** Para la creación de este **subVI** fue necesario utilizar datos teóricos puesto que por la carencia de este sensor no fue posible obtener su ecuación característica, sin embargo se puede recurrir a los datos del sensor y del acondicionador de LVDT mencionados en capítulos anteriores; suponiendo que el sensor este calibrado con la interfase. En la figura 69 se presenta el **subVI** para la medición de la deformación radial tanto en porcentaje como en milímetros, debida al desplazamiento del núcleo del LVDT.

FIGURA 69. SubVI para el LVDT.
Fuente: El Autor.



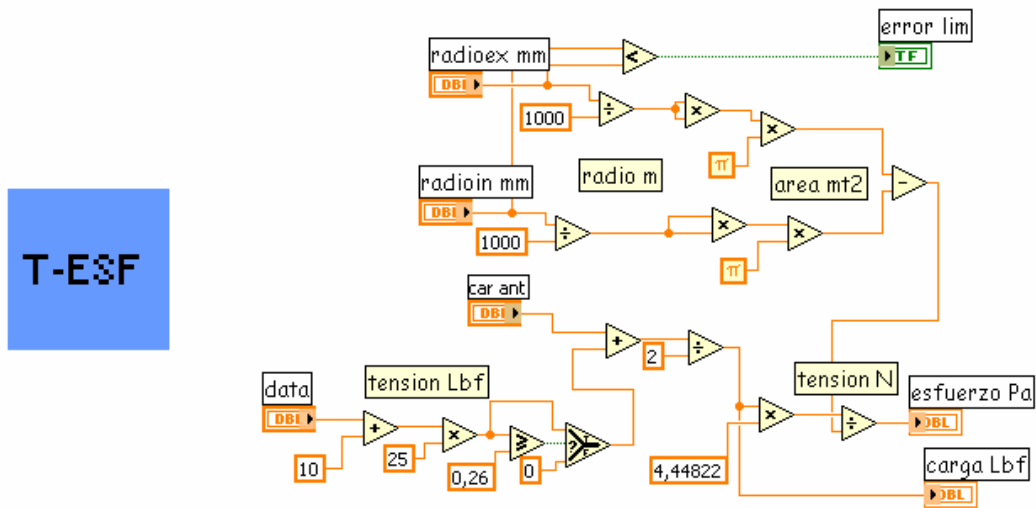
iv. **SubVI para la lectura de Temperatura:** En la figura 70 se presenta el **subVI** implementado para la medición de la temperatura, para lo cual se utilizó el voltaje proveniente de la entrada de la tarjeta y la ecuación característica del sensor obtenida en la calibración, en este **subVI** fue necesario aplicar el promedio del valor actual y los seis anteriores valores, con el fin de evitar el rizado presente en la medición; cabe anotar que el **subVI** llamado **mean** de **LabVIEW** no se pudo utilizar para realizar el promedio puesto que hace mas lenta la interfase a medida que aumenta el tiempo, debido a que utiliza todos los valores para hacer un promedio, con lo cual aumenta el tiempo de calculo y operabilidad.

FIGURA 70. SubVI para la lectura de Temperatura.
Fuente: El Autor.



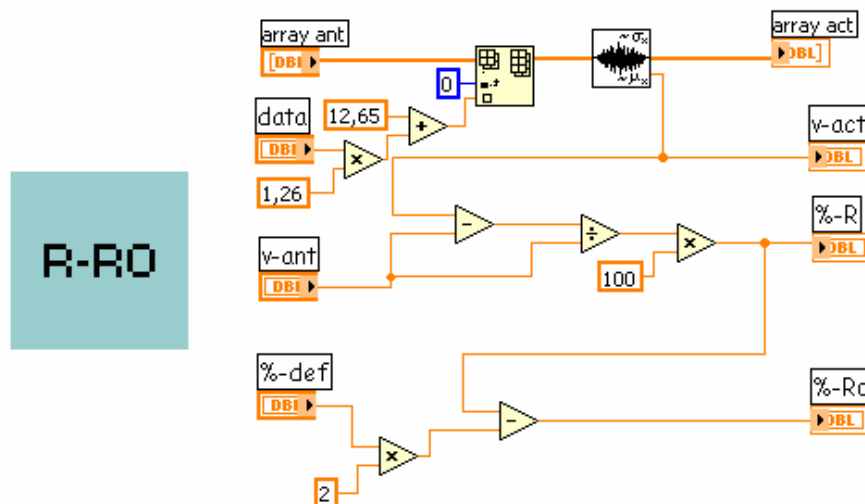
- v. **SubVI para la Celda de Carga:** Para la medición del esfuerzo longitudinal se implementó el subVI presente en la figura 71, teniendo en cuenta la ecuación característica obtenida en la calibración y la lectura de voltaje realizada en la respectiva entrada de la tarjeta, en este subVI también se implementó un promedio del valor actual y el anterior, con el fin de evitar el rizado presente en la medición.

FIGURA 71. SubVI para la Celda de Carga.
Fuente: El Autor.



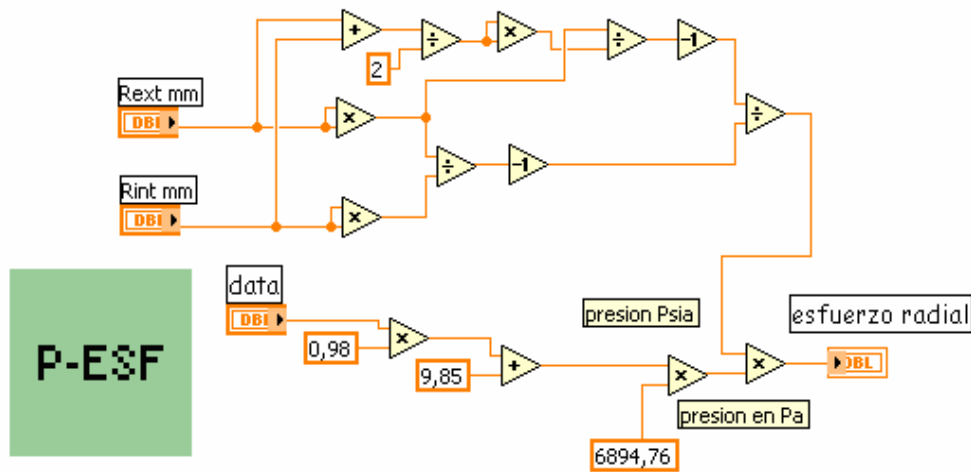
- vi. **SubVI para la lectura de $\Delta R/R_0$ y $\Delta \rho/\rho_0$:** En la figura 72 se presenta el subVI implementado para la medición de la variación de la resistencia $\Delta R/R_0$ y la variación de la resistividad $\Delta \rho/\rho_0$, para lo cual se tuvo presente la ecuación característica obtenida en la calibración y las lecturas obtenidas de la respectiva entrada de la tarjeta de adquisición de datos.

FIGURA 72. SubVI para la lectura de $\Delta R/R_0$ y $\Delta \rho/\rho_0$.
Fuente: El Autor.



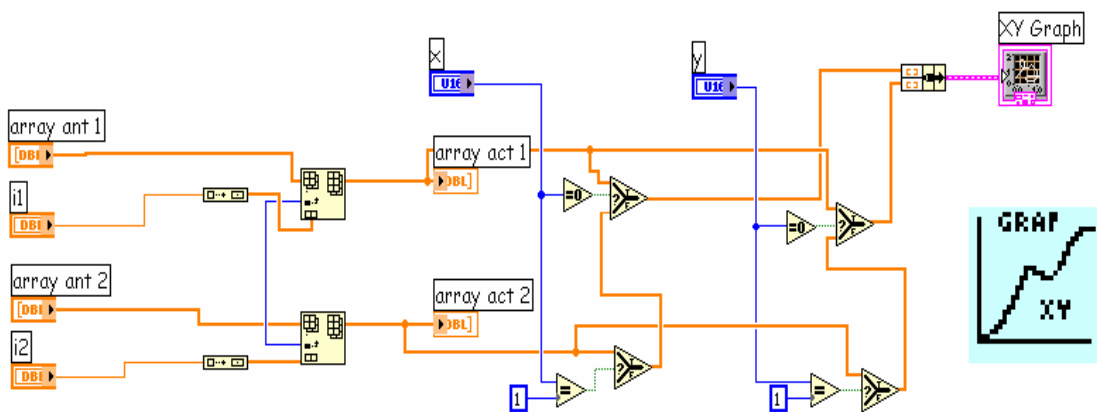
vii. **SubVI para la lectura de Presión:** En la figura 73 se presenta el subVI implementado para la medición de la presión interna aplicada al microtubo, en el cual se tuvo en cuenta la ecuación característica del sensor y las ecuaciones para calcular el esfuerzo radial.

FIGURA 73. SubVI Para la Lectura de Presión.
Fuente: El Autor.



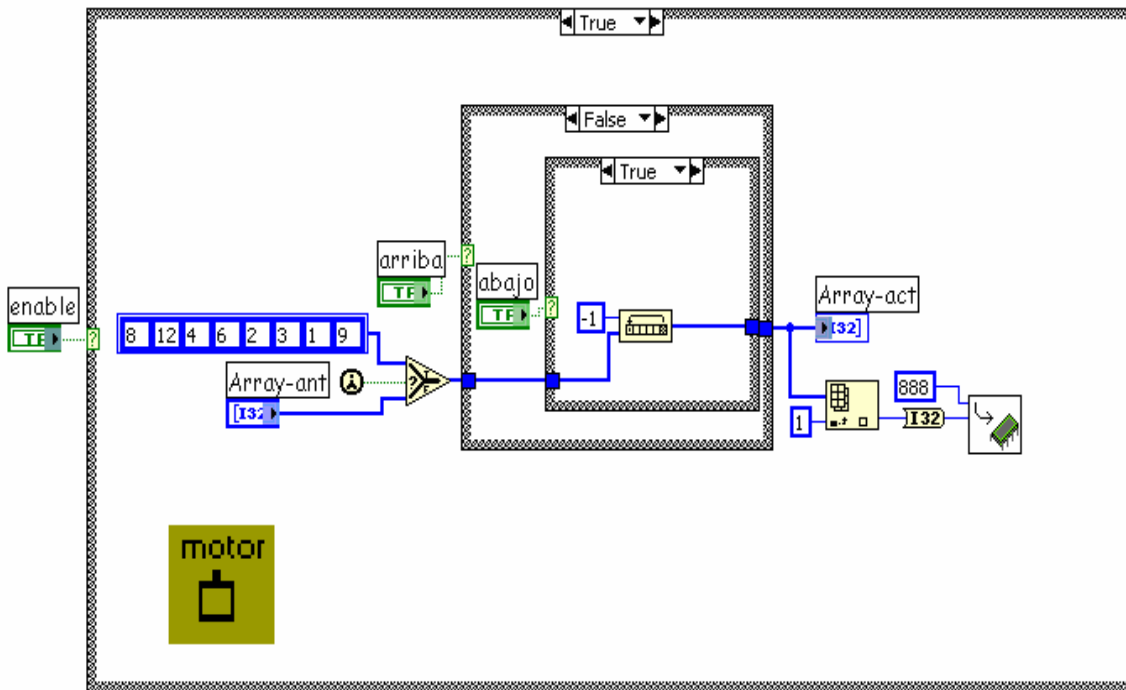
viii. **SubVI para la Graficación XY:** Este subVI es el encargado de crear arreglos con los datos de cada variable, que son suministrados por los subVIs de los transductores expuestos en los ítems anteriores, esto se realiza con el fin de almacenar, seleccionar y graficar en el panel frontal las variables deseadas, en la figura 74 se presenta una parte del SubVI.

FIGURA 74. SubVI para la Graficación XY.
Fuente: El Autor.



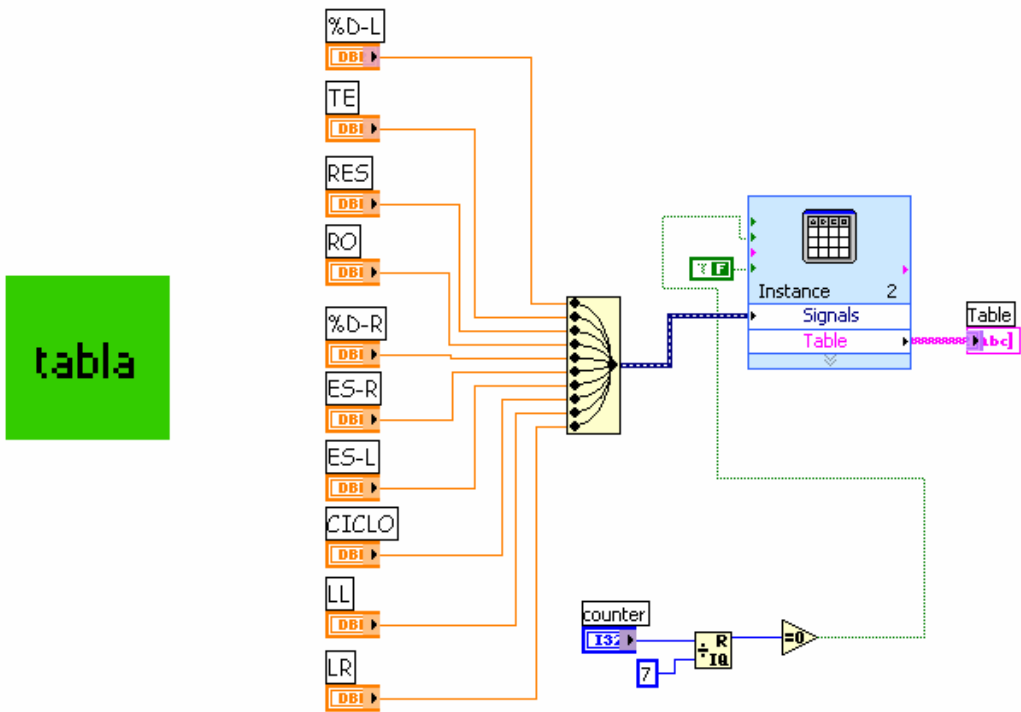
- ix. **SubVI para el control del motor paso a paso:** este subVI es el encargado de controlar el movimiento del motor paso a paso y de enviar la señal de control codificada, a través del puerto paralelo hacia el motor, en la figura 75 se presenta el subVI implementado.

FIGURA 75. SubVI para el Control del Motor Paso a Paso.
Fuente: El Autor.



- x. **SubVIs para Proveer los datos en Excel:** Al finalizar el ensayo de fatiga, la interfase provee un documento en Excel con los datos de las variables durante el proceso, para su posterior análisis de resultado. Este documento se crea con dos subVIs, con el primero se crea una tabla y con el segundo se expone los datos en un documento de Excel, el subVI utilizado para exponer los datos en Excel es propio de LabVIEW se llama **Write Table** y se encuentra en los ejemplos del programa, en la figura 79 se presenta el subVI con el que se crea la tabla, los datos son introducidos con una frecuencia de 3Hz.

FIGURA 76. SubVI para Crear la Tabla.
Fuente: El Autor.



6. PRUEBAS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En este capítulo se presenta algunos resultados de la automatización del sistema de adquisición de datos; aplicando ciclos de temperatura, tracción y presión para evaluar el comportamiento del sistema en un ensayo de fatiga.

Cabe anotar en este punto que en la realización de las pruebas de tracción no se utilizaron probetas de Nitinol por las siguientes razones: Al aplicar tracción a un microtubo de nitinol el material cambia las condiciones iniciales para posteriores ensayos de fatiga y en caso extremo se puede fracturar la probeta, además el Nitinol es un material de alto costo y de difícil consecución para el Grupo de Investigación en Biomateriales, por lo tanto la cantidad de probetas de dicho material es limitada y restringida, por otra parte se espera que al terminar la elaboración de la estructura física por parte de la escuela de Ingeniería Mecánica, se realice la adaptación del sistema de adquisición de datos y así realizar las pruebas de fatiga para el Nitinol como es debido.

Por lo tanto, en este capítulo se presenta apartes de los archivos generados por el **software** y algunas graficas obtenidas de los ensayos sin probeta.

6.1. TIPO DE PRUEBAS REALIZADAS

Para el monitoreo de cada una de las variables que intervienen en el ensayo de fatiga, se realizaron por separado cada una de las siguientes pruebas:

- i. **Prueba del sistema con temperatura constante y en ciclos:** Consistió en utilizar el sistema de calentamiento y refrigeración para calentar y refrigerar agua y posteriormente observar el comportamiento del sistema de adquisición de datos en el monitoreo de la variable temperatura.
- ii. **Prueba del sistema con carga constante y en ciclos:** Utilizando la Máquina de tracción **Instron**, se realizaron pruebas de tracción tanto constante como en ciclos a un tubo de aluminio y posteriormente se monitoreo a través de la interfase las variables esfuerzo y porcentaje de deformación aplicado en forma longitudinal.
- iii. **Prueba del sistema con ciclado de presión:** Aplicando presión a un microtubo de Nitinol se monitoreo la variable esfuerzo aplicado en forma radial.

6.2. TIPOS DE PROBETAS UTILIZADAS.

Para las pruebas de tracción se utilizaron como probetas tubos de aluminio con las siguientes dimensiones, radio interno (r_{int}): 3.5mm, radio externo (r_{ext}): 3.6mm, longitud (l): 10mm, la finalidad de este ensayo es verificar el funcionamiento del control del motor AC y el monitoreo de las variables esfuerzo y porcentaje de deformación aplicado en forma longitudinal.

Para las pruebas de presión se utilizó una probeta de Nitinol con las siguientes dimensiones, radio interno (r_{int}): 0.8509mm, radio externo (r_{ext}): 1.0688mm, longitud (l): 101.6mm, en estas pruebas fue posible utilizar la probeta de Nitinol porque no presenta riesgos en la integridad de la probeta, la finalidad de las pruebas es verificar el monitoreo del esfuerzo aplicado en forma radial y de la variación de la resistencia del material, en la figura 77 se presenta una imagen de la probeta utilizada.

FIGURA 77. Probeta de Nitinol.
Fuente: El Autor.



6.3. RESULTADOS OBTENIDOS

A este punto se presentan los resultados obtenidos de realizar las pruebas antes mencionadas:

En la figura 78 se presentan las graficas de temperatura vs. tiempo generadas por la interfase durante el monitoreo, para temperatura constante se eligió un valor de $T=23^{\circ}\text{C}$, para el ciclado de temperatura se eligió realizar dos pruebas de 3 ciclos, la primera con $T_{max}=35^{\circ}\text{C}$ y $T_{min}=32^{\circ}\text{C}$ y la segunda con $T_{max}=39^{\circ}\text{C}$ y $T_{min}=34^{\circ}\text{C}$.

En la figura 79 se presenta un aparte del archivo de salida con el reporte de datos en Excel, para la prueba 2 del ciclado de temperatura.

En la figura 80 se presentan las graficas de esfuerzo longitudinal (Pa) vs. Porcentaje de deformación longitudinal y esfuerzo longitudinal (Pa) vs. Tiempo, en la primera la carga aplicada es constante $F=118\text{Lbf}$ y en la segunda la carga es aplicada en 4 ciclos de $F_{max}=7\text{Lbf}$ y $F_{min}=5\text{Lbf}$.

En la figura 81 se presenta una grafica de Esfuerzo vs. Porcentaje de deformación, obtenida con los datos suministrados por el software en Excel, para la prueba con carga constante.

En la figura 85 se presenta la grafica de esfuerzo radial vs. tiempo, suministrada por la interfase, durante el ciclado de presión al microtubo de Nitinol, de igual forma en la figura 86 se presenta la grafica de esfuerzo radial vs. Tiempo, obtenida a partir de los datos suministrados por la interfase en Excel.

FIGURA 78. Graficas de Temperatura vs. Tiempo
Fuente: El Autor.

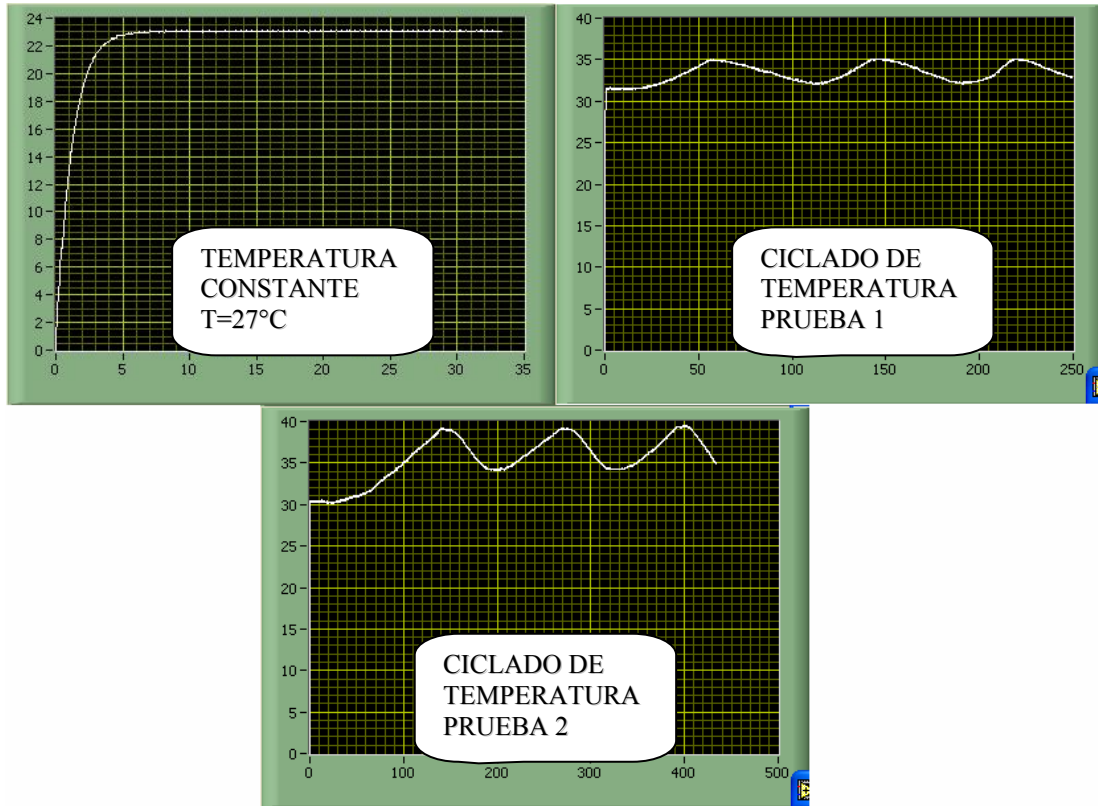


FIGURA 79. Fragmento del Reporte en Excel para la Prueba 2.
Fuente: El Autor.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		% Deformaci	Temperatura	% Variacion	ε % Variacion	ε % Deformacio	Esfuerzo Rad	Esfuerzo Lon	# Ciclos de T	Deformacion	Deformacion radial	mm
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3		0	30,35	0,02	0,02	0,01	25649,27	0	0	0	0	0
4		0	30,36	0,01	0,01	0	25649,27	0	0	0	0	0
5		0	30,33	-0,01	-0,01	0	25649,27	0	0	0	0	0
6		0	30,43	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
7		0	30,39	0	0	0,23	25649,27	0	0	0	0	0
8		0	30,38	0	0	0,25	25649,27	0	0	0	0	0
9		0	30,35	0	0	0,25	25657,13	0	0	0	0	0
10		0	30,39	0	0	0,09	25649,27	0	0	0	0	0
11		0	30,39	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
12		0	30,37	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
13		0	30,41	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
14		0	30,29	0	0	0,25	25649,27	0	0	0	0	0
15		0	30,35	0	0	0,25	25649,27	0	0	0	0	0
16		0	30,35	0	0	0,25	25657,13	0	0	0	0	0
17		0	30,35	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
18		0	30,29	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
19		0	30,38	0	0	0	25657,13	0	0	0	0	0
20		0	30,35	0	0	0,09	25649,27	0	0	0	0	0
21		0	30,28	0	0	0,25	25657,13	0	0	0	0	0
22		0	30,34	0	0	0,25	25657,13	0	0	0	0	0
23		0	30,3	0	0	0,21	25657,13	0	0	0	0	0
24		0	30,35	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
25		0	30,36	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
26		0	30,35	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
27		0	30,37	0	0	0,14	25649,27	0	0	0	0	0
28		0	30,31	0	0	0,25	25649,27	0	0	0	0	0
29		0	30,34	0	0	0,25	25649,27	0	0	0	0	0
30		0	30,36	0	0	0,18	25649,27	0	0	0	0	0
31		0	30,41	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
32		0	30,41	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
33		0	30,41	0	0	0	25657,13	0	0	0	0	0
34		0	30,38	0	0	0,18	25649,27	0	0	0	0	0
35		0	30,34	0	0	0,25	25649,27	0	0	0	0	0
36		0	30,39	0	0	0,25	25649,27	0	0	0	0	0
37		0	30,48	0	0	0,12	25649,27	0	0	0	0	0
38		0	30,51	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
39		0	30,47	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0
40		0	30,37	0	0	0	25649,27	0	0	0	0	0

FIGURA 80. Graficas de Carga Constante y en Ciclos.
Fuente: El Autor.

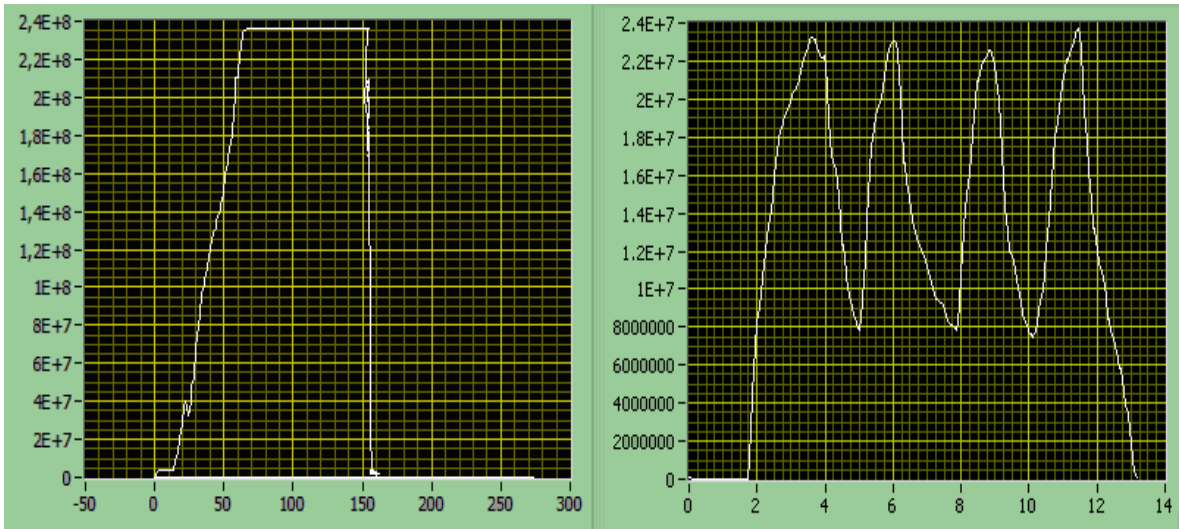


FIGURA 81. Grafica de Esfuerzo vs. % deformación (Excel).
Fuente: El Autor.

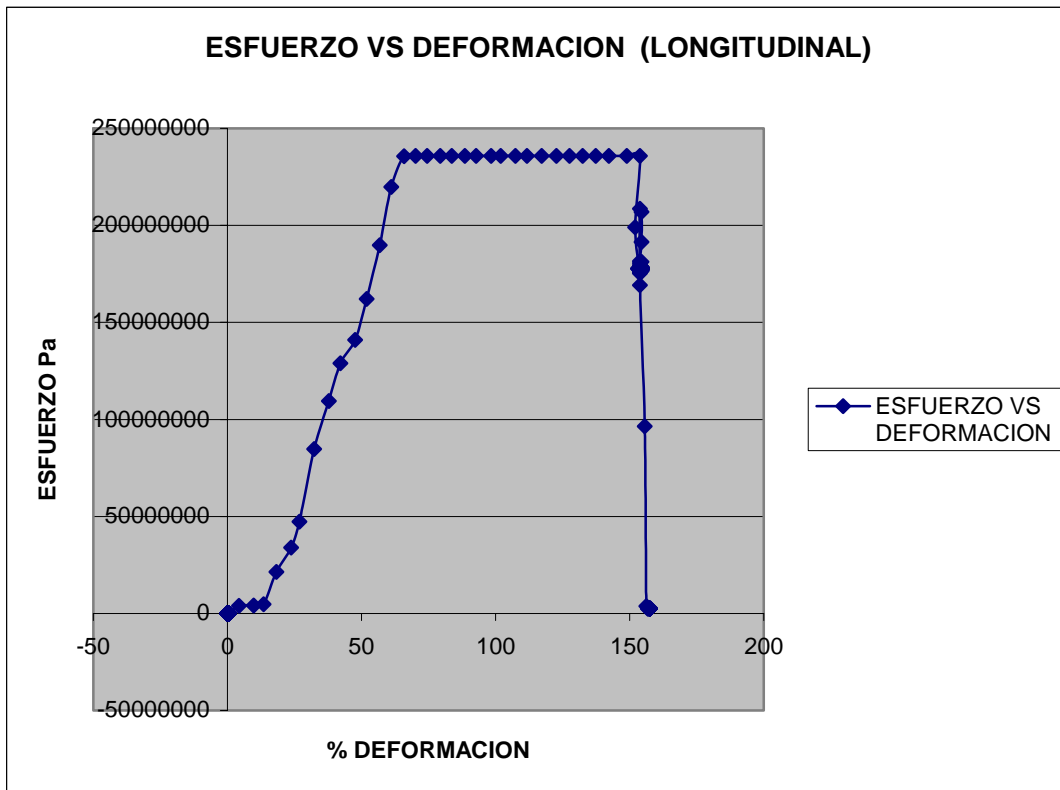


FIGURA 82. Grafica de Esfuerzo Radial vs. Tiempo del Panel Frontal.
Fuente: El Autor.

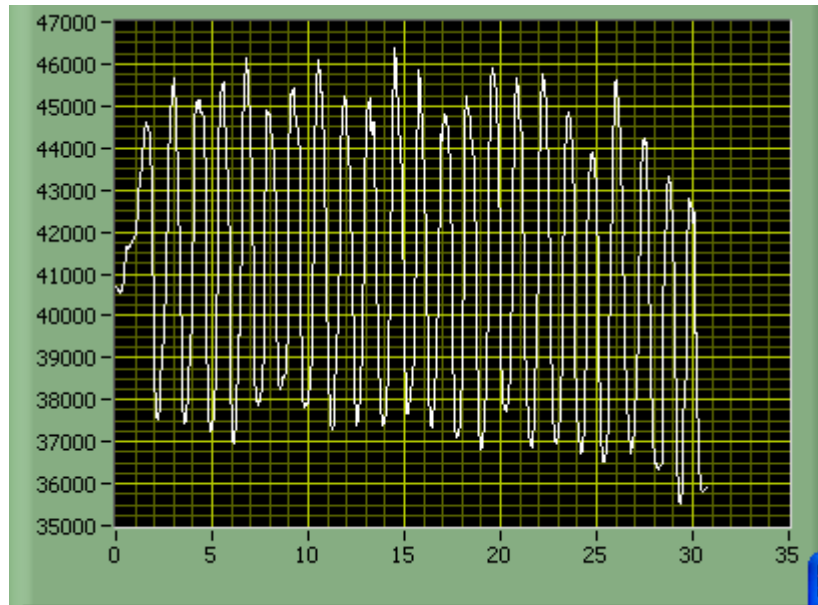
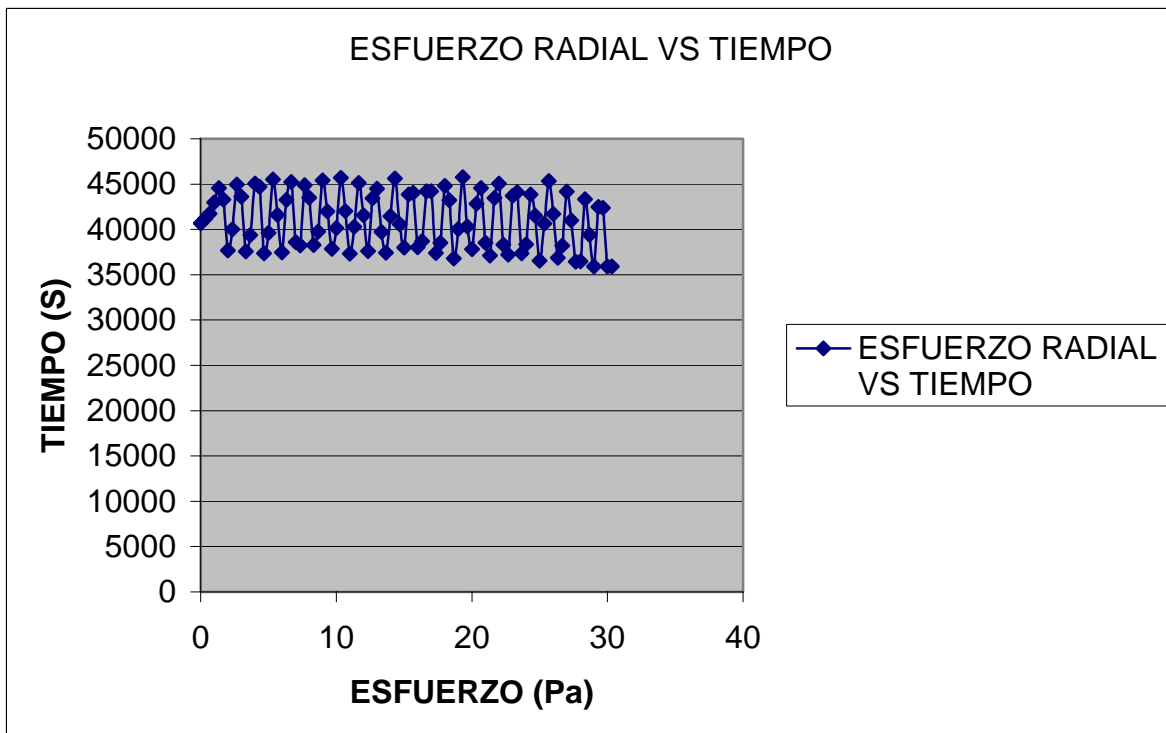


FIGURA 83. Grafica de Esfuerzo Radial vs. Tiempo (Excel).
Fuente: El Autor.



7. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

La fatiga en materiales con memoria de forma es un proceso difícil de determinar, por lo cual se hace indispensable diseñar e implementar equipos o instrumentos, con los cuales se puedan caracterizar las variables que intervienen durante el ensayo, teniendo en cuenta que los equipos diseñados deben cumplir con las normas internacionales.

Con la elaboración de este trabajo de grado, se obtuvo un equipo para determinar las diferentes variables que intervienen en un ensayo de fatiga para materiales con memoria de forma, además la automatización del mismo permite controlar varios actuadores, como la máquina de tracción, ya sea con motor AC o paso a paso y el sistema de refrigeración o calentamiento, para suministrar la adaptabilidad del equipo y un ambiente controlado durante los ensayos de fatiga.

El resultado de esta tesis, es un sistema de adquisición de datos automatizado, con la capacidad de medir o cuantificar las variables involucradas en los ensayos de fatiga para microtubos de Nitinol, apto para la entrega de datos y visualización de las variables durante el progreso de la prueba, tanto en tiempo real como en el archivo de salida en Excel, empleando una interfaz grafica amigable y robusta desarrollada en **software** de alto nivel como lo es **LabVIEW** y aprovechando una tarjeta de adquisición de datos que emplea el puerto USB, para la comunicación del PC y el equipo acondicionador de señales provenientes de los transductores, que captan las diferentes variables del proceso que son: Fuerza, presión, temperatura, desplazamiento y voltaje.

Con las pruebas realizadas al sistema de adquisición de datos se comprobó su adaptabilidad a diferentes máquinas de tracción, así como la fidelidad en su control térmico y de tracción, también se verifico la medición de la variable resistividad y esfuerzo radial ya calibrada, con lo cual el equipo es apto para realizar los ensayos de fatiga.

En lo referente al **hardware**, la utilización de la tarjeta de adquisición de datos **Labjack U12™** proporciona una ventaja en el acondicionamiento de señales, por su fácil manejo y consecución en el mercado, orientando la automatización al manejo del control y las lecturas de las variables desde el computador.

Aunque no se encuentra dentro de los compromisos planteados en este trabajo de grado, se realizo el acondicionamiento para un LVDT, utilizando una entrada de la tarjeta de adquisición de datos, para la toma de datos de la variable deformación radial, además se acondiciono una salida de la tarjeta, para el control de una válvula de control proporcional y electrónico, para regular la presión que se pretende introducir al microtubo de nitinol.

Para evitar la introducción de errores dentro de la medición de las variables, es necesario que la probeta se encuentre ubicada de tal forma que la fuerza aplicada sea totalmente longitudinal siguiendo las normas preestablecidas, además la calibración de los transductores tanto software como en hardware es parte fundamental para realizar una lectura correcta evitando errores y permitiendo su repetibilidad, durante los ensayos.

Las normas ASTM utilizadas para la realización de los ensayos de tracción y para la evaluación del monitoreo de las variables temperatura y fuerza, y en general para el sistema de adquisición de datos, es de vital importancia puesto que este equipo forma parte del instrumental, para el Grupo de Investigación en Biomateriales de la Universidad Industrial de Santander, para uso científico por ende debe cumplir con las normas o estándares internacionales

8. RECOMENDACIONES

- ◆ La tarjeta de adquisición de datos empleada en el sistema de adquisición de datos, Labjack U12™ es delicada, por lo tanto es fundamental tener los debidos cuidados con su uso y manejo para prolongar su vida útil.
- ◆ Para realizar las calibraciones se recomienda utilizar equipos de precisión como calibrador pie de rey digital, manómetros digitales, termómetros digitales y pesos estandarizados, para obtener lecturas correctas en la posterior medición.
- ◆ Para la adaptación del sistema de adquisición de datos con una máquina de tracción que emplea un motor AC, es necesario que la lógica que emplea sistema de adquisición de datos por medio de sus relees, sea la misma que la empleada por la máquina de tracción, además se debe tener en cuenta que los relees soportan en sus contactos a la salida 2A con 120Vac, 1A con 220Vac y 5A con 30Vdc, para evitar daños en los contactos.
- ◆ Para la adaptación del sistema de adquisición de datos con una máquina de tracción que emplea un motor paso a paso, se debe tener en cuenta que el sistema opera el motor con una codificación de paso completo e intermedio, además el sistema solo provee por fase 2.5 Vdc y 6.5A.
- ◆ Para la adaptación del sistema de adquisición de datos sobre el control de una maquina de tracción que emplea un motor de AC, es necesario que primero se caracterice el sistema de tracción, para evitar errores en el monitoreo y control de las variables esfuerzo y deformación longitudinal, debido a posibles tolerancias de los engranajes o errores del sistema de tracción.
- ◆ Dentro de la automatización de equipos de tracción es importante tener en cuenta la vibración producida por el sistema de tracción, puesto que este factor introduce ruidos o mejor aun interfiere en la medición de la deformación producida por el ensayo tensil, teniendo en cuenta que para rangos de medición muy pequeños (aproximadamente menores a 1mm) el ruido puede ser una variable critica en la medición.
- ◆ Antes de operar el sistema de adquisición de datos es necesario que el usuario lea el manual de operación del mismo para así evitar daños al equipo por mal manejo, como para agilizar el proceso.

BIBLIOGRAFIA

AVILES, Rafael. Análisis de Fatiga En Máquinas. España, Editorial Thomson Editores, 2005.

PESCHARD, Eugenio. Resistencia de Materiales. México, Editorial Melo, 1976. p. 45-56.

LOPEZ CUELLAR, Enrique. Una Introducción a las Aleaciones con Memoria de Forma. En: Revista Ingenierías. Vol. V, N° 16 y 17, (julio2002, octubre 2002). p. 5-11, 14-19

LOPEZ CUELLAR, Enrique. Diseño de una Máquina de Fatiga En Materiales con Memoria de Forma en Base Ti-Ni. En: Revista Ingenierías. Vol. VI, N° 19, (Abril 2003). p. 31-38

QING-PIN, Sun, ZHI-QI, Li. Phase Transformation in superelastic NiTi polycrystalline micro-tubes under tension and torsion-from localization to homogeneous deformation. En: International Journal of Solid and Structure. Elsevier Science Ltda. (2002). p. 1-13

T.W. Duerig, K.N. Melton, D. Stöckel, and C.W. Wayman, Engineering Aspects of Shape Memory Alloys, Butterworth-Heinemann Ltd., London, (1990), p. 14-18, 369-393.

PONCET, Philippe. Nitinol Medical Device Design Considerations, MEMRY Corporation. (2003). p. 1-12.

LOPEZ GARCIA, Oscar, CARNICERO LOPEZ, Alberto, RUIZ PABLOS, Rosa. Materiales Inteligentes. En: Anales de Mecánica y Electricidad. (Noviembre 2003). p. 40-46.

MENDEZ LARROTA, Lucia, JIMENEZ OSORIO, Oscar. Automatización de la Máquina de Tracción Lenta, Bucaramanga 2002, 172p. Trabajo de grado (Ingeniería Electrónica). Universidad Industrial de Santander UIS. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

TIRADO ARIZA, Edwin. Automatización de un Equipo para la Evaluación de Recubrimientos Mediante Ensayo Tensil. Bucaramanga 2005, 154p. Trabajo de grado (Ingeniería Electrónica). Universidad Industrial de Santander UIS. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

CHAPMAN, Stephen J. Máquinas Eléctricas. Madrid. Editorial Mc Graw Hill. 2000. p. 527-577

SEDRA, Adel S, SMITH, Kenneth C. Circuitos Microelectrónicos. México. Editorial Oxford University Press, Inc. 2001. p. 60-101, 122-196

RASHID M. H. Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y Aplicaciones. Madrid. Editorial PRENTICE HALL Hispanoamericana S.A. 1993. p. 35-90

www.ti.com

www.omega.com

www.national.com

www.elsevier.com

www.ASTM.com

www.ni.com

www.labjack.com

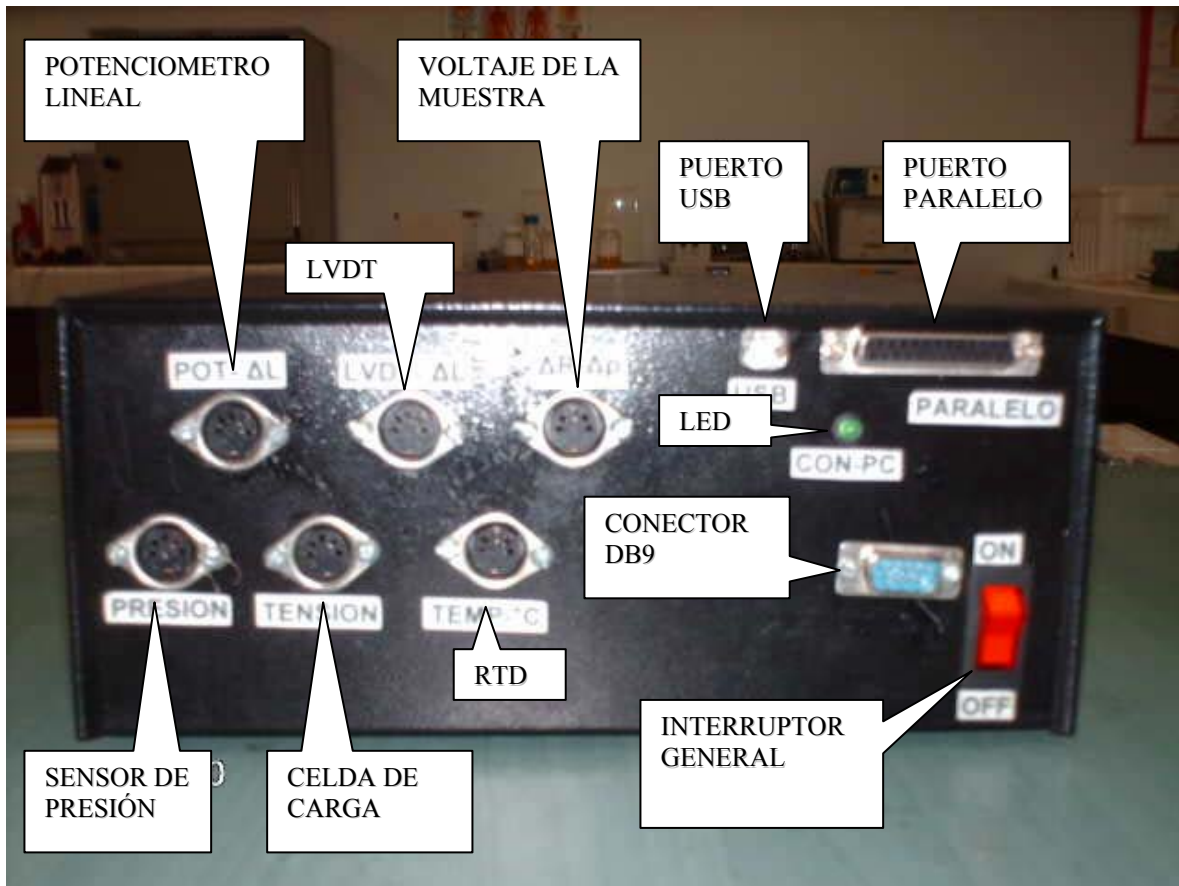
ANEXOS

ANEXO A. 1 MANUAL DE USUARIO SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para orientar al usuario en el manejo del sistema de adquisición de datos, para llevar a cabo el ensayo de fatiga utilizando una máquina de tracción, se presenta a continuación el siguiente manual de usuario.

Como punto de referencia, se explicara en primera instancia el sistema de acondicionamiento de señales y posteriormente el procedimiento en el manejo de los datos en la interfase, para la realización del ensayo de fatiga.

FIGURA A1. Panel Frontal del Sistema de Acondicionamiento de Señales.
Fuente: El Autor.

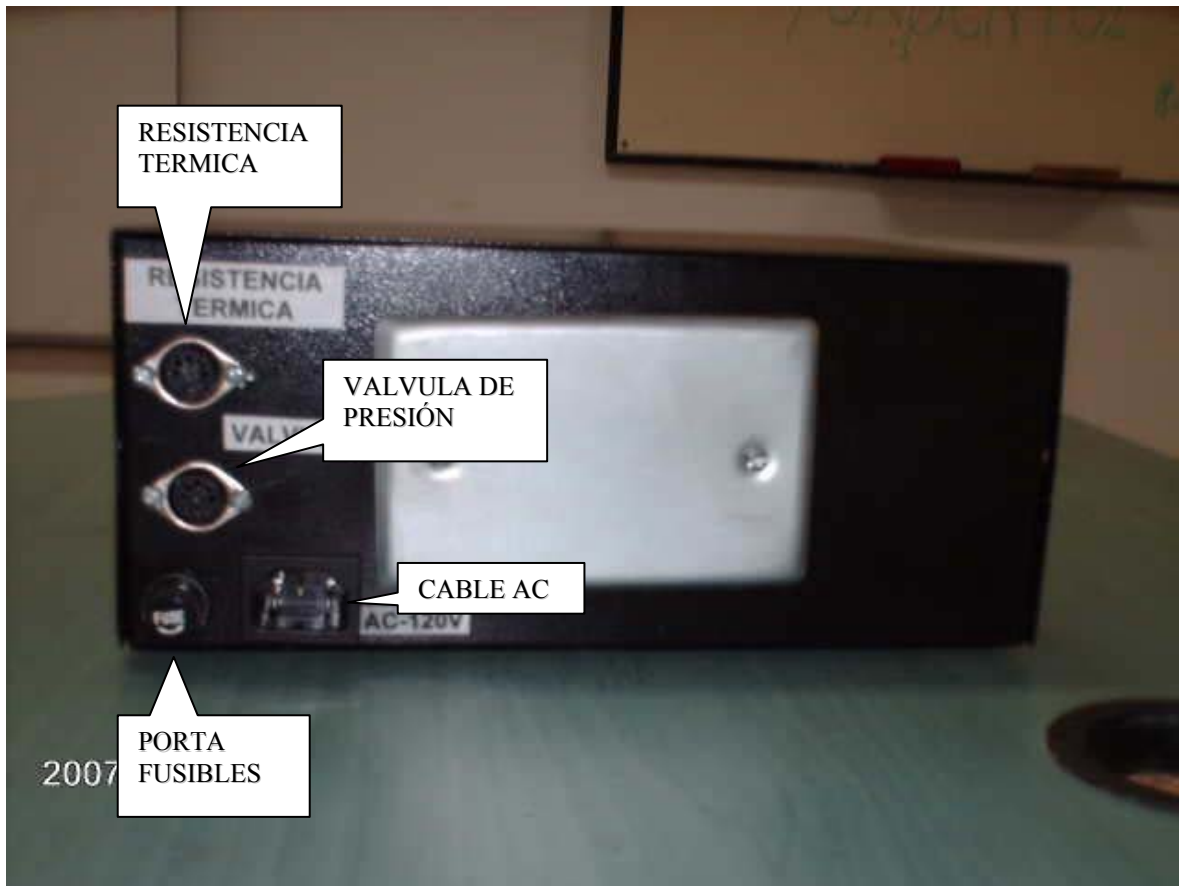


En la figura A1 se presenta la parte frontal del sistema de acondicionamiento de señales donde se cuenta con los seis conectores para las entradas de señal de los diferentes sensores, el conector DB9 para el control ON/OFF del motor y las bombas de refrigeración, el puerto USB y paralelo para la conexión con el computador, el led indicador de conexión

habilitada y el interruptor de encendido y apagado del sistema de acondicionamiento de señales.

En la figura A2 se aprecia la parte trasera del sistema de acondicionamiento de señales, donde se observa el conector para la resistencia térmica, el conector de la válvula de control de presión, el porta fusible y el conector del cable de alimentación 120Vac.

FIGURA A2. Parte Trasera del Sistema de Acondicionamiento de Señal.
Fuente: El Autor.



CONEXIONES BASICAS

Como se observo en las imágenes anteriores, el equipo utiliza los siguientes elementos externos en su funcionamiento:

- i. Cable DB9 para el control del movimiento del motor a través de relees, con los pines 1 y 2 Arriba, los pines 2 y 3 Detenido y los pines 4 y 5 Abajo, con los pines 6 y 7 se controla las bombas.
- ii. Cable USB 2.0 para la conexión del sistema de acondicionamiento de señales y el computador.
- iii. Cable AC para suministrar potencia al sistema de acondicionamiento de señales.
- iv. Cable con conector Macho de 5 pines para la celda de carga, la RTD, el potenciómetro lineal, el voltaje de la muestra, el sensor de presión, y el LVDT.
- v. En caso de no necesitar la toma de datos de variación de resistividad o resistencia, poner el conector macho de 5 pines adicional en la entrada de voltaje de la muestra.
- vi. Portafusible en donde se aloja un fusible de 250V/5A, para proteger al sistema de acondicionamiento de señales de un cortocircuito.

ADVERTENCIA



Para encender el acondicionador de señales observe si los respectivos cables se encuentran en su debido lugar, para evitar daños a los transductores y demas elementos.



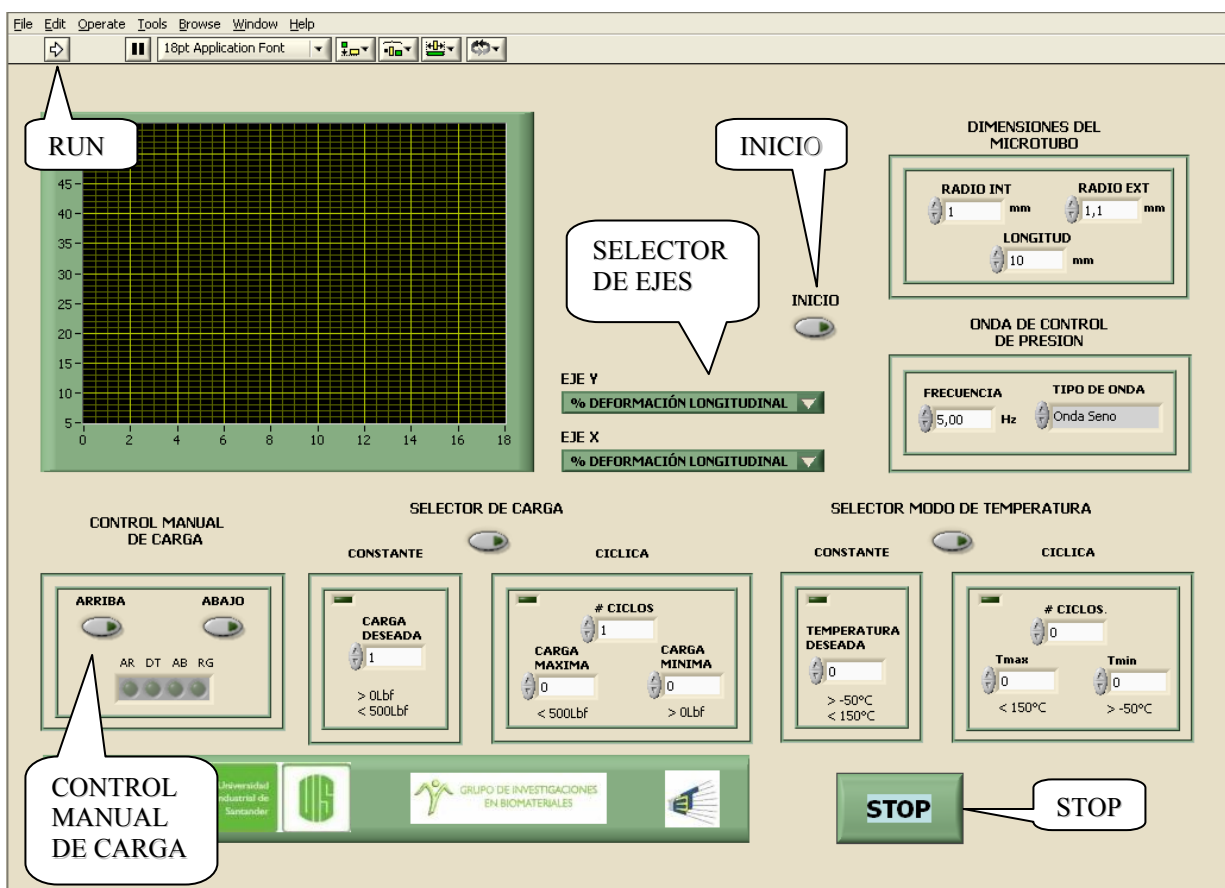
PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Después de realizar los debidos tratamientos previos a las probetas o microtubos, se procede a realizar el ensayo de fatiga para lo cual se sigue el siguiente procedimiento.

Encienda el acondicionador de señales con sus respectivos elementos externos conectados en su debido lugar, posteriormente abra la aplicación realizada en el **software** de alto nivel **LabVIEW®**, donde aparecerá en la pantalla la imagen mostrada en la figura A3.

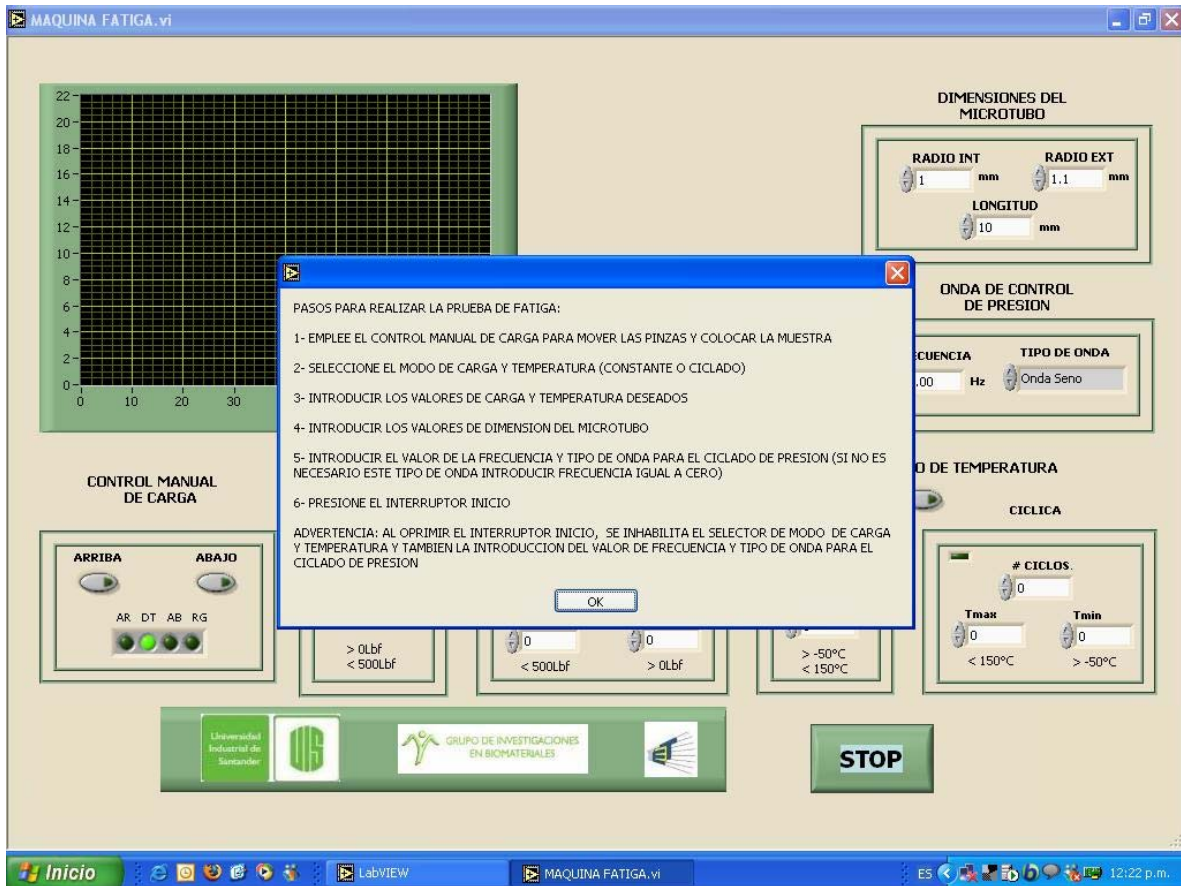
FIGURA A3. Pantalla Inicial.

Fuente: El Autor.



Como se observa en la figura A3, en la esquina superior izquierda aparece el icono **RUN** en forma de flecha, al dar **click** sobre este icono se inicia la ejecución del programa, en el cual inicialmente se despliegan varias ventanas consecutivas preguntando la información sobre el tipo de **test** a realizar, con los valores de carga, temperatura, presión, y dimensiones de la probeta, en la figura A4 se presenta una imagen de la pantalla donde se pregunta que tipo de carga se pretende aplicar en el ensayo.

FIGURA A4. Mensaje del Inicio de la Prueba.
Fuente: El Autor.



Cada ventana pregunta la información necesaria para realizar el ensayo, otras ventanas son explicativas o informativas, en caso de introducir información o valores erróneos la ventana persistirá hasta que el error sea corregido.

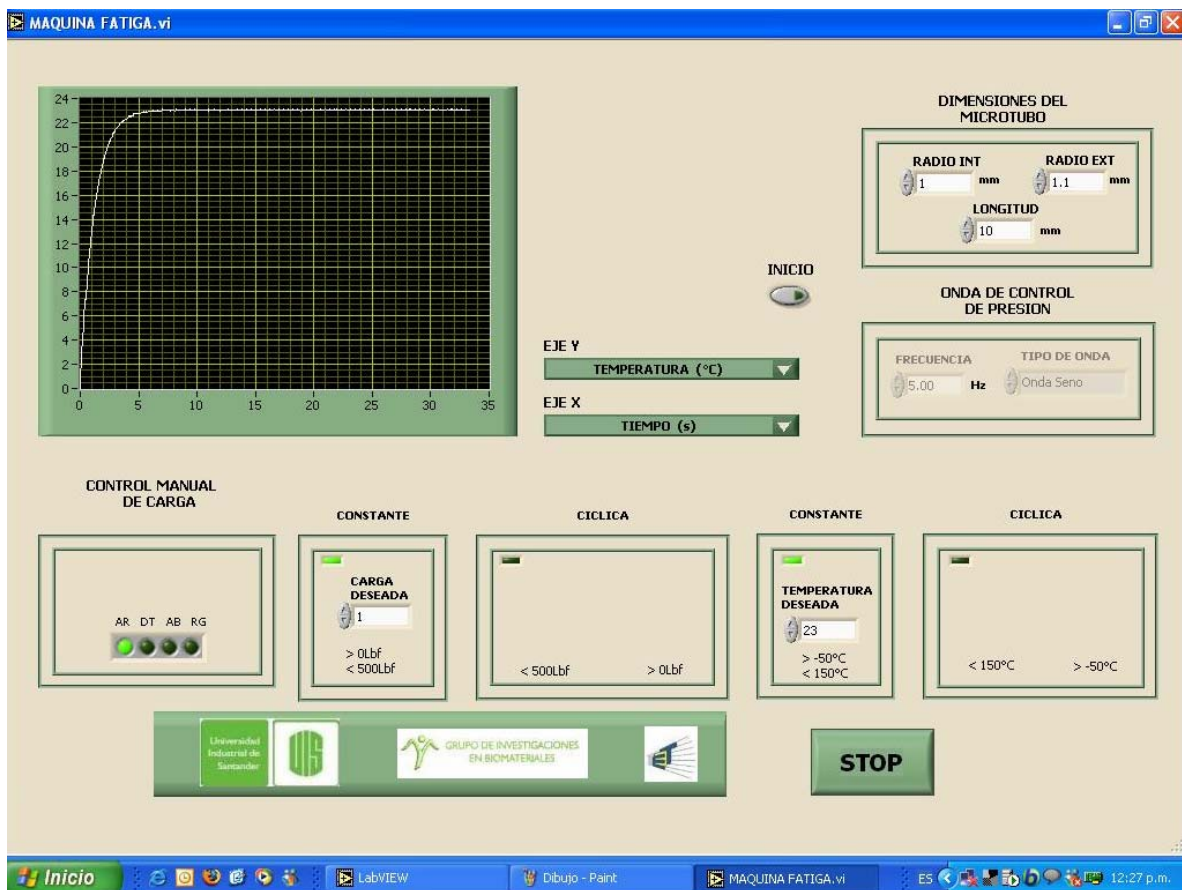
Después de introducir la información para realizar el ensayo, se procede a verificar los datos introducidos para corregir en caso de presentar errores, es de aclarar que la onda de control de presión y los selectores de carga y modo temperatura mostrados en la figura A3, no pueden modificarse en este punto, por lo tanto si se desea modificar alguno de los anteriores ítems es necesario oprimir **STOP** para detener la prueba y volver a iniciar el proceso.

Una vez verificados los datos introducidos, se procede a la colocación de la probeta en la máquina de tracción, para lo cual se utiliza el control manual de carga mostrado en la figura A3, para desplazar las mordazas, después de la ubicación y sujeción de la probeta se oprime el botón **INICIO** para realizar el ensayo de fatiga.

NOTA: Antes y después de oprimir inicio, se pueden utilizar los selectores de ejes mostrados en la figura A3, para seleccionar en cada eje la variable a visualizar, después de oprimir **INICIO** el control manual de carga se deshabilita.

En la figura A5 se presenta una imagen del programa durante el ensayo, en la cual se visualiza la variable Temperatura vs. Tiempo, en este modo de ejecución también es posible modificar algunos valores siempre y cuando estén en el rango de operación, es de advertir que en el caso de introducir un valor no razonable en las dimensiones del microtubo, en el ciclado de carga o temperatura, la interfase finaliza el proceso automáticamente.

FIGURA A5. Programa Durante Ensayo.
Fuente: El Autor.



Las causas de finalización del ensayo de fatiga son las siguientes:

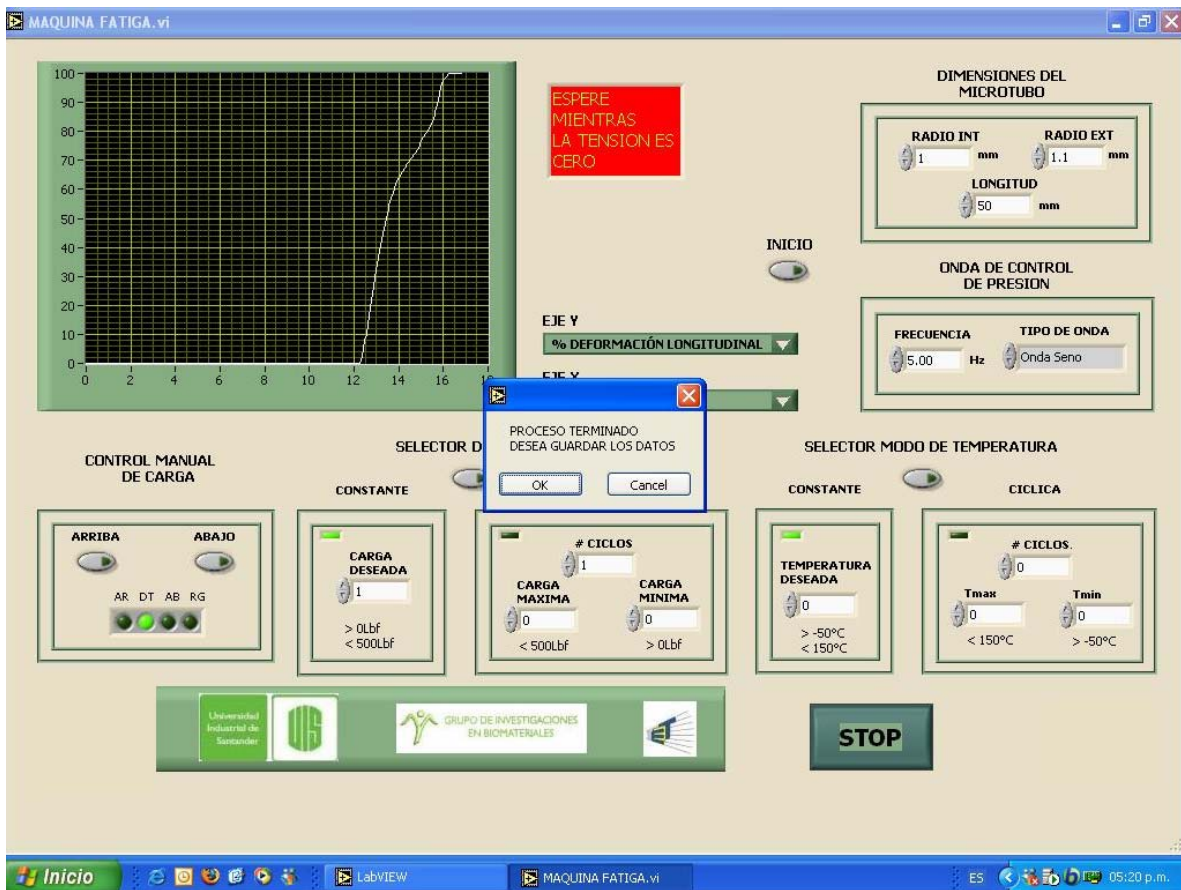
- i. Terminación de los ciclos de carga.
- ii. Oprimir el botón **STOP**.
- iii. Rotura de la probeta.
- iv. Introducción de datos ilógicos en las dimensiones de la probeta y ciclado de la carga o temperatura.

Posteriormente la interfase presenta una advertencia, para indicarle al usuario un tiempo de espera para que la carga sea cero y así poder retirar la probeta (en caso de no sufrir la

rotura), al llegar la carga a cero, la interfase despliega una ventana preguntándole al usuario si desea guardar los datos obtenidos de las variables, en un Libro de Excel, al oprimir **OK** se realiza la anterior tarea, al oprimir **CANCEL** no se guarda ningún dato, en la figura A6 se presenta una imagen del programa durante la finalización del ensayo de fatiga;

Para realizar otro ensayo cambie la probeta y oprima **RUN** siguiendo nuevamente el procedimiento anterior.

FIGURA A6. Programa Durante la Finalización del Ensayo.
Fuente: El Autor.



ANEXO A. 2 PROCESOS PREVIOS

Para la realización del ensayo de fatiga a los materiales con memoria de forma es necesario que la superficie del material este estrictamente limpia y lisa, además el material debe ofrecer el nivel de dureza y resistencia mecánica para soportar la tracción en el ensayo, por tales motivos es necesario que las probetas sean sometidas a diferentes tratamientos con el fin de cubrir estos aspectos satisfactoriamente, en los siguientes apartes se nombran y explican los tratamientos por los cuales son sometidos los microtubos antes del ensayo.

- ◆ **Electropulido** Es un proceso electrolítico en el cual el metal en una celda actúa como ánodo, al aplicar una corriente al proceso, en la superficie del metal se forma una película polarizada, que permite a los iones del metal difundirse a través del film, con lo cual los puntos altos de las rugosidades en la superficie y las zonas de rebaba son disueltos con mayor velocidad, produciendo un nivelado y abrillantado en la superficie del metal. El electropulido se realiza para eliminar las irregularidades de las superficies intrincadas, desde una centésima de micrón hasta algunos micrones (Abrillantado y Alisado), aumentar la resistencia a la corrosión, eliminar la coloración por procesos de corte y oxidación, evitar la adherencia de los líquidos sobre el metal y ayuda en la detección de porosidades del material.
- ◆ **Tratamiento Térmico** Es el proceso por el cual un material es sometido a ciclos de calentamiento y enfriamiento con el fin de modificar su dureza y resistencia mecánica, existen diferentes tipos de tratamientos térmicos y se diferencian en los tiempos de calentamiento y enfriamiento. El tratamiento térmico normalizado es utilizado para afinar y homogeneizar la estructura del material, el recocido busca ablandar el material para facilitar el mecanizado y corte de las piezas, el temple aumenta la dureza y resistencia mecánica del material, esto se consigue realizando cambios bruscos de temperatura al enfriar el material, y el revenido es similar al temple pero con diferencias en la velocidad de enfriamiento del material, con lo cual se obtiene aumentar la tenacidad del material y así evitar la deformación.
- ◆ **Decapado** El proceso de decapado químico consiste en la inmersión de las piezas en una solución de ácidos y tiene como objeto eliminar los óxidos metálicos, la cascarilla de corte, el óxido de recocido y la grasa de las piezas para que se queden químicamente limpias, y se utiliza el método de inspección visual como el más adecuado para determinar el estado del decapado, la correcta limpieza se lleva a cabo con el estricto cumplimiento de la norma ISO 8501, siendo obligatorio alcanzar el grado de limpieza SA3, otro tipo de decapado es el de tipo mecánico en el cual la probeta es sometida a procesos abrasivos como el arenado y el pulido o lijado en este proceso se requiere un desengrasado previo.
- ◆ **Limpieza por Ultrasonido** La limpieza por ultrasonido es el resultado de introducir ondas de ultrasonido en el agua, a través de una serie de transductores, estas ondas se transmiten por todo el tanque de limpieza, produciendo una serie de implosiones dentro del agua, un fenómeno conocido como cavitación; estas implosiones son las que hacen que se rompa la estructura molecular en las partículas y se consiga una limpieza uniforme en las piezas, incluso orificios y conductos internos en contacto con el agua, difíciles de limpiar por métodos tradicionales.

ANEXO A. 3. DESCRIPCION DE LA TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS

A continuación se describen los diferentes bloques que conforman la tarjeta, y que son utilizados en la automatización de la máquina de fatiga.

Puertos de Comunicación con el PC.

La tarjeta Labjack™ U12 consta de dos puertos de comunicación con el PC el puerto USB y el Puerto paralelo, para la comunicación con el puerto paralelo la tarjeta tiene un conector DB25 que provee conexión para 16 líneas digitales nombradas de D0 a D15, a través de las cuales se comunican el PC con la entradas y salidas de la tarjeta, en la tabla A1 se presenta la configuración de las 16 líneas con los pines del conector DB25, se debe tener cuidado con esta conexión ya que no tiene protección de sobrevoltaje y cortocircuito, para la realización de este proyecto el puerto paralelo no será utilizado, porque el puerto USB tiene mayor velocidad de transmisión de datos con respecto al paralelo.

Tabla A1. Configuración del Conector DB25.

Fuente: <http://www.Labjack.com>

DB25 Pinouts:

1: D0	6: D5	11: +5V	16: GND	21: D11
2: D1	7: D6	12: +5V	17: GND	22: D12
3: D2	8: D7	13: +5V	18: D8	23: D13
4: D3	9: NC	14: GND	19: D9	24: D14
5: D4	10: +5V	15: GND	20: D10	25: D15

La comunicación con el PC se realiza por el puerto USB a través del **Hub** presente en la tarjeta, este realiza la misma función que el puerto paralelo pero con mayor velocidad, además al conectar la tarjeta con el computador por el puerto USB, el computador la reconoce y la activa.

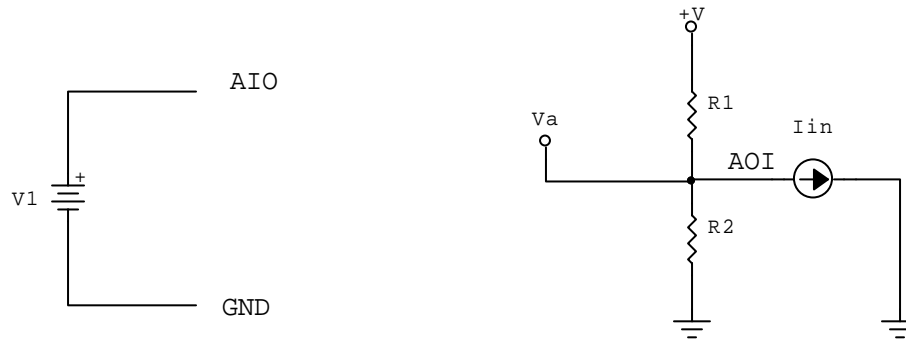
Canales Analógicos de Entrada.

Como se menciona anteriormente la tarjeta Labjack™ U12 posee 8 canales de entradas analógicas referenciadas como AI0-AI7, los cuales se pueden configurar en dos modos de operación:

SE (Single Ended): En este modo de operación la entrada analógica es referida directamente a la tierra de la tarjeta GND, tiene un rango de medición de $\pm 10V$, 12 bits de resolución y $90\mu A$ de corriente de entrada, en la figura A1 se presentan dos esquemas de acople en este modo.

FIGURA A1. Configuración en Single Ended.

Fuente: El Autor.



Diferencial (DIFF): En esta configuración se utilizan dos líneas de entradas analógicas para una señal diferencial, el rango de medición es programable dependiendo de la ganancia dada al amplificador de ganancia programable, en la tabla A2 se observan estos valores de ganancia y rango de medición, además en esta configuración se obtiene una resolución efectiva mayor de 16 bits, en la figura A2 se observa una configuración diferencial.

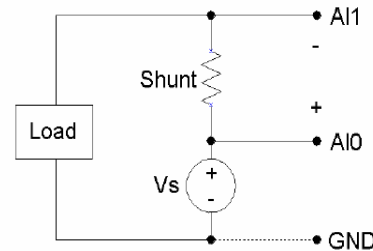
Tabla A2. Ganancias y Rangos de Medición.

Fuente: <http://www.Labjack.com>

G=1	±20 volts
G=2	±10 volts
G=4	±5 volts
G=5	±4 volts
G=8	±2.5 volts
G=10	±2 volts
G=16	±1.25 volts
G=20	±1 volt

FIGURA A2. Configuración Diferencial.

Fuente: <http://www.Labjack.com>



Canales Analógicos de Salida.

La tarjeta Labjack™ U12 tiene dos terminales de salidas analógicas de voltaje referidas como AO0 y AO1, cada salida puede ponerse de 0 a +5V con 10 bits de resolución, y una exactitud de ±5%, la velocidad de transmisión de datos es de 50 Hz máximo, estas salidas son controladas por **software**.

Canales Digitales I/O.

Como se menciona anteriormente la tarjeta Labjack™ U12 tiene cuatro canales digitales referidos como IO0-IO3, que se pueden configurar como entradas o como salidas, cada canal tiene protecciones de sobrevoltaje y cortocircuito utilizando una resistencia de 1.5kΩ en serie, estos canales son controlados por **software**, y la velocidad de transmisión de datos por estos canales depende del **software** implementado.

Bloque de Terminales.

La tarjeta Labjack™ U12 cuenta con 30 terminales en su parte frontal para la conexión de todos los canales de entradas y salidas tanto digitales como analógicas y demás, para la tarjeta Labjack™ U12 la tierra digital DGND es la misma tierra analógica AGND.

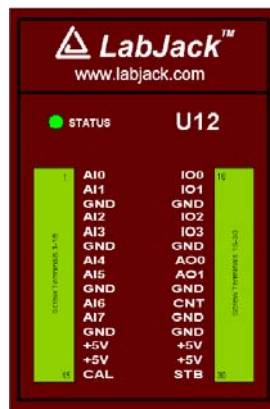
Como observación, se indica que los terminales de los canales digitales no poseen protección de sobrevoltaje y cortocircuito, por lo tanto se tiene que tener cuidado en la implementación de hardware, para no causar daños en la tarjeta.

En la tabla A3 se presenta la configuración de pines en los terminales de la tarjeta y en la figura A3 se presenta la parte frontal de la tarjeta con su numeración de pines.

Tabla A3. Configuración de Terminales.
Fuente: El Autor.

NUM	NOMBRE	NUM	NOMBRE	NUM	NOMBRE
1	AI0	11	AI7	21	GND
2	AI1	12	GND	22	AO0
3	GND	13	+5V	23	AO1
4	AI2	14	+5V	24	GND
5	AI3	15	CAL	25	CNT
6	GND	16	IO0	26	GND
7	AI4	17	IO1	27	GND
8	AI5	18	GND	28	+5V
9	GND	19	IO2	29	+5V
10	AI6	20	IO3	30	STB

FIGURA A3. Parte Frontal de la Tarjeta Labjack™ U12.
Autor: <http://www.Labjack.com>



ANEXO B. HOJAS DE DATOS

En este anexo se presentan apartes de las hojas de datos de los dispositivos, transductores y elementos que componen el sistema de adquisición de datos elaborado en el Trabajo de grado

ANEXO B. 1 TARJETA LABJACK U12

LabJack U12 Quickstart Guide

Revision 1.09
9/8/2003

LabJack Corporation
www.labjack.com
support@labjack.com



For the complete *LabJack U12 User's Guide* or the latest version of the LabJack software, go to www.labjack.com.

The LabJack U12 is a measurement and automation peripheral that enables the connection of a PC to the real world. Although the LabJack U12 has many redundant protection mechanisms, it is possible, in the case of improper and/or unreasonable use, to damage the LabJack and even the PC to which it is connected. LabJack Corporation will not be liable for any such damage.

Installation

The LabJack U12 requires a PC running Windows 98SE, ME, 2000, or XP. To determine your operating system version, go to

Start => Settings => Control Panel => System => General

and make sure the version number is 4.10.2222 or higher (Win98SE=4.10.2222, WinME=4.90.3000, Win2000=5.0.2195, WinXP=5.1.XXXX).

It does not matter if the hardware or software is installed first.

If you experience installation problems on Windows 98 Second Edition, before contacting us, please go to the downloads page at labjack.com and download "win98sehid.zip" (see the readme file for more information).

Hardware Installation

With the PC on and using the included cable, connect the LabJack U12 to the USB port on the PC or USB hub. The USB cable provides power and communication for the LabJack U12. The status LED should immediately blink 4 times (at about 4 Hz), and then stay off while the LabJack enumerates.

Enumeration is the process where the PC's operating system gathers information from a USB device that describes it and its capabilities. The low-level drivers for the LabJack U12 come with Windows and enumeration will proceed automatically. The first time a device is enumerated on a particular PC, it can take a minute or two, and Windows might prompt you about installing drivers. Accept all the defaults at the Windows prompts, and reboot the PC if asked to do so. The Windows Installation CD might also be needed at this point. Make sure a CD with the correct version of Windows is provided. Enumeration occurs whenever the USB cable is connected, and only takes a few seconds after the first time.

When enumeration is complete, the LED will blink twice and remain on. This means Windows has enumerated the LabJack properly.

If the LabJack fails to enumerate:

- Make sure you are running Windows OS version 4.10.2222 or higher,
- If Win98SE, check out win98sehid.zip from our downloads page,
- Try connecting the LabJack to another PC,
- Try connecting a different USB device to the PC,
- Check our online forum and/or contact LabJack.

Software Installation

Although, the low-level USB drivers for the LabJack are included with Windows, high-level drivers are needed to send and receive data. The included LabJack CD installs the high-level drivers, example source code, and example applications.

Close all open applications, especially LabJack related software, and insert the LabJack CD. If autorun is enabled, the installation program should start automatically. If the installation does not start, you will have to manually double-click on LabJackVXXX.exe.

When the LabJack installation is finished, it will start the National Instruments LabVIEW Run-Time Engine (LVRTE) setup. The LVRTE is required for the example applications, such as LJtest. If prompted to reboot after this installation, go ahead and do so. Virus scanners can often interfere with the installation of the LVRTE. If you have trouble running the example applications, repeat the LabJack software installation to make sure the LVRTE is installed.

To test the installation, start LJtest by selecting

Start => Programs => LabJack => LJtest.

Make sure "Test Fixture Installed" and "Continuous" are not selected, and press the "Run" button. LJtest should step through and pass 8 separate tests.

Hardware Description

The external features of the LabJack U12 are:

- USB connector
- DB25 digital I/O connector (D lines)
- Status LED
- 30 screw terminals.

The USB connection provides power and communication. No external power supply is needed. The +5 volt connections available at various locations are outputs, do not connect a power supply.

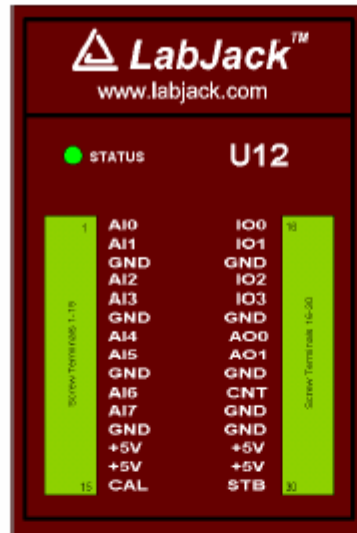


Figure 1. LabJack U12 top surface.

Figure 1 shows the top surface of the LabJack U12. Not shown are the USB and DB25 connectors, which are both on the top edge. The DB25 connector provides connections for 16 digital I/O lines, called D0-D15. It also has connections for ground and +5 volts. All connections besides D0-D15, are provided by the 30 screw terminals shown in Figure 1. Each individual screw terminal has a label, AI0 through STB.

- **AI0 – AI7:** The LabJack U12 has 8 screw terminals for analog input signals. These can be configured individually and on-the-fly as 8 single-ended channels, 4 differential channels, or combinations in between. Each input has a 12-bit resolution and an input bias current of $\pm 90 \mu\text{A}$.
 - **Single-Ended:** The input range for a single ended measurement is ± 10 volts.
 - **Differential channels** can make use of the PGA to provide gains up to 20, giving an effective resolution greater than 16-bits. In differential mode, the voltage of each AI with respect to ground must be between ± 10 volts, but the range of voltage difference between the 2 AI is a function of gain (G) as follows:

G=1	± 20 volts
G=2	± 10 volts
G=4	± 5 volts
G=5	± 4 volts
G=8	± 2.5 volts
G=10	± 2 volts
G=16	± 1.25 volts
G=20	± 1 volt

- **AO0 & AO1:** The LabJack U12 has 2 screw terminals for analog output voltages. Each analog output can be set to a voltage between 0 and the supply voltage (+5 volts nominal) with 10-bits of resolution.
- **IO0 – IO3:** Connections to 4 of the LabJack's 20 digital I/O are made at the screw terminals, and are referred to as IO0-IO3. These 4 channels include a $1.5 \text{ k}\Omega$ series resistor that provides overvoltage/short-circuit protection.
- **D0 – D15:** Connections to 16 of the LabJack's 20 digital I/O are made at the DB25 connector, and are referred to as D0-D15. These 16 lines have no overvoltage/short-circuit protection, and

can sink or source up to 25 mA each (total sink or source current of 200 mA max for all 16). All digital I/O are CMOS output and TTL input except for D13-D15, which are Schmitt trigger input.

DB25 Pinouts:

1: D0	6: D5	11: +5V	16: GND	21: D11
2: D1	7: D6	12: +5V	17: GND	22: D12
3: D2	8: D7	13: +5V	18: D8	23: D13
4: D3	9: NC	14: GND	19: D9	24: D14
5: D4	10: +5V	15: GND	20: D10	25: D15

- **CNT:** The input connection to the 32-bit counter is made at screw-terminal CNT. The counter is incremented when it detects a falling edge followed by a rising edge, and is capable of counting frequencies up to at least 1 MHz.
- **CAL & STB:** These terminals are used during testing and calibration. The CAL terminal is a 2.5 volt reference.
- **+5V:** The LabJack has a nominal +5 volt internal power supply. Power can be drawn from this power supply by connecting to the +5V screw-terminals, or the +5V pins on the DB25 connector. The total amount of current that can be drawn from the +5V pins, analog outputs, and digital outputs, is 450 mA for most desktop computers and self-powered USB hubs. Some notebook computers and bus-powered hubs will limit this available current to about 50 mA.
- **GND:** The GND connections available at the screw-terminals and DB25 connector provide a common ground for all LabJack functions.

LabJack Operation

The LabJack U12 CD installs 9 example applications: LJconfig, LJcounter, LJfg, LJlogger, LJscope, LJstream, LJtest, LJSHT, and LJSHTmulti. The LabVIEW source code for most of these is installed in the examples directory.

Also installed are high-level drivers (ljackuw.dll), an ActiveX interface to the high-level drivers (ljackuw.ocx), and LabVIEW VIs which call all the DLL functions. The DLL and OCX are installed in the Windows System directory. If the installation program can determine the LabVIEW directory, it copies the LabVIEW drivers into that directory (vi.lib\addons\l) so they show up on the function palette. Otherwise, the LabVIEW drivers are copied into the LabJack installation directory (c:\Program Files\LabJack\drivers\labview), and can manually be transferred to the LabVIEW directory.

Example Applications

- **LJconfig:** Sets the local ID of a particular LabJack. This is useful if multiple LabJacks are connected to the USB. Every LabJack has a local ID and serial number. The local ID is a value between 0 and 255 that can be changed by the user. The serial number is a value between 256 and 2,147,483,647. The serial number is unique among all LabJacks and cannot be changed by the user.
- **LJcounter:** Reads the LabJack counter and provides the frequency or count.
- **LJfg:** Outputs basic waveforms on A00 (analog output zero).
- **LJlogger:** Sends and receives data from all channels in command/response mode.
- **LJscope:** Simulates an oscilloscope by reading data from 2 AI channels in burst mode.
- **LJstream:** Uses stream mode to read, graph, and write to file, 4 AI channels.
- **LJtest:** Runs a sequence of tests on the LabJack itself. Users will generally leave "Test Fixture Installed" unselected and execute the tests with nothing connected to the LabJack (except the USB of course).
- **LJSHT:** Retrieves and records data from 1 or 2 EI-1050 digital temperature/humidity probes.
- **LJSHTmulti:** Displays data from up to 20 EI-1050 digital temperature/humidity probes.

Drivers

There are 37 functions exported by the LabJack DLL, and matching functions in the OCX and LabVIEW VIs. All functions are command/response except for AIBurst and

HIGH ACCURACY MINIATURE UNIVERSAL LOAD CELLS

2" DIAMETER, DUAL STUD MOUNT STYLE

LC203 Series
 Tension/Compression
 Calibrated in Tension
 0-25 lb to 0-10,000 lb
 0-100 N to 0-45,000 N

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

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



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

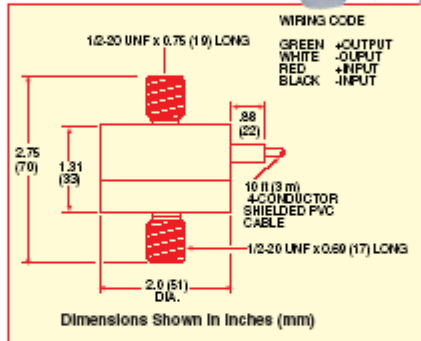
SPECIFICATIONS:

Excitation: 10 Vdc, 15 Vdc max
 Output: 2 mV/V \pm 0.25%
 5-Point Calibration:
 0%, 50%, 100%, 50%, 0%
 Linearity: \pm 0.15% FSO
 Hysteresis: \pm 0.1% FSO
 Repeatability: \pm 0.05% FSO
 Zero Balance: \pm 2% FSO
 Agency Approvals:
 FM IS/II/III/1/CDEFG - Standard
 Operating Temp Range:
 -46 to 107°C (-50 to 225°F)
 Compensated Temp Range:
 16 to 71°C (60 to 160°F)
 Thermal Effects:
 Zero: 0.0025% FSO/°F
 Span: 0.005% FSO/°F

LC203
\$575
 Model Shown



Model LC203-100
 Shown Smaller
 Than Actual Size



Safe Overload: 150% of Capacity
 Ultimate Overload: 300% of Capacity
 Input Resistance: 360 Ω minimum

Output Resistance: 350 Ω \pm 10 Ω
 Construction: Stainless Steel
 Electrical: 10 ft (3 m) 4-conductor PVC shielded cable

Most Popular Models Highlighted

To Order (Specify Model Number)			
CAPACITY (lb)	MODEL NO.	PRICE	COMPATIBLE METERS*
\pm 25	LC203-25	\$575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 50	LC203-50	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 100	LC203-100	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 200	LC203-200	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 500	LC203-500	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 1,000	LC203-1K	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 2,000	LC203-2K	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 2,500	LC203-2.5K	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 5,000	LC203-5K	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 8,000	LC203-8K	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S
\pm 10,000	LC203-10K	575	DP41-W, DP41-S, DP25-S

Metre Ranges Available - Consult Engineering *See Section D For Compatible Meters

Ordering Examples:

- 1) LC203-500 is a 500 lb capacity dual stud mount load cell, \$575.
- 2) LC203-2K is an 2000 lb capacity dual stud mount load cell, \$575.

ANEXO B. 3 POTENCIOMETRO LINEAL LP802-50.

SHORT STROKE LINEAR POTENTIOMETERS FOR DISPLACEMENT MEASUREMENT

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

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



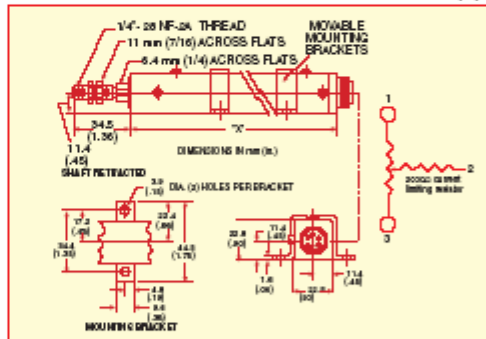
DP41-E Meter, \$545
See Section D

LP802
SERIES
\$250
Basic Unit



Shown smaller than actual size

Dimensions in mm (in)



OMEGA's LP802 Series linear potentiometers are used to measure linear position or displacement up to 150 mm (6") in a wide variety of manufacturing and process equipment. These units feature front and rear bearings, anodized extruded aluminum housings, stainless steel shafts and precious metal wipers and contacts for long, trouble-free life in harsh factory environments. Based on a conductive plastic film element, the LP802 provides high resolution, absolute position measurement without external signal conditioners.

SPECIFICATIONS

Linearity: $\pm 1\%$ FS
Hysteresis: ± 0.025 mm (0.001")
Repeatability: ± 0.012 mm (0.0005")
Incremental Sensitivity: .00127 mm (0.00005")

Power Rating: 0.75 watts/stroke inch
Temp. Range: -65 to 105°C (-85 to 221°F)
Operating Force: 450 g (1 lb) maximum

Shaft: 6 mm (0.236") diameter with 1/8-28 threaded end adaptor
Life: 100 million operations minimum at travel rate of 250 mm (10")/second

Most Popular Models Highlighted

To Order (Specify Model Number)									
MODEL NO.	PRICE	ELECTRICAL TRAVEL		MECHANICAL TRAVEL		"X" DIMENSION (NOMINAL)		RESISTANCE (OHMS)	COMPATIBLE METERS*
		mm	in.	mm	in.	mm	in.		
LP802-25	\$250	25.00	1.00	30.5	1.20	103.0	4.05	1500 $\pm 20\%$	DP25-E, DP41-E
LP802-50	260	50.00	2.00	55.9	2.20	128.0	5.05	3000 $\pm 20\%$	DP25-E, DP41-E
LP802-75	260	75.00	3.00	80.0	3.15	151.0	5.95	4500 $\pm 20\%$	DP25-E, DP41-E
LP802-100	280	100.0	4.00	105.4	4.15	176.0	6.95	6000 $\pm 20\%$	DP25-E, DP41-E
LP802-150	290	150.0	5.96	156.2	6.15	227.0	8.95	9000 $\pm 20\%$	DP25-E, DP41-E

Comes with complete operator's manual.

Ordering Example: LP802-25 linear potentiometer with 25mm (1") stroke, \$250

*See Section D for compatible meters.

DISPLACEMENT

ANEXO B. 4 SENSOR DE PRESION PX72-005GV

PC BOARD MOUNTABLE PRESSURE SENSORS IN A TRANSISTOR (TO-5*) PACKAGE, LOW COST, HIGH PERFORMANCE

- ✓ TO-5 Package Suitable for PC Board Mounting
- ✓ Gage, Absolute and Differential Models
- ✓ Full Scale Ranges from 0.3 to 100 psi
- ✓ For Clean Dry Gases

The PX70 Series is a piezoresistive pressure sensor, packaged in a TO-5 case suitable for PC board mounting. The PX70 is available in full scale ranges from 0.3 to 100 psi as well as four standard package options. The PX71 for gage and absolute ranges, is available without fittings while the PX72 has a top mounted tube fitting (bottom is vent for gage). The PX73 is also available in gage ranges and has a bottom tube fitting (top is vent). For differential measurements the PX74 has top and bottom tubes and can be used for uni- or bidirectional measurement.

SPECIFICATIONS:

Linearity: $\pm 0.5\%$ FS
 Repeatability: $\pm 0.3\%$ FS
 Excitation: 5 Vdc (10 Vdc Max)
 Storage Temp. Range: -40 to 125°C (-40 to 257°F)
 Compensated Temp. Range: -15 to 85°C (5 to 185°F)
 Zero Temp Coefficient: 0.07% FS/°C

PX70 SERIES 0-0.3 to 100 psi

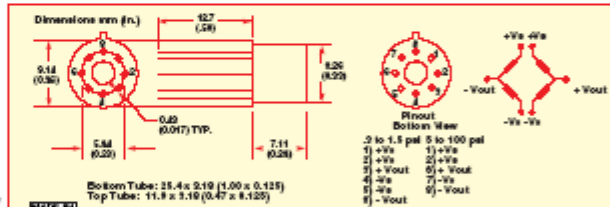


PX70 series Shown Larger Than Actual Size

SPECIFICATIONS (cont):

Span Temp. Coefficient: 0.05% FS/°C
 Bridge Impedance: $33000\Omega \pm 700\Omega$
 Proof Pressure: Range < 100 psi
 >3x FS, 100 psi range = 2x FS

Burst Pressure: Range < 100 psi
 >5x FS, 100 psi range = 3x FS
 Common Mode Pressure: 50 psi
 Compatible Meters: DP41-S, DP25-S,
 See Section D



MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED

To Order (Specify Model Number)								
GAGE AND DIFFERENTIAL PRESSURE RANGES	NO FITTING		TOP FITTING		BOTTOM FITTING		DIFFERENTIAL	
	MODEL NO.	PRICE	MODEL NO.	PRICE	MODEL NO.	PRICE	MODEL NO.	PRICE
0 to 0.3 psi (8.3 inH ₂ O)	PX71-0.3GV	\$44	PX72-0.3GV	\$50	PX73-0.3GV	\$53	PX74-0.3DV	\$53
0 to 0.8 psi (22 inH ₂ O)	PX71-0.8GV	44	PX72-0.8GV	50	PX73-0.8GV	53	PX74-0.8DV	53
0 to 1.5 psi	PX71-1.5GV	37	PX72-1.5GV	40	PX73-1.5GV	43	PX74-1.5DV	43
0 to 5.0 psi	PX71-005GV	37	PX72-005GV	40	PX73-005GV	43	PX74-005DV	43
0 to 15 psi	PX71-015GV	37	PX72-015GV	40	PX73-015GV	43	PX74-015DV	43
0 to 30 psi	PX71-030GV	37	PX72-030GV	40	PX73-030GV	43	PX74-030DV	43
0 to 60 psi	PX71-060GV	37	PX72-060GV	40	PX73-060GV	43	PX74-060DV	43
0 to 100 psi	PX71-100GV	40	PX72-100GV	40	PX73-100GV	43	PX74-100DV	43
ABSOLUTE PRESSURE RANGES					Sensitivity (@5Vdc excitation):			
0 to 5.0 psia	PX71-005AV	40	PX72-005AV	40	Range	min	Typ	Max
0 to 15 psia	PX71-015AV	40	PX72-015AV	40	0.0 to 0.3 psi	80	165	250 mV/psi
0 to 30 psia	PX71-030AV	40	PX72-030AV	40	0.0 to 0.8 psi	30	65	100 mV/psi
0 to 60 psia	PX71-060AV	40	PX72-060AV	40	0.0 to 1.5 psi	15	35	55 mV/psi
0 to 100 psia	PX71-100AV	40	PX72-100AV	40	0.0 to 5.0 psi	12	20	25 mV/psi
					0 to 15 psi	7.0	9.5	12 mV/psi
					0 to 30 psi	4.0	5.5	7.0 mV/psi
					0 to 60 psi	2.0	3.0	4.0 mV/psi
					0 to 100 psi	1.0	2.0	2.5 mV/psi

Comes with complete operator's manual.
 Ordering Example: PX71-005AV is a PC mountable pressure sensor with no fittings, a 0 to 5 psi absolute pressure range, \$40.
 * TO-5 refers to the industries name for this size case.

Ceramic Wire Wound Platinum RTD Elements Class A (IEC-751), Alpha = 0.00385



The "KN" series RTD's are suitable for applications requiring extremely high temperature stability and high temperature shock resistance. Deviation from the IEC751 characteristic curve is minimal over the entire temperature range. The small diameter tolerances of the sensor body allow easy installation in protective tubes. Applications are found in chemical and power generation plants and analytical equipment.

ALL MODELS AVAILABLE FOR FAST DELIVERY!

To Order (Specify Model Number)									
Dimensions [†] in millimeters (1 mm = 0.03937")	Nominal Resistance (Ohms)	Temperature Range, °C (°F)	Model Number	Price	Self Heating Error In C°/mW Flowing Air V = 1 m/sec	Response Time In Seconds			
						Flowing Water V = 0.4 m/sec		Moving Air V = 1 m/sec	
						50% Response	90% Response	50% Response	90% Response
	1 x 100	-200 to 600 (-330 to 1110)	1PT100KN1515CLA	\$12	0.08	0.2	0.6	5	18
	1 x 100	-200 to 600 (-330 to 1110)	1PT100KN2515CLA	13	0.08	0.2	0.6	5	18
	1 x 100	-200 to 600 (-330 to 1110)	1PT100KN3045CLA	21	0.21	0.2	0.6	2.5	9
	1 x 100	-200 to 600 (-330 to 1110)	1PT100KN3026CLA	21	0.06	0.3	0.7	15	50
	2 x 100	-200 to 600 (-330 to 1110)	*2PT100KN3045CLA	56	0.08	0.2	0.6	5	18
	2 x 100	-200 to 600 (-330 to 1110)	*2PT100KN3026CLA	39	0.06	0.3	0.7	15	50

[†] Leads are 10 mm long. *Dual element

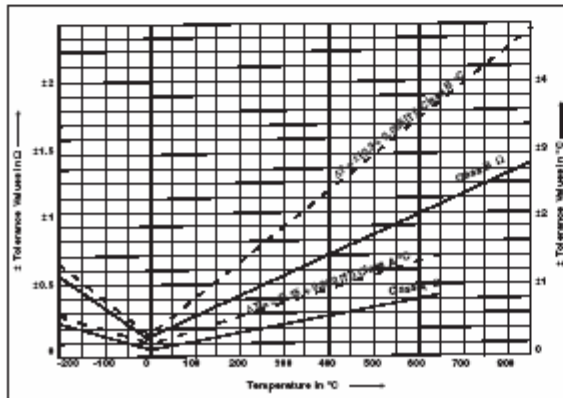
Ordering Example: 1PT100KN1515CLA, 1 x 100 ohm ceramic wire wound element, \$12.

Discount Schedule (for Class A and Class B Elements)	
1 to 4 units	.....Net
5 to 10 units	.....4%
11 to 24 units	.....6%
25 to 49 units	.....10%
50 to 99 units	.....11%
100 units and up	.....13%

**ENLARGED TO SHOW
CONSTRUCTION.
SEE ABOVE
FOR DIMENSIONS.**

All RTD elements come standard with 10 or 15 mm leads. Welded insulated extension leads available.

Pricing is dependent on lead style, See page with "RTD Elements with Lead Wires Attached" (page C-16).



Tolerance

Temp Deg °C	Class A		Class B	
	Ω	°C	Ω	°C
-200	±0.24	±0.55	±0.56	±1.3
-100	±0.14	±0.35	±0.32	±0.8
0	±0.06	±0.15	±0.12	±0.3
100	±0.13	±0.35	±0.30	±0.8
200	±0.20	±0.55	±0.48	±1.3
300	±0.27	±0.75	±0.64	±1.8
400	±0.33	±0.95	±0.79	±2.3
500	±0.38	±1.15	±0.93	±2.8
600	±0.43	±1.35	±1.06	±3.3
650	±0.46	±1.45	±1.13	±3.6
700			±1.17	±3.8
800			±1.28	±4.3
850			±1.34	±4.6

ANEXO B. 6 VALVULA DE PRESION PV104-(5V).

LOW-COST, ELECTRONICALLY CONTROLLED PROPORTIONAL VALVES USING SOLENOID TECHNOLOGY

PV100 Series
\$395



- ✓ Low Power Consumption
- ✓ 100 msec Response Time at Maximum Pressure
- ✓ Stainless Steel Wetted Parts with Viton® Seals
- ✓ 12 to 24 Vdc Power
- ✓ For Clean, Dry, Non-Corrosive Gases Only

The OMEGA® PV100 Series is comprised of economical proportional valves for use with gases. They combine a solenoid valve with an electronics package that digitally modulates the control signal to provide analog proportional control without the expense or complexity of stepper motors, servo valves, or other proportioning devices. The PV100 Series can be used in open or closed loop systems to control flow, pressure, temperature, speed, or position parameters of gases.

SPECIFICATIONS

Valve Type: 2-way normally closed

Wetted Parts: Stainless steel with Viton® seals

Power: 12 to 24 Vdc

Power Consumption: 7 watts maximum

Control Signals: 0 to 5 Vdc, 0 to 10 Vdc, or 4 to 20 mA DC (specify when ordering)

Ambient Temperature Range: 14 to 122°F (-10 to 50°C) media temperature Range: 0 to 180°F (-18 to 82°C)

Linear Control Range: 15 to 85% of full flow

Response Time for Complete Cycle: Off - Full Open - Off : 40 msec

⊙ 0 pressure; 100 msec ⊙ max pressure

Repeatability: ±5% when in operating linear control range

Electrical Connection: 0.4 m (18") color-coded lead wires



PV101-MA, \$395, with CNI16D53 controller, \$245, (sold separately), shown larger than actual size. Search omega.com



Wiring:
Red - DC power supply
Gray - control signal (+)
Black - common (to power and control)

Pressure Connections: 1/8 NPTF
Enclosure: General purpose, NEMA 11

MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!

To Order (Specify Model Number)

MODEL NO.	PRICE	ORIFICE	CV	MAX PRESS	FLOW RANGES, SCCM	
					AT MAX PRESS	AT 0.7 bar (10 psi)
PV101-(*)	\$395	1/8"	0.02	13.8 bar (200 psi)	0 to 50,000	0 to 8,000
PV102-(*)	395	1/8"	0.045	7 bar (100 psi)	0 to 65,000	0 to 17,000
PV103-(*)	395	1/8"	0.08	4 bar (60 psi)	0 to 75,000	0 to 30,000
PV104-(*)	395	1/8"	0.12	2.7 bar (40 psi)	0 to 80,000	0 to 45,000

(*) Specify input control signal: MA for 4 to 20 mA DC, 5V for 0 to 5 Vdc and 10V for 0 to 10 Vdc. Comes with complete operator's manual

Ordering Example: PV103-MA, proportional valve with 1/8" orifice, 4 bar (60 psi) max pressure and 4 to 20 mA DC input control signal \$395.

ACCESSORY

MODEL NO.	PRICE	DESCRIPTION
ME-1816	\$99.95	Reference Book: McGraw Hill's Engineering Companion

ANEXO B. 7 TRANSDUCTOR LVDT LD200-1.25.

AC POWERED LVDT TRANSDUCERS

LD200 Series

±1.25 to ±10 mm
±0.05 to ±0.40 inches



Shown smaller than actual size.

- ✓ Low Cost—High Linearity
- ✓ Rugged Construction for Machine Tools and Vehicles
- ✓ Large Core Clearance for Easy Installation
- ✓ Compatible with Standard AC LVDT Instruments
- ✓ Cores Are Reversible and Interchangeable

The LD200 Series AC powered LVDT transducers provide an economically priced range of displacement sensors that feature rugged construction and high performance. The series covers a broad range of measurements from 1.25 to 10 mm (0.05 to 0.40"). Use these transducers where high resolution and repeatability are important.

The coils are wound on a rugged bobbin housed in a stainless steel case. Its epoxy bonded construction makes the device suitable for operation in applications with wet or oily environments or where high levels of mechanical stress (vibration, shock, etc.) are encountered. The armature assembly provides friction-free movement within the sensor due to the large radial clearance of the bore.

These transducers offer excellent linearity, low levels of residual voltage, and good temperature coefficients, making them ideal for most industrial or general purpose displacement measurement applications.

SPECIFICATIONS

ELECTRICAL

Linearity: See chart

Sensitivity: See chart (mV/V/mm)

Excitation: 1 to 10 Vrms

Excitation Frequency: 1 to 10 kHz

Energizing Current: <40 mA

Frequency Response: 10% of excitation frequency

Zero Offset: 0.5% FS

Operating Temperature:
-55 to 150°C (-67 to 302°F)

Compensated Temperature:
-55 to 150°C (-67 to 302°F)

Thermal Effects:
Zero: 0.025%/°C
Sensitivity: 0.020%/°F

Electrical Termination:
0.3 m (12") leads

Electrical Connections:
Yellow/Black: Excitation
Yellow/Red: Excitation
Black: + Signal
Red: Signal Ground
Connect Blue and Green together

MECHANICAL

MODEL NO.	Nominal Range		Linearity - Typical 2.5 kHz % of Full Scale				Sensitivity @ 2.5 kHz - Nom	
	mm	in	50%	100%	125%	150%	mV/mm	mV/0.001"
LD200-1.25	±1.25	±0.05	0.10	0.25	0.25	0.50	250	6.35
LD200-2.5	±2.50	±0.10	0.10	0.25	0.25	0.50	180	4.50
LD200-5	±5.00	±0.20	0.10	0.25	0.25	0.50	100	2.54
LD200-7.5	±7.50	±0.30	0.10	0.25	0.25	0.50	57	1.40
LD200-10	±10.0	±0.40	0.10	0.25	0.25	0.40	35	0.90

ALL MODELS AVAILABLE FOR FAST DELIVERY!

To Order (Specify Model Number)

MODEL NO.	PRICE	COMPATIBLE INSTRUMENTS*
LD200-1.25	\$100	DP-LVDT, LDX-2, LDX-3A, LDX-4
LD200-2.5	140	DP-LVDT, LDX-2, LDX-3A, LDX-4
LD200-5	180	DP-LVDT, LDX-2, LDX-3A, LDX-4
LD200-7.5	196	DP-LVDT, LDX-2, LDX-3A, LDX-4
LD200-10	225	DP-LVDT, LDX-2, LDX-3A, LDX-4

* See pages J-33 thru J-36 for compatible instruments.

Comes with complete operator's manual

Ordering Example: LD200-5, LVDT displacement transducer with a range of ±5 mm (±0.20 in.), \$180.

J-20

ANEXO B. 8 REGULADORES DE VOLTAJE LM78XX



September 2001

LM340/LM78XX Series 3-Terminal Positive Regulators

General Description

The LM140/LM340A/LM340/LM7800C monolithic 3-terminal positive voltage regulators employ internal current-limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.0A output current. They are intended as fixed voltage regulators in a wide range of applications including local (on-card) regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition to use as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents.

Considerable effort was expended to make the entire series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

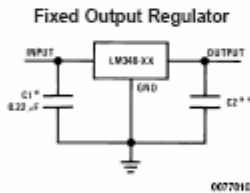
The 5V, 12V, and 15V regulator options are available in the steel TO-3 power package. The LM340A/LM340/LM7800C series is available in the TO-220 plastic power package, and the LM340-5.0 is available in the SOT-223 package, as well as the LM340-5.0 and LM340-12 in the surface-mount TO-263 package.

Features

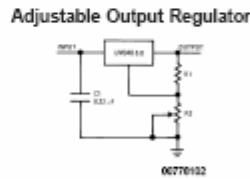
- Complete specifications at 1A load
- Output voltage tolerances of $\pm 2\%$ at $T_J = 25^\circ\text{C}$ and $\pm 4\%$ over the temperature range (LM340A)
- Line regulation of 0.01% of V_{OUT}/V of ΔV_{IN} at 1A load (LM340A)
- Load regulation of 0.3% of V_{OUT}/A (LM340A)
- Internal thermal overload protection
- Internal short-circuit current limit
- Output transistor safe area protection
- P* Product Enhancement tested

Device	Output Voltages	Packages
LM140	5, 12, 15	TO-3 (K)
LM340A/LM340	5, 12, 15	TO-3 (K), TO-220 (T), SOT-223 (MP), TO-263 (S) (5V and 12V only)
LM7800C	5, 8, 12, 15	TO-220 (T)

Typical Applications

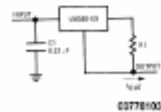


*Required if the regulator is located far from the power supply filter.
**Although no output capacitor is needed for stability, it does help transient response. (If needed, use 0.1 μF , ceramic disc).



$V_{OUT} = 5V + (5V/R1 + I_Q) R2$ $5V/R1 \geq 3 I_Q$
load regulation (L_r) = $(R1 + R2)/R1$ (L_r of LM340-5).

Current Regulator



$$I_{OUT} = \frac{V_{Z3}}{R1} + I_Q$$

$\Delta I_Q = 1.3 \text{ mA}$ over line and load changes.

Comparison between SOT-223 and D-Pak (TO-252) Packages



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 5)

DC Input Voltage

All Devices except LM7824/LM7824C	35V
LM7824/LM7824C	40V

Internal Power Dissipation (Note 2) Internally Limited

Maximum Junction Temperature 150°C

Storage Temperature Range -65°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

TO-3 Package (K) 300°C

TO-220 Package (T), TO-263
Package (S) 230°C

ESD Susceptibility (Note 3) 2 kV

Operating Conditions (Note 1)Temperature Range (T_A) (Note 2)

LM140A, LM140 -55°C to +125°C

LM340A, LM340, LM7805C,

LM7812C, LM7815C, LM7808C 0°C to +125°C

LM340A Electrical Characteristics $I_{OUT} = 1A$, $-55^\circ C \leq T_J \leq +150^\circ C$ (LM140A), or $0^\circ C \leq T_J \leq +125^\circ C$ (LM340A) unless otherwise specified (Note 4)

Symbol	Output Voltage		5V			12V			15V			Units
	Input Voltage (unless otherwise noted)		10V			19V			23V			
	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ C$	4.9	5	5.1	11.75	12	12.25	14.7	15	15.3	V
		$P_D \leq 15W$, $5 mA \leq I_O \leq 1A$	4.8		5.2	11.5		12.5	14.4		15.6	V
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$)			(14.8 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(17.9 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V
ΔV_O	Line Regulation	$I_O = 500 mA$	10			18			22			mV
		ΔV_{IN}	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$)			(14.8 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(17.9 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V
		$T_J = 25^\circ C$	3			4			4			mV
		ΔV_{IN}	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$)			(14.5 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(17.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V
		$T_J = 25^\circ C$ Over Temperature	4			9			10			mV
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ C$	$5 mA \leq I_O \leq 1.5A$	10		12		12		35		mV
			$250 mA \leq I_O \leq 750 mA$	15		19		21		mV		
		Over Temperature, $5 mA \leq I_O \leq 1A$	25		60		75		mV			
I_O	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ C$	6			6			6			mA
		Over Temperature	6.5			6.5			6.5			mA
ΔI_O	Quiescent Current Change	$5 mA \leq I_O \leq 1A$	0.5			0.5			0.5			mA
		$T_J = 25^\circ C$, $I_O = 1A$	0.8			0.8			0.8			mA
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$)			(14.8 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(17.9 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V
		$I_O = 500 mA$ $V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(8 $\leq V_{IN} \leq 25$)			(15 $\leq V_{IN} \leq 30$)			(17.9 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V
V_N	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C$, $10 Hz \leq f \leq 100 kHz$	40			75			90			μV
		$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$T_J = 25^\circ C$, $f = 120 Hz$, $I_O = 1A$	68	80		61	72		60	70	dB
or $f = 120 Hz$, $I_O = 500 mA$	68					61			60		dB	
Over Temperature, $V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(8 $\leq V_{IN} \leq 18$)			(15 $\leq V_{IN} \leq 25$)			(18.5 $\leq V_{IN} \leq 28.5$)			V		
R_O	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ C$, $I_O = 1A$	2.0			2.0			2.0			V
		$f = 1 kHz$	8			18			19			$m\Omega$

ANEXO B. 9 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACION 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

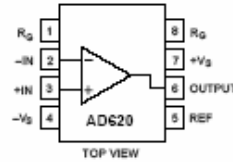
Battery Powered and Portable Equipment

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

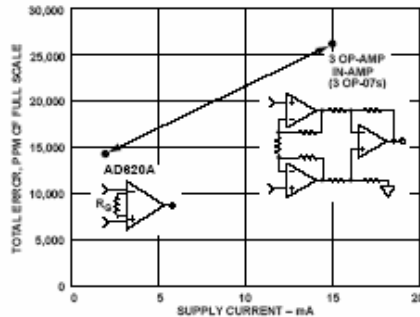


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

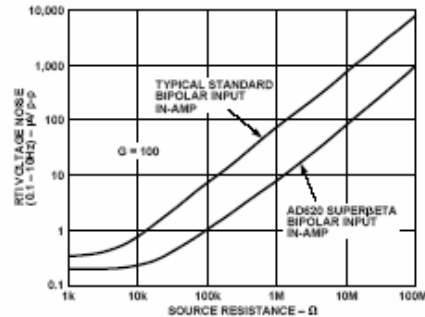


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

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	$G = 1 + (40.4 \text{ k}\Omega/R_G)$	1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Range	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
Gain Error ²											%
$G = 1$			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
$G = 10$			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
$G = 100$			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
$G = 1000$			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
Nonlinearity, $G = 1$ –1000	$V_{OUT} = -10$ V to $+10$ V, $R_L = 10$ k Ω		10	40		10	40		10	40	ppm
$G = 1$ –100	$R_L = 2$ k Ω		10	95		10	95		10	95	ppm
Gain vs. Temperature	$G = 1$ Gain $> 1^2$			10 -50			10 -50			10 -50	ppm/°C ppm/°C
VOLTAGE OFFSET	(Total RTI Error = $V_{OS} + V_{OSO}/G$)										
Input Offset, V_{OS}	$V_S = \pm 5$ 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		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	μ V/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 18 V										
$G = 1$		80	100		80	100		80	100		dB
$G = 10$		95	120		100	120		95	120		dB
$G = 100$		110	140		120	140		110	140		dB
$G = 1000$		110	140		120	140		110	140		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			0.5	2.0		0.5	1.0		0.5	2	nA
Over Temperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Over Temperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC			1.5			1.5			8.0		pA/°C
INPUT											
Input Impedance											
Differential			10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		G Ω /pF
Common-Mode			10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		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

ANEXO B. 10 REGULADORES DE VOLTAJE LM79XX.



September 2001

LM79XX Series 3-Terminal Negative Regulators

General Description

The LM79XX series of 3-terminal regulators is available with fixed output voltages of $-5V$, $-12V$, and $-15V$. These devices need only one external component—a compensation capacitor at the output. The LM79XX series is packaged in the TO-220 power package and is capable of supplying 1.5A of output current.

These regulators employ internal current limiting safe area protection and thermal shutdown for protection against virtually all overload conditions.

Low ground pin current of the LM79XX series allows output voltage to be easily boosted above the preset value with a

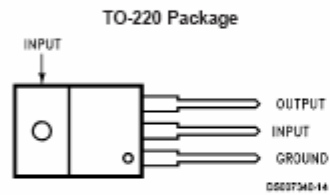
resistor divider. The low quiescent current drain of these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

For applications requiring other voltages, see LM137 datasheet.

Features

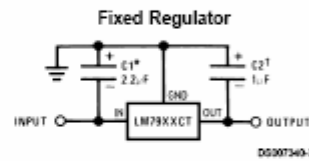
- Thermal, short circuit and safe area protection
- High ripple rejection
- 1.5A output current
- 4% tolerance on preset output voltage

Connection Diagrams



Front View
Order Number LM7905CT, LM7912CT or LM7915CT
See NS Package Number TO3B

Typical Applications



*Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum. 25 μ F aluminum electrolytic may be substituted.

†Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. 25 μ F aluminum electrolytic may be substituted. Values given may be increased without limit.

For output capacitance in excess of 100 μ F, a high current diode from input to output (1N4001, etc.) will protect the regulator from momentary input shorts.

LM79XX Series 3-Terminal Negative Regulators

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Input Voltage	
($V_O = -5V$)	-25V
($V_O = -12V$ and $-15V$)	-35V

Input-Output Differential	
($V_O = -5V$)	25V
($V_O = -12V$ and $-15V$)	30V
Power Dissipation (Note 2)	Internally Limited
Operating Junction Temperature Range	0°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	230°C

Electrical Characteristics

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500mA$, $C_{IN} = 2.2\mu F$, $C_{OUT} = 1\mu F$, $0^\circ C \leq T_J \leq +125^\circ C$, Power Dissipation $\leq 1.5W$.

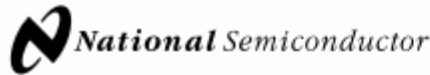
Part Number		LM7905C			Units	
Output Voltage		-5V				
Input Voltage (unless otherwise specified)		-10V				
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ C$ $5mA \leq I_{OUT} \leq 1A$, $P \leq 15W$	-4.8	-5.0	-5.2	V
			-4.75		-5.25	V
				($-20 \leq V_{IN} \leq -7$)		V
ΔV_O	Line Regulation	$T_J = 25^\circ C$, (Note 3)		8	50	mV
				($-25 \leq V_{IN} \leq -7$)		V
				2	15	mV
				($-12 \leq V_{IN} \leq -8$)		V
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ C$, (Note 3) $5mA \leq I_{OUT} \leq 1.5A$ $250mA \leq I_{OUT} \leq 750mA$		15	100	mV
				5	50	mV
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ C$		1	2	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	With Line			0.5	mA
		With Load, $5mA \leq I_{OUT} \leq 1A$		($-25 \leq V_{IN} \leq -7$)	0.5	V
V_n	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C$, $10Hz \leq f \leq 100Hz$		125		μV
	Ripple Rejection	$f = 120Hz$	54	66		dB
				($-18 \leq V_{IN} \leq -8$)		V
	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ C$, $I_{OUT} = 1A$		1.1		V
$I_{O(MAX)}$	Peak Output Current	$T_J = 25^\circ C$		2.2		A
	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_{OUT} = 5mA$, $0^\circ C \leq T_J \leq 100^\circ C$		0.4		mV/°C

Electrical Characteristics

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500mA$, $C_{IN} = 2.2\mu F$, $C_{OUT} = 1\mu F$, $0^\circ C \leq T_J \leq +125^\circ C$, Power Dissipation $\leq 1.5W$.

Part Number		LM7912C			LM7915C			Units	
Output Voltage		-12V			-15V				
Input Voltage (unless otherwise specified)		-19V			-23V				
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ C$ $5mA \leq I_{OUT} \leq 1A$, $P \leq 15W$	-11.5	-12.0	-12.5	-14.4	-15.0	-15.6	V
			-11.4		-12.6	-14.25		-15.75	V
				($-27 \leq V_{IN} \leq -14.5$)		($-30 \leq V_{IN} \leq -17.5$)		V	
ΔV_O	Line Regulation	$T_J = 25^\circ C$, (Note 3)		5	80		5	100	mV
				($-30 \leq V_{IN} \leq -14.5$)		($-30 \leq V_{IN} \leq -17.5$)		V	
				3	30		3	50	mV
				($-22 \leq V_{IN} \leq -16$)		($-26 \leq V_{IN} \leq -20$)		V	
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ C$, (Note 3)							

ANEXO B. 11 REGULADORES DE VOLTAJE LM317.



September 2001

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 8 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential volt-

age, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

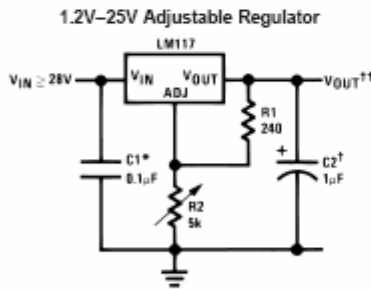
Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P* Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

Typical Applications



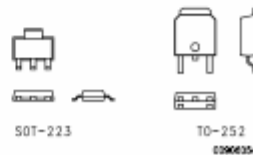
Full output current not available at high input-output voltages
 *Needed if device is more than 8 inches from filter capacitors.
 †Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

SOT-223 vs D-Pak (TO-252) Packages



Scale 1:1

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	
Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C

ESD Tolerance (Note 5)

3 kV

Operating Temperature Range

LM117	-55°C ≤ T _J ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T _J ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T _J ≤ +125°C

Preconditioning


Thermal Limit Burn-In All Devices 100%

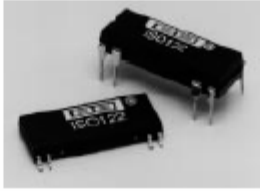
Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for T_J = 25°C, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V_{IN} - V_{OUT} = 5V, and I_{OUT} = 10 mA.

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units	
		Min	Typ	Max		
Reference Voltage					V	
	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V, 10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} , P ≤ P _{MAX}	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V	
			0.02	0.05	%/V	
Load Regulation	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} (Note 4)		0.1	0.3	%	
			0.3	1	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} 3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V		0.2	5	μA	
Temperature Stability	T _{MIN} ≤ T _J ≤ T _{MAX}		1		%	
Minimum Load Current	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V		3.5	5	mA	
Current Limit	(V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 15V	K Package	1.5	2.2	3.4	A
		H Packages	0.5	0.8	1.8	A
	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V	K Package	0.3	0.4		A
		H Package	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V _{OUT}	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 0 μF		65		dB	
	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 10 μF	66	80		dB	
Long-Term Stability	T _J = 125°C, 1000 hrs		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3	°C/W	
	H Package		12	15	°C/W	
	E Package				°C/W	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		°C/W	
	H Package		140		°C/W	
	E Package				°C/W	

ANEXO B. 12 AMLIFICADOR DE AISLAMIENTO ISO 122.





ISO122

Precision Lowest Cost ISOLATION AMPLIFIER

FEATURES

- 100% TESTED FOR HIGH-VOLTAGE BREAKDOWN
- RATED 1500Vrms
- HIGH IMR: 140dB at 60Hz
- BIPOLAR OPERATION: $V_o = \pm 10V$
- 16-PIN PLASTIC DIP AND 28-LEAD SOIC
- EASE OF USE: Fixed Unity Gain Configuration
- 0.020% max NONLINEARITY
- $\pm 4.5V$ to $\pm 18V$ SUPPLY RANGE

APPLICATIONS

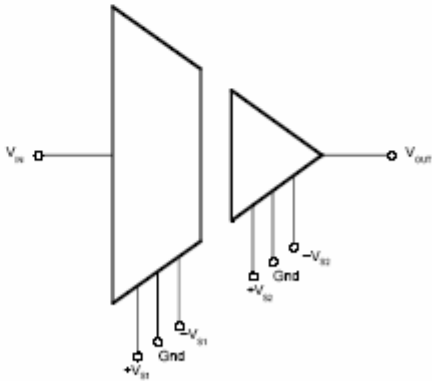
- INDUSTRIAL PROCESS CONTROL:
Transducer Isolator, Isolator for Thermocouples, RTDs, Pressure Bridges, and Flow Meters, 4mA to 20mA Loop Isolation
- GROUND LOOP ELIMINATION
- MOTOR AND SCR CONTROL
- POWER MONITORING
- PC-BASED DATA ACQUISITION
- TEST EQUIPMENT

DESCRIPTION

The ISO122 is a precision isolation amplifier incorporating a novel duty cycle modulation-demodulation technique. The signal is transmitted digitally across a 2pF differential capacitive barrier. With digital modulation the barrier characteristics do not affect signal integrity, resulting in excellent reliability and good high frequency transient immunity across the barrier. Both barrier capacitors are imbedded in the plastic body of the package.

The ISO122 is easy to use. No external components are required for operation. The key specifications are 0.020% max nonlinearity, 50kHz signal bandwidth, and $200\mu V/^\circ C$ V_{OS} drift. A power supply range of $\pm 4.5V$ to $\pm 18V$ and quiescent currents of $\pm 5.0mA$ on V_{S1} and $\pm 5.5mA$ on V_{S2} make these amplifiers ideal for a wide range of applications.

The ISO122 is available in 16-pin plastic DIP and 28-lead plastic surface mount packages.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400 • Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd. • Tucson, AZ 85706
Tel: (520) 746-1111 • Telex: 910-912-1111 • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: 800 544-6132

©1989 Burr-Brown Corporation

FDS-857F

Printed in U.S.A. November, 1993

SBOS160

119

SPECIFICATIONS

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{S1} = V_{S2} = \pm 15\text{V}$, and $R_L = 2\text{k}\Omega$ unless otherwise noted.


PARAMETER	CONDITIONS	180122P/U			180122J/P/U			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
ISOLATION Voltage Rated Continuous AC 60Hz 100% Test (1) Isolation Mode Rejection Barrier Impedance Leakage Current at 60Hz	1s, 5pc PD 60Hz $V_{S1} = 240\text{Vrms}$	1500 2400	140 $10^{14} \parallel 2$ 0.18		*	*	*	VAC VAC dB $\Omega \parallel \mu\text{F}$ μArms
GAIN Nominal Gain Gain Error Gain vs Temperature Nonlinearity(2)	$V_O = \pm 10\text{V}$		1 ± 0.05 ± 10 ± 0.016	± 0.50 ± 0.020		*	*	V/V %FSR ppm/°C %FSR
INPUT OFFSET VOLTAGE Initial Offset vs Temperature vs Supply Noise			± 20 ± 200 ± 2 4	± 50		*	*	mV $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ mV/V $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
INPUT Voltage Range Resistance		± 10	± 12.5 200		*	*	*	V k Ω
OUTPUT Voltage Range Current Drive Capacitive Load Drive Ripple Voltage(3)		± 10 ± 5	± 12.5 ± 15 0.1 20		*	*	*	V mA μF mVp-p
FREQUENCY RESPONSE Small Signal Bandwidth Slew Rate Settling Time 0.1% 0.01% Overload Recover Time	$V_O = \pm 10\text{V}$		50 2 50 350 150		*	*	*	kHz V/ μs μs μs μs
POWER SUPPLIES Rated Voltage Voltage Range Quiescent Current: V_{S1} V_{S2}		± 4.5	± 15 ± 5.0 ± 5.5	± 18 ± 7.0 ± 7.0	*	*	*	V V mA mA
TEMPERATURE RANGE Specification Operating Storage θ_{JA} θ_{JC}		-25 -25 -40		+85 +85 +85	*	*	*	°C °C °C °C/W °C/W


* Specification same as ISO122P/U.

NOTES: (1) Tested at 1.5 X rated, fail on 5pc partial discharge. (2) Nonlinearity is the peak deviation of the output voltage from the best-fit straight line. It is expressed as the ratio of deviation to FSR. (3) Ripple frequency is at carrier frequency (500kHz).

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

ANEXO B. 13 FUENTE DUAL DE CORRIENTE REF200.


BURR-BROWN®
BB



REF200

DUAL CURRENT SOURCE/CURRENT SINK

FEATURES

- COMPLETELY FLOATING:
No Power Supply or Ground Connections
- HIGH ACCURACY: $100\mu\text{A} \pm 0.5\%$
- LOW TEMPERATURE COEFFICIENT:
 $\pm 25\text{ppm}/^\circ\text{C}$
- WIDE VOLTAGE COMPLIANCE:
2.5V to 40V
- ALSO INCLUDES CURRENT MIRROR

APPLICATIONS

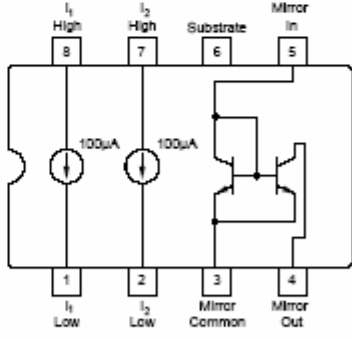
- SENSOR EXCITATION
- BIASING CIRCUITRY
- OFFSETTING CURRENT LOOPS
- LOW VOLTAGE REFERENCES
- CHARGE-PUMP CIRCUITRY
- HYBRID MICROCIRCUITS

DESCRIPTION

The REF200 combines three circuit building-blocks on a single monolithic chip—two $100\mu\text{A}$ current sources and a current mirror. The sections are dielectrically isolated, making them completely independent. Also, since the current sources are two-terminal devices, they can be used equally well as current sinks. The performance of each section is individually measured and laser-trimmed to achieve high accuracy at low cost.

The sections can be pin-strapped for currents of $50\mu\text{A}$, $100\mu\text{A}$, $200\mu\text{A}$, $300\mu\text{A}$ or $400\mu\text{A}$. External circuitry can be used to obtain virtually any current. These and many other circuit techniques are shown in the Applications section of this Data Sheet.

The REF200 is available in plastic 8-pin mini-DIP and SOIC packages.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Telex: 910-852-1111
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAX/Line: (800) 548-4133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-4491 • FAX: (520) 880-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-4132

© 1988 Burr-Brown Corporation

PDS-851D

Printed in U.S.A. October, 1995

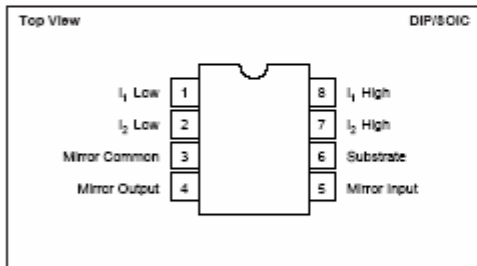
SPECIFICATIONS

ELECTRICAL

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = 15\text{V}$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITION	REF200AP, AU			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
CURRENT SOURCES					
Current Accuracy			± 0.25	± 1	%
Current Match			± 0.25	± 1	%
Temperature Drift	Specified Temp Range		25		ppm/ $^\circ\text{C}$
Output Impedance	2.5V to 40V	20	100		M Ω
	3.5V to 30V	200	500		M Ω
Noise	BW = 0.1Hz to 10Hz $f = 10\text{kHz}$		1		nA $\sqrt{\text{Hz}}$
Voltage Compliance (1%)	T_{MIN} to T_{MAX}		20		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Capacitance			See Curves 10		pF
CURRENT MIRROR					
Gain	$I = 10\mu\text{A}$ Unless Otherwise Noted	0.995	1	1.005	
Temperature Drift			25		ppm/ $^\circ\text{C}$
Impedance (output)	2V to 40V	40	100		M Ω
Nonlinearity	$I = \mu\text{A}$ to 250 μA		0.05		%
Input Voltage			1.4		V
Output Compliance Voltage			See Curves		
Frequency Response (-3dB)	Transfer		5		MHz
TEMPERATURE RANGE					
Specification		-25		+85	$^\circ\text{C}$
Operating		-40		+85	$^\circ\text{C}$
Storage		-40		+125	$^\circ\text{C}$

PIN CONFIGURATION



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Applied Voltage	-5V to +40V
Reverse Current	-350 μA
Voltage Between Any Two Sections	$\pm 80\text{V}$
Operating Temperature	-40 $^\circ\text{C}$ to +85 $^\circ\text{C}$
Storage Temperature	-40 $^\circ\text{C}$ to +125 $^\circ\text{C}$
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300 $^\circ\text{C}$
(SOIC 3s)	+260 $^\circ\text{C}$

PACKAGE/ORDERING INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER ⁽¹⁾	TEMPERATURE RANGE
REF200AP	8-Pin Plastic DIP	006	-25 $^\circ\text{C}$ to +85 $^\circ\text{C}$
REF200AU	8-Pin SOIC	182	-25 $^\circ\text{C}$ to +85 $^\circ\text{C}$

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book. (2) Grade designation "A" may not be marked. Absence of grade designation indicates A grade.

ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

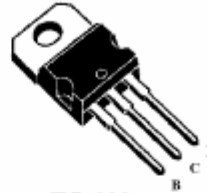
The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

BURR-BROWN®
 REF200

ANEXO B. 14 TRANSISTOR TIP41C.

NPN SILICON POWER TRANSISTOR TIP41C

- 65 W at 25°C Case Temperature
- 6A Continuous Collector Current
- 10A Peak Collector Current
- 100V Collector-Emitter Voltage
- Isolated transistor package available on request
- Custom selections possible



TO-220

Note : Collector is connected to the mounting base

Absolute maximum ratings at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

RATING	SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector-Base Voltage ($I_e=0$)	V_{CBO}	140	V
Collector-Emitter Voltage ($I_b=0$)	V_{CEO}	100	V
Emitter-base voltage (reverse)	V_{EB0}	5	V
Continuous collector current	I_C	6	A
Peak collector current (max 300 μ s, duty cycle 2%)	I_{CM}	10	A
Continuous base current	I_B	3	A
Continuous device dissipation at max 25°C case temperature (see note 1)	P_{tot}	65	W
Continuous device dissipation at max 25°C free air temperature (see note 2)	P_{tot}	2	W
Unclamped inductive load energy (see note 3)	M_L	62.5	mJ
Operating junction temperature range	T_J	-55 to +150	°C
Storage temperature range	T_{stg}	-55 to +150	°C
Lead temperature 3.2 mm from case for 10 seconds	T_L	250	°C

NOTES

1. Derate linearly to 150°C case temperature at the rate of 0.52 W/°C. This rating is not applicable to isolated packages.
2. Derate linearly to 150°C free air temperature at the rate of 16 mW/°C
3. This rating is based on the capability of the transistor to operate safely in a circuit of: $L=20$ mH, $I_{B(ON)}=40$ mA, $R_{th} = 270$ ohm, $V_{BES(on)} = 0$, $R_{th} = 0.1$ ohm, $I_{CC} = 2.5$ A., duty max 1%.

DRIX SEMICONDUCTOR DATASHEET

NPN SILICON POWER TRANSISTOR TIP41C

Electrical characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CEO}$ Collector-emitter breakdown voltage	$I_C = 30 \text{ mA}$ $I_B = 0$ (see note 4)	100	120		V
I_{CES} Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = 140\text{V}$ $V_{BE} = 0$		0.03	400	μA
I_{CEO} Collector cut-off current	$V_{CE} = 100\text{V}$ $I_B = 0$		0.03	700	μA
I_{EBO} Emitter cut-off current	$V_{BE} = 5\text{V}$ $I_C = 0$			1	mA
h_{FE} Forward current transfer ratio	$V_{CE} = 4\text{V}$ $I_C = 300\text{mA}$ $V_{CE} = 4\text{V}$ $I_C = 3\text{A}$ (see notes 4 and 5)	30 15	100 60		
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	$I_B = 600\text{mA}$ $I_C = 6\text{A}$ (see notes 4 and 5)		1.2	1.5	V
V_{be} Base-emitter voltage	$V_{CE} = 4\text{V}$ $I_C = 6\text{A}$ (see notes 4 and 5)		1	2	V
h_{fe} Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = 10\text{V}$ $I_C = 500\text{mA}$ $f = 1 \text{ kHz}$	20			

NOTES

4. Measured in pulse mode $t_p=300\mu\text{s}$, duty cycle $<2\%$
5. To be measured using sense contacts for base and emitter.

Thermal characteristics

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
$R_{\theta(jc)}$ Junction to case thermal resistance			1.92	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{\theta(ja)}$ Junction to free air thermal resistance			62.5	$^{\circ}\text{C/W}$

Resistive-load-switching characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{on} Turn-on time	$I_C = 1\text{A}$ $I_{B(sat)} = 100\text{mA}$ $I_{B(st)} = -100\text{mA}$		0.3		μs
t_{off} Turn-off time	$V_{BE(st)} = -4\text{V}$ $R_s = 20 \text{ ohm}$ $t_p = 20 \mu\text{s}$		1		μs

DRIX SEMICONDUCTOR DATASHEET

ANEXO B. 15 ACONDICIONADOR DE LVDT AD598.



LVDT Signal
Conditioner

AD598

FEATURES

- Single Chip Solution, Contains Internal Oscillator and Voltage Reference
- No Adjustments Required
- Insensitive to Transducer Null Voltage
- Insensitive to Primary to Secondary Phase Shifts
- DC Output Proportional to Position
- 20 Hz to 20 kHz Frequency Range
- Single or Dual Supply Operation
- Unipolar or Bipolar Output
- Will Operate a Remote LVDT at Up to 300 Feet
- Position Output Can Drive Up to 1000 Feet of Cable
- Will Also Interface to an RVDT
- Outstanding Performance
 - Linearity: 0.05% of FS max
 - Output Voltage: ± 11 V min
 - Gain Drift: 50 ppm/ $^{\circ}$ C of FS max
 - Offset Drift: 50 ppm/ $^{\circ}$ C of FS max

PRODUCT DESCRIPTION

The AD598 is a complete, monolithic Linear Variable Differential Transformer (LVDT) signal conditioning subsystem. It is used in conjunction with LVDTs to convert transducer mechanical position to a unipolar or bipolar dc voltage with a high degree of accuracy and repeatability. All circuit functions are included on the chip. With the addition of a few external passive components to set frequency and gain, the AD598 converts the raw LVDT secondary output to a scaled dc signal. The device can also be used with RVDT transducers.

The AD598 contains a low distortion sine wave oscillator to drive the LVDT primary. The LVDT secondary output consists of two sine waves that drive the AD598 directly. The AD598 operates upon the two signals, dividing their difference by their sum, producing a scaled unipolar or bipolar dc output.

The AD598 uses a unique ratiometric architecture (patent pending) to eliminate several of the disadvantages associated with traditional approaches to LVDT interfacing. The benefits of this new circuit are: no adjustments are necessary, transformer null voltage and primary to secondary phase shift does not affect system accuracy, temperature stability is improved, and transducer interchangeability is improved.

The AD598 is available in two performance grades:

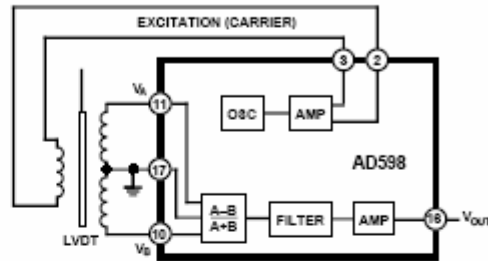
Grade	Temperature Range	Package
AD598JR	0 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C	20-Pin Small Outline (SOIC)
AD598AD	-40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C	20-Pin Ceramic DIP

It is also available processed to MIL-STD-883B, for the military range of -55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C.

REV. A

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

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD598 offers a monolithic solution to LVDT and RVDT signal conditioning problems; few extra passive components are required to complete the conversion from mechanical position to dc voltage and no adjustments are required.
2. The AD598 can be used with many different types of LVDTs because the circuit accommodates a wide range of input and output voltages and frequencies; the AD598 can drive an LVDT primary with up to 24 V rms and accept secondary input levels as low as 100 mV rms.
3. The 20 Hz to 20 kHz LVDT excitation frequency is determined by a single external capacitor. The AD598 input signal need not be synchronous with the LVDT primary drive. This means that an external primary excitation, such as the 400 Hz power mains in aircraft, can be used.
4. The AD598 uses a ratiometric decoding scheme such that primary to secondary phase shifts and transducer null voltage have absolutely no effect on overall circuit performance.
5. Multiple LVDTs can be driven by a single AD598, either in series or parallel as long as power dissipation limits are not exceeded. The excitation output is thermally protected.
6. The AD598 may be used in telemetry applications or in hostile environments where the interface electronics may be remote from the LVDT. The AD598 can drive an LVDT at the end of 300 feet of cable, since the circuit is not affected by phase shifts or absolute signal magnitudes. The position output can drive as much as 1000 feet of cable.
7. The AD598 may be used as a loop integrator in the design of simple electromechanical servo loops.

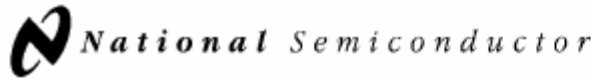
One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 617/329-4700 Fax: 617/326-8703

AD598—SPECIFICATIONS

(typical @ +25°C and ±15 V dc, C1 = 0.015 μF, R2 = 80 kΩ, R1 = 2 kΩ, unless otherwise noted. See Figure 7.)

Parameter	AD598J			AD598A			Unit
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
TRANSFER FUNCTION ¹	$V_{OUT} = \frac{V_A - V_B}{V_A + V_B} \times 500 \mu A \times R2$						V
OVERALL ERROR ² T _{MIN} to T _{MAX}	0.6	2.35		0.6	1.65		% of FS
SIGNAL OUTPUT CHARACTERISTICS							
Output Voltage Range (T _{MIN} to T _{MAX})	±11			±11			V
Output Current (T _{MIN} to T _{MAX})	8			6			mA
Short Circuit Current	20			20			mA
Nonlinearity ³ (T _{MIN} to T _{MAX})	75 ±500			75 ±500			ppm of FS
Gain Error ⁴	0.4 ±1			0.4 ±1			% of FS
Gain Drift	20 ±100			20 ±50			ppm/°C of FS
Offset ⁵	0.3 ±1			0.3 ±1			% of FS
Offset Drift	7 ±200			7 ±50			ppm/°C of FS
Excitation Voltage Rejection ⁶	100			100			ppm/dB
Power Supply Rejection (±12 V to ±18 V)							
PSRR Gain (T _{MIN} to T _{MAX})	300	100		400	100		ppm/V
PSRR Offset (T _{MIN} to T _{MAX})	100	15		200	15		ppm/V
Common-Mode Rejection (±3 V)							
CMRR Gain (T _{MIN} to T _{MAX})	100	25		200	25		ppm/V
CMRR Offset (T _{MIN} to T _{MAX})	100	6		200	6		ppm/V
Output Ripple ⁷	4			4			mV rms
EXCITATION OUTPUT CHARACTERISTICS (@ 2.5 kHz)							
Excitation Voltage Range	2.1		24	2.1		24	V rms
Excitation Voltage							
(R1 = Open) ⁸	1.2		2.1	1.2		2.1	V rms
(R1 = 12.7 kΩ) ⁸	2.6		4.1	2.6		4.1	V rms
(R1 = 487 Ω) ⁸	14		20	14		20	V rms
Excitation Voltage TC ⁹	600			600			ppm/°C
Output Current	30			30			mA rms
T _{MIN} to T _{MAX}	12			12			mA rms
Short Circuit Current	60			60			mA
DC Offset Voltage (Differential, R1 = 12.7 kΩ)							
T _{MIN} to T _{MAX}	30 ±100			30 ±100			mV
Frequency	20			20			Hz
Frequency TC, (R1 = 12.7 kΩ)	200			200			ppm/°C
Total Harmonic Distortion	-50			-50			dB
SIGNAL INPUT CHARACTERISTICS							
Signal Voltage	0.1		3.5	0.1		3.5	V rms
Input Impedance	200			200			kΩ
Input Bias Current (AIN and BIN)	1 5			1 5			μA
Signal Reference Bias Current	2 10			2 10			μA
Excitation Frequency	0 20			0 20			kHz
POWER SUPPLY REQUIREMENTS							
Operating Range	13		36	13		36	V
Dual Supply Operation (±10 V Output)	±13			±13			V
Single Supply Operation							
0 to +10 V Output	17.5			17.5			V
0 to -10 V Output	17.5			17.5			V
Current (No Load at Signal and Excitation Outputs)	12 15			12 15			mA
T _{MIN} to T _{MAX}	16			18			mA
TEMPERATURE RANGE							
JR (SOIC)	0 +70						°C
AD (DIP)				-40 +85			°C
PACKAGE OPTION							
SOIC (R-20)	AD598JR						
Side Brazed DIP (D-20)				AD598AD			

ANEXO B. 16 AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM3900.



February 1 1995

LM2900/LM3900/LM3301 Quad Amplifiers

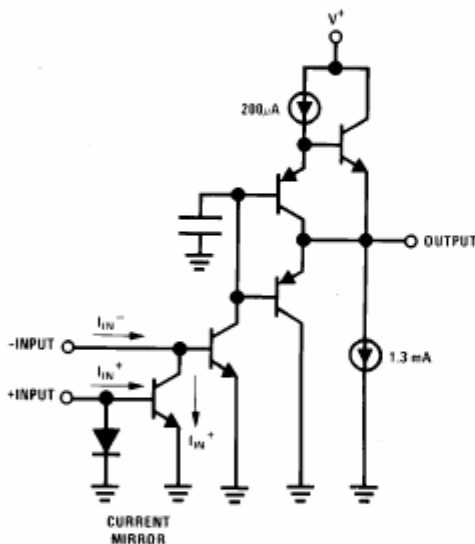
General Description

The LM2900 series consists of four independent, dual input, internally compensated amplifiers which were designed specifically to operate off of a single power supply voltage and to provide a large output voltage swing. These amplifiers make use of a current mirror to achieve the non-inverting input function. Application areas include: ac amplifiers, RC active filters, low frequency triangle, squarewave and pulse waveform generation circuits, tachometers and low speed, high voltage digital logic gates.

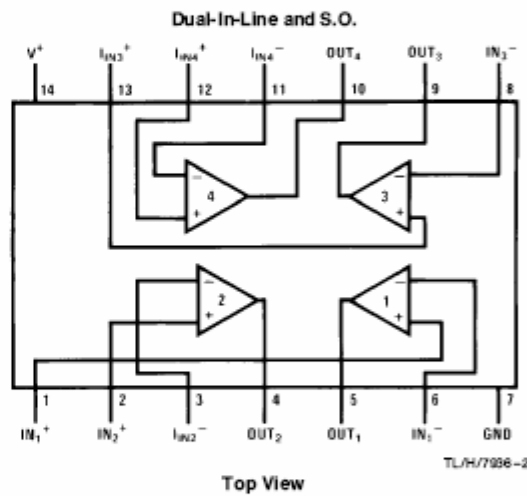
Features

- Wide single supply voltage Range $4 V_{DC}$ to $32 V_{DC}$
- Range or dual supplies $\pm 2 V_{DC}$ to $\pm 16 V_{DC}$
- Supply current drain independent of supply voltage
- Low input biasing current 30 nA
- High open-loop gain 70 dB
- Wide bandwidth 2.5 MHz (unity gain)
- Large output voltage swing $(V^+ - 1) V_{p-p}$
- Internally frequency compensated for unity gain
- Output short-circuit protection

Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7936-1



TL/H/7936-2

Order Number LM2900N, LM3900M, LM3900N or LM3301N
See NS Package Number M14A or N14A

LM2900/LM3900/LM3301 Quad Amplifiers

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

	LM2900/LM3900	LM3301
Supply Voltage	32 V _{DC} ±16 V _{DC}	28 V _{DC} ±14 V _{DC}
Power Dissipation (T _A = 25°C) (Note 1)		
Molded DIP	1080 mW	1080 mW
S.O. Package	765 mW	
Input Currents, I _{IN} ⁺ or I _{IN} ⁻	20 mA _{DC}	20 mA _{DC}
Output Short-Circuit Duration—One Amplifier	Continuous	Continuous
T _A = 25°C (See Application Hints)		
Operating Temperature Range		-40°C to +85°C
LM2900	-40°C to +85°C	
LM3900	0°C to +70°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	260°C	260°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 sec.)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 sec.)	215°C	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD tolerance (Note 7)	2000V	2000V

Electrical Characteristics T_A = 25°C, V⁺ = 15 V_{DC}, unless otherwise stated

Parameter		Conditions	LM2900			LM3900			LM3301			Units	
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Open Loop	Voltage Gain	Over Temp. ΔV _O = 10 V _{DC}										V/mV	
	Voltage Gain	Inverting Input	1.2	2.8		1.2	2.8		1.2	2.8			
	Input Resistance			1			1			1			MΩ
	Output Resistance			8			8			9			kΩ
Unity Gain Bandwidth		Inverting Input		2.5			2.5			2.5		MHz	
Input Bias Current		Inverting Input, V ⁺ = 5 V _{DC} Inverting Input		30	200		30	200		30	300	nA	
Slew Rate		Positive Output Swing Negative Output Swing		0.5 20			0.5 20			0.5 20		V/μs	
Supply Current		R _L = ∞ On All Amplifiers		6.2	10		6.2	10		6.2	10	mA _{DC}	
Output Voltage Swing	V _{OUT} High	R _L = 2k, V ⁺ = 15.0 V _{DC}	I _{IN} ⁻ = 0, I _{IN} ⁺ = 0		13.5			13.5			13.5	V _{DC}	
	V _{OUT} Low		I _{IN} ⁻ = 10 μA, I _{IN} ⁺ = 0			0.09	0.2		0.09	0.2			0.09	0.2
	V _{OUT} High	V ⁺ = Absolute Maximum Ratings	I _{IN} ⁻ = 0, I _{IN} ⁺ = 0 R _L = ∞,		29.5			29.5			26.0		
Output Current Capability	Source		6	18		6	10		5	18		mA _{DC}	
	Sink	(Note 2)	0.5	1.3		0.5	1.3		0.5	1.3			
	I _{SINK}	V _{OL} = 1V, I _{IN} ⁻ = 5 μA		5			5			5			

ANEXO B. 17 OPTOTRIAC MOC3010.



6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

DESCRIPTION

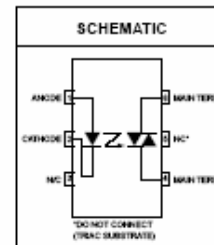
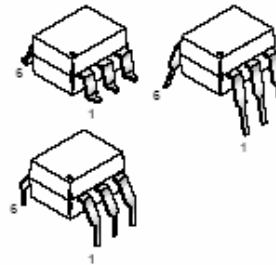
The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a AlGaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115/240 VAC operations.

FEATURES

- Excellent I_{FT} stability—IR emitting diode has low degradation
- High isolation voltage—minimum 5300 Vac RMS
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File #E90700
- Peak blocking voltage
 - 250V-MOC301XM
 - 400V-MOC302XM
- VDE recognized (File #94766)
- Ordering option V (e.g. MOC3023VM)

APPLICATIONS

- European applications for
- Triac driver
- 240 VAC (MOC302X only)
- Industrial controls
- Traffic lights
- Vending machines
- Solid state relay
- Lamp ballasts
- Solenoid/valve controls
- Static AC power switch
- Incandescent lamp dimmers
- Motor control



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

Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T_{STG}	All	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	T_{OPR}	All	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	T_{SOL}	All	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	All	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V_{ISO}	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Derate above 25 $^\circ\text{C}$	P_D	All	330	mW
			4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
EMITTER				
Continuous Forward Current	I_F	All	60	mA
Reverse Voltage	V_R	All	3	V
Total Power Dissipation 25 $^\circ\text{C}$ Ambient Derate above 25 $^\circ\text{C}$	P_D	All	100	mW
			1.33	mW/ $^\circ\text{C}$
DETECTOR				
Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	MOC3010M/1M/2M	250	V
		MOC3020M/1M/2M/3M	400	
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I_{TSM}	All	1	V
Total Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Ambient Derate above 25 $^\circ\text{C}$	P_D	All	300	mW
			4	mW/ $^\circ\text{C}$

Note

1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _A = 25°C Unless otherwise specified)							
INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS							
Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
EMITTER							
Input Forward Voltage	I _F = 10 mA	V _F	All		1.15	1.5	V
Reverse Leakage Current	V _R = 3 V, T _A = 25°C	I _R	All		0.01	100	μA
DETECTOR							
Peak Blocking Current, Either Direction	Rated V _{DRM} , I _F = 0 (note 1)	I _{DRM}	All		10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction	I _{TM} = 100 mA peak, I _F = 0	V _{TM}	All		1.8	3	V
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	I _F = 0 (figure 5, note 2)	dv/dt	All		10		V/μs

TRANSFER CHARACTERISTICS (T _A = 25°C Unless otherwise specified.)							
DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
LED Trigger Current	Voltage = 3V (note 3)	I _{FT}	MOC3020M			30	mA
			MOC3010M			15	
			MOC3021M				
			MOC3011M			10	
			MOC3022M				
			MOC3012M			5	
			MOC3023M				
Holding Current, Either Direction		I _H	All		100		μA

Note

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. This is static dv/dt. See Figure 5 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
3. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT}. Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (30 mA for MOC3020M, 15 mA for MOC3010M and MOC3021M, 10 mA for MOC3011M and MOC3022M, 5 mA for MOC3012M and MOC3023M) and absolute max I_F (60 mA).

ANEXO B. 18 TRIAC BT137-800.

Philips Semiconductors

Product specification

Triacs

BT137 series

GENERAL DESCRIPTION

Passivated triacs in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional transient and blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

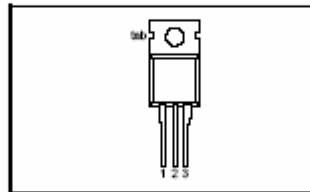
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages	500 500F 500G	600 600F 600G	800 800F 800G	V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	8	8	8	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	65	65	65	A

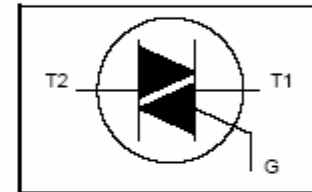
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	main terminal 1
2	main terminal 2
3	gate
tab	main terminal 2

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.			UNIT
				-500 500 ¹	-600 600 ¹	-800 800	
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages		-				V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	full sine wave; $T_{mb} \leq 102^\circ\text{C}$	-	8			A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	full sine wave; $T_j = 25^\circ\text{C}$ prior to surge	-	65			A
\hat{I}_T	\hat{I}_T for fusing	$t = 20\text{ ms}$	-	71			A
dI_T/dt	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	$t = 10\text{ ms}$ $I_{TM} = 12\text{ A}; I_G = 0.2\text{ A};$ $dI_G/dt = 0.2\text{ A}/\mu\text{s}$	-	21			A ² s
I_{GM}	Peak gate current	T2+ G+	-	50			A/ μs
V_{GM}	Peak gate voltage	T2+ G-	-	50			A/ μs
P_{GM}	Peak gate power	T2- G-	-	50			A/ μs
$P_{GM(AV)}$	Average gate power	T2- G+	-	10			A/ μs
T_{stg}	Storage temperature		-	2			A
T_j	Operating junction temperature		-	5			V
			-	5			W
		over any 20 ms period	-	0.5			W
			-40	150			$^\circ\text{C}$
			-	125			$^\circ\text{C}$

¹ Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the triac may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed 6 A/ μs .

Triacs

BT137 series

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{\theta j-cb}$	Thermal resistance junction to mounting base	full cycle	-	-	2.0	K/W
$R_{\theta j-a}$	Thermal resistance junction to ambient	half cycle in free air	-	80	2.4	K/W

STATIC CHARACTERISTICS

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.			UNIT
I_{GT}	Gate trigger current	BT137- $V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$	-	-	...	...F	...G	mA
		T2+ G+	-	5	35	25	50	
		T2+ G-	-	8	35	25	50	
		T2- G-	-	11	35	25	50	
I_L	Latching current	T2- G+ $V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	30	70	70	100	mA
		T2+ G+	-	7	30	30	45	
		T2+ G-	-	18	45	45	60	
		T2- G-	-	5	30	30	45	
I_H	Holding current	T2- G+ $V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	7	45	45	60	mA
		$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	5	20	20	40	
V_T	On-state voltage	$I_T = 10\text{ A}$	-	1.3	1.65			V
V_{GT}	Gate trigger voltage	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$	-	0.7	1.5			V
		$V_D = 400\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A};$ $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	0.25	0.4	-			V
I_D	Off-state leakage current	$V_D = V_{DRM(max)}$ $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	0.1	0.5			mA

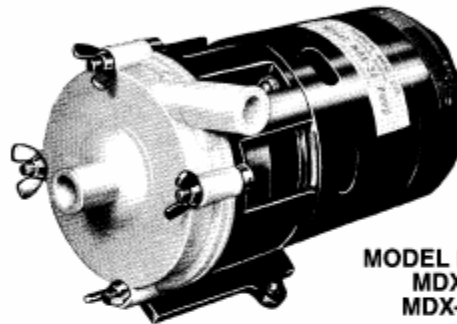
DYNAMIC CHARACTERISTICS

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.			TYP.	MAX.	UNIT
dV_D/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	BT137- $V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)}$; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$; exponential waveform; gate open circuit	100	50	200	250	-	V/ μs
dV_{com}/dt	Critical rate of change of commutating voltage	$V_{DM} = 400\text{ V}; T_j = 95\text{ }^\circ\text{C}$; $I_T(RMS) = 8\text{ A}$; $dI_{com}/dt = 3.8\text{ A/ms}$; gate open circuit	-	-	10	20	-	V/ μs
t_{gt}	Gate controlled turn-on time	$I_{TM} = 12\text{ A}; V_D = V_{DRM(max)}$; $I_G = 0.1\text{ A}; dI_G/dt = 5\text{ A}/\mu\text{s}$	-	-	-	2	-	μs

MARCH

INSTRUCTIONS & REPAIR PARTS FOR MODELS MDX AND MDX-3



MODEL NOS.
MDX
MDX-3

PUMP CONSTRUCTION

March "ORBITAL" Magnetic Drive Pumps eliminate the conventional shaft seals found in most pumps. This means that there is no rotating seal to wear and allow the liquid being pumped to leak out. There are only two areas in this type construction that rotate and could wear out. One area is the motor shaft and bearings. The second area is the impeller rotating on a stationary spindle, and hence these are the only two areas where wearing can occur.

All parts can be easily serviced and replaced in the field if necessary. By removing the 4 wing nuts, the entire pump can be disassembled. See the Repair Parts List for necessary replacement items.

PUMP MATERIALS

The plastic parts are molded out of glass filled polypropylene. The spindle housing 802-043-10 is molded car-

bon filled PVDF plastic. The "O" rings are Buna N rubber. On the 3450 rpm pumps there is a type 316 stainless thrust screw and plastic thrust washer. The magnet is a glazed ceramic. For materials other than standard, and for plastic encapsulated impeller magnets, contact the factory.

ELECTRICAL CONNECTIONS AND RUNNING DRY

The motors are 115 volt, 50/60 Hz, 1 phase A.C. — 230 volt motors are available. Motors are all thermal overload protected and are UL recognized. The pumps should not be run dry for more than 60 seconds as the plastic impeller will squeal and bind onto the stationary spindle. The black and white lead should be connected to your power source. The green lead must be connected to the ground.

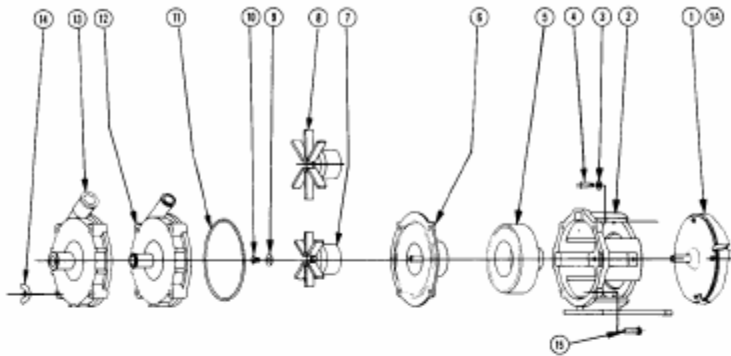
Model No.	CONNECTORS		ELECTRICAL					G.P.H. AT LISTED HEAD					Max. Head	P.S.I. Gage	DIMENSIONS			Pack Wt.	
	Inlet	Outlet	R.P.M.	Hz.	H.P.	Watts	Amps.	1 Ft.	3 Ft.	6 Ft.	9 Ft.	12 Ft.			15 Ft.	Ht.	Wd.		Lg.
MDX	½" or ¾" O.D. Smooth	½" or ¾" O.D. Smooth	1750	50-60 Hz.	1/55	64	.85	360	300	210	0	0	0	7 Ft.	3.1 Lbs.	5"	3¼"	7¼"	5½ Lbs.
MDX-3	½" or ¾" O.D. Smooth	½" or ¾" O.D. Smooth	3500	50-60 Hz.	1/25	108	1.35	510	480	420	360	300	240	19 Ft.	8.3 Lbs.	5"	3¼"	7½"	6 Lbs.



MARCH MFG., INC. Sales Offices in Principal Cities

1819 Pickwick Ave. • Glenview, Illinois 60025-5793
Phone (847) 729-5300 FAX (847) 729-7062

135-107-10 R10



REPAIR PARTS LIST				
ITEM	DESCRIPTION	USED ON MODEL	PART NUMBER	QTY.
1	Motor — 1750 RPM — 115 Volts — 50/60 Hz	MDX	135-109-10	1
1A	Motor — 3500 RPM — 115 Volts — 50/60 Hz	MDX-3	135-036-10	1
2	Motor Bracket	All	135-006-10	1
3	#8 Int. Lock Washer	All	620-010-10	4
4	#8-32 x 1/2 Lg. Round Head Screw	All	150-015-10	4
5	Drive Magnet Assembly (Molded)	All	135-126-01	1
6	Shaft Housing	MDX/MDX-3	802-043-10	1
7	Impeller & Magnet Assem. (3,500 RPM)	MDX-3	135-043-01	1
8	Impeller & Magnet Assem. (1,750 RPM)	MDX	135-026-01	1
9	#8 I.D. x 7/16 O.D. Flat Washer	MDX-3	802-057-10	1
10	#8-32 x 1/4 Lg. Rd. Hd. Screw	MDX-3	135-042-10	1
11	2-7/8 I.D. x 1/16 Thk. "O" Ring Buna	MDX/MDX-3	135-007-10	1
12	Pump Housing 9/16 O.D. Inlet & 17/32 Outlet	MDX/MDX-3	135-118-10	1
13	Pump Housing 5/8 O.D. Inlet & Outlet	MDX/MDX-3	135-117-10	1
14	#10-32 Wing Nut	All	135-012-10	4
15	#10-32 x 1-1/4" Lg. Phillips Hd. Mach. Screw	MDX/MDX-3	802-010-10	4

LIMITED WARRANTY

March pumps are warranted to the original user against defects in workmanship and materials under normal use for a period of 12 months when used on room temperature water. See complete March limited warranty statement on card F4109 which is packed with this pump.

MARCH MANUFACTURING, INC.
1819 PICKWICK AVE., GLENVIEW, ILLINOIS 60025-5793 U.S.A.

ANEXO C. NORMAS ASTM

En este anexo se presentan apartes de las normas internacionales de American Society for Testing and Materials ASTM, tenidas en cuenta en la elaboración de este Trabajo de Grado.

ANEXO C. 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 of 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.

(*J*) *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.

(*J*) *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

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:

$$\text{Force} = \frac{Mg}{9.80665} \left(1 - \frac{d}{D} \right) \tag{2}$$

where:

- M = mass of the weight,
- g = local acceleration due to gravity, m/s²,
- d = air density (0.0012 Mg/m³), 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:

$$1 \text{ lbf} = 4.448222 \text{ N} \quad 1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N (exact)} \tag{3}$$

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 C. 2 NORMA ASTM F 2362-03 Standard Specification for Temperature Monitoring Equipment



Designation: F 2362 – 03

An American National Standard

Standard Specification for Temperature Monitoring Equipment¹

This standard is issued under the fixed designation F 2362; 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.

1. Scope

1.1 This specification covers the requirements for equipment intended to provide control input and monitoring of temperatures in general applications. Equipment described in this specification includes temperature indicators, signal conditioners and power supplies, and temperature sensors such as thermocouples and resistance temperature element assemblies.

1.2 Special requirements for Naval shipboard applications are included in the Supplementary Requirements section.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

D 3951 Practice for Commercial Packaging

E 344 Terminology Relating to Thermometry and Hydrometry

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terminology shall be in accordance with Terminology E 344.

4. Classification

4.1 *General*—Temperature measuring devices are generally classified as either temperature sensors or thermometers. Thermometers are not covered by this specification. Temperature sensors are classified by design and construction. Sensors may also be classified by the manner of response, basically mechanical or electrical, to a change in temperature. Mechanical response is characterized by some mechanical action as temperature changes. Electrical response is characterized by the production or change of an electrical signal or property as temperature changes. The following describes the most common types of sensors:

4.2 *Thermocouples*—Thermocouples are constructed in a variety of designs to provide measurement of direct or differential temperature. Thermocouples are commonly installed using a thermowell which protects the thermocouple but also delays the rapid response time characteristic of thermocouples.

4.2.1 *Principle of Operation*—Most thermocouples utilize two wires fabricated from dissimilar metals joined at one end to form a measuring junction that is exposed to the process medium being measured. The other ends of the wires are usually terminated at a measuring instrument which forms a reference junction. When the two junctions are exposed to different temperatures, electrical current will flow through the circuit (Seebeck Effect). The measurement of millivoltage resulting from the current is proportional to the temperature being sensed.

4.2.2 *Types of Thermocouples*—Thermocouples can be divided into functional classes by materials and therefore, temperature ranges. The three classes are base metal, noble metal, and refractory metal. Although many types are commonly used in industrial applications, the Instrument Society of America (ISA) has assigned letter designations to seven types. By convention, the practice of using a slash mark to separate the materials of each thermocouple wire is widely accepted. Likewise, the order in which the materials appear also denotes polarity of the wires; positive/negative when the measuring junction is at a higher temperature than the reference junction. The following are examples of typical thermocouples:

Class	Type	Materials	Temperature (max)
Base metal	J	Iron/constantan	1000°C (1832°F)
Base metal	T	Copper/constantan	1000°C (1832°F)
Base metal	K	Chromel/Alumel	1000°C (1832°F)
Base metal	E	Chromel/constantan	1000°C (1832°F)
Base metal	---	Alloys of copper, nickel, iron, chromium, manganese, aluminum, and other metals	1000°C (1832°F)
Noble metal	---	Various noble metals	2000°C (3632°F)
Refractory metal	---	Tungsten-rhenium, tantalum, molybdenum, and their alloys	2600°C (4712°F)

4.3 *Resistance Temperature Measuring Devices*—Resistance thermometers measure changes in temperature based on changes in resistance of the sensor element exposed to the temperature. Two common types are resistance temperature detectors which have metal sensor elements and thermistors which have semiconductor sensor elements.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee F25 on Ships and Marine Technology and is the direct responsibility of Subcommittee F25.10 on Electrical.

Current edition approved Dec. 1, 2003. Published January 2004.

² 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.

4.3.1 *Resistance Temperature Detectors (RTDs)*—An RTD consists of sensor which uses a metal wire or fiber which responds to changes in temperature by changing its resistance. The sensor is connected to a readout via a bridge circuit or other means of translating the resistance to a temperature value.

4.3.1.1 *Types of RTDs*—RTD designs include averaging RTDs, annular RTDs, and combination RTD-thermocouples. Averaging RTDs are characterized by a long resistance element. Annular RTDs have sensors that are designed to provide a tight fit within the inner walls of thermowells. Combination RTD-thermocouples have both an RTD and a thermocouple housed in the same sheath.

4.3.2 *Thermistors*—Thermistors are made of solid semiconductor materials, usually complex metal oxides, that have a high coefficient of resistance. Thermistors are available with positive and negative temperature coefficients of resistance and are usually designated PTC and NTC thermistors, respectively. The temperature range for typical thermistors is 100 to 300°C (212 to 572°F).

4.3.2.1 *Types of Thermistors*—Thermistors are classed by the configuration of the semiconductor material. Common types are the bead, disc, washer, and rod thermistors. Leads are attached to semiconductor materials, except where metal plated faces are used for contact to complete the circuit.

5. Ordering Information

5.1 The purchaser should provide the manufacturer with all of the pertinent application data outlined in the acquisition requirements.

5.2 *Acquisition Requirements*—Acquisition documents should specify the following:

- 5.2.1 Title, number and date of this specification,
- 5.2.2 Classification required,
- 5.2.3 Quantity of units required,
- 5.2.4 Type of enclosure mounting,
- 5.2.5 Power requirements,
- 5.2.6 Equipment temperature ranges,
- 5.2.7 Size or weight limitations,
- 5.2.8 Disposition of qualification test samples,
- 5.2.9 Product marking requirements, and
- 5.2.10 Special preservation, packaging, packing and marking requirements.

6. Materials and Manufacture

6.1 *Temperature Sensors*—The materials for all wetted parts shall be selected for long term compatibility with the process medium.

7. Physical Properties

7.1 *Description*—The equipment specified herein in conjunction with the thermocouples or resistance temperature measuring elements comprise a temperature instrument. The temperature monitoring equipment may consist of the following units and may be built integrally together and housed in the same enclosure:

7.1.1 *Signal Conditioner*—The signal conditioner shall convert the sensing element output to a continuous linear analog signal directly proportional to temperature.

7.1.2 *Power Supply*—The power supply shall provide excitation energy to the signal conditioner and sensor.

7.1.3 *Test Device*—A test device shall be furnished to provide a calibrated test signal used for calibrating the equipment.

7.2 *Size and Weight Considerations*—A dimensional outline of the temperature monitoring equipment showing overall and principle dimensions in sufficient detail to establish space requirements in all directions necessary for installation and servicing will greatly assist proper selection. In many applications weight is a critical limitation.

7.3 *General Features*—Requirements for general features shall be specified. General features consist of the following:

- 7.3.1 Output,
- 7.3.2 Equipment range,
- 7.3.3 Adjustments,
- 7.3.4 Failsafe output,
- 7.3.5 Isolation,
- 7.3.6 Enclosure,
- 7.3.7 Power supply requirements, and
- 7.3.8 Cable entrance and connection.

8. Performance Requirements

8.1 *Service Life*—The purchaser may have a minimum specified service life requirement. Critical service life requirements shall be specified in the acquisition requirements.

8.2 *Performance Considerations*—Certain performance characteristics may be deemed critical to the intended or desired function of temperature monitoring equipment. Performance tolerances are usually expressed in percent of equipment span. The following performance characteristics and environmental exposures should be tailored to each purchaser's intended application:

- 8.2.1 Accuracy,
- 8.2.2 Repeatability,
- 8.2.3 Threshold and deadband,
- 8.2.4 Ripple,
- 8.2.5 Warm-up time,
- 8.2.6 Input resistance,
- 8.2.7 Supply voltage or frequency, or both,
- 8.2.8 Temperature error,
- 8.2.9 Response time,
- 8.2.10 Temperature,
- 8.2.11 Insulation resistance,
- 8.2.12 Vibration, and
- 8.2.13 Shock.

9. Workmanship, Finish and Appearance

9.1 *Finish and Appearance*—Any special surface finish and appearance requirements shall be specified in the acquisition requirements.

10. Number of Tests and Retests

10.1 *Test Specimen*—The number of test specimens to be subjected to qualification testing shall depend on the sensor design. If each range is covered by a separate and distinct design, a test specimen for each range may require testing. In instances where a singular design series may cover multiple

ranges and types, only three test specimens may need to be tested provided the electrical and mechanical similarities are approved by the purchaser. In no case, however, should less than three units, one unit each representing low, medium, and high ranges, be tested, regardless of design similarity.

11. Test Data

11.1 *Test Data*—All test data shall remain on file at the manufacturer's facility for review by the purchaser upon request. It is recommended that test data be retained in the manufacturer's files for at least three years, or a period of time acceptable to the purchaser and manufacturer.

12. Inspection

12.1 *Classification of Inspections*—The inspection requirements specified herein are classified as follows:

- 12.1.1 Qualification testing, and
- 12.1.2 Quality conformance testing.

12.2 *Qualification Testing*—Qualification test requirements shall be specified where applicable. Qualification test methods should be identified for each design and performance characteristic specified. Test report documentation requirements should also be specified.

12.3 *Quality Conformance Testing*—Quality conformance testing is accomplished when qualification testing was satisfied by a previous acquisition or product has demonstrated reliability in similar applications. Quality conformance testing is usually less intensive than qualification, often verifying that samples of a production lot meet a few critical performance requirements.

13. Certification

13.1 When specified in the purchase order or contract, the purchaser shall be furnished certification that samples representing each lot have been either tested or inspected as directed in this specification and the requirements have been met. When specified in the purchase order or contract, a report of the test results shall be furnished.

14. Product Marking

14.1 Purchaser specified product marking shall be listed in the acquisition requirements.

15. Packaging and Package Marking

15.1 *Packaging of Product for Delivery*—Product should be packaged for shipment in accordance with Practice D 3951.

15.2 Any special preservation, packaging, or package marking requirements for shipment or storage shall be identified in the acquisition requirements.

16. Quality Assurance Provisions

16.1 *Warranty:*

16.1.1 *Responsibility for Warranty*—Unless otherwise specified, the manufacturer is responsible for the following:

- 16.1.1.1 All materials used to produce a unit, and
- 16.1.1.2 Manufacturer will warrant his product to be free from defect of workmanship to produce the unit.

17. Keywords

17.1 resistance temperature detector (RTD); thermistor; thermocouple

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

TEMPERATURE MONITORING EQUIPMENT (NAVAL SHIPBOARD USE)

The following supplementary requirements established for U.S. Naval shipboard application shall apply when specified in the contract or purchase order. When there is conflict between the standard (ASTM F 2362) and this supplement, the requirements of this supplement shall take precedence for equipment acquired by this supplement. This document supercedes MIL-T-15377, Temperature Monitor Equipment, Naval Shipboard, for new ship construction.

S1. Scope

S1.1 This supplement covers temperature monitoring equipment which continuously monitors and selectively indicates, at a central location, a number of temperatures at remote equipment locations on board naval ships.

S1.2 *Monitoring Equipment*—Monitoring equipment, in conjunction with the temperature sensor assemblies and interconnecting cabling, comprise a temperature measuring and alarm system. In order to warn operating personnel of abnormal temperature conditions, the system shall energize an audible and visual alarm when the temperature at a particular location is below or above a preset limit. Monitoring of temperatures shall be accomplished by measuring the electromotive force (emf) output of thermocouples or by measuring the signal output due to changes in resistance of temperature

sensing elements. Temperature monitoring equipment shall actuate external audible alarms specified herein.

S1.3 *Selective Temperature Readout Equipment*—Selective temperature readout equipment, in conjunction with temperature sensor assemblies and interconnecting cabling, comprise a temperature measuring system. In order to enable operating personnel to measure a number of temperatures at remote points, the system shall enable the operator to manually select the desired point to be measured, convert the selected temperature sensor output to a signal proportional to temperature, and display this signal on a meter calibrated in temperature °C (°F). Readout of temperatures shall be accomplished by measuring the output of thermocouples or by measuring the signal output due to changes in resistance of temperature sensing elements.

S1.4 The U.S. Government preferred system of measurement is the metric SI system. However, since this item was

ANEXO C. 3 NORMA ASTM E 8-04 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.



Designation: E 8 – 04

An American National Standard
American Association of 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_u , [%]*—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 1/2-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.

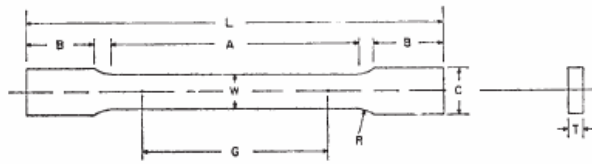
6. Test Specimens

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 1 1/2 in. or less in thickness, diameter, or distance between flats.



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 1½-in. Wide	Sheet-Type, ½-in. Wide	¼-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)	1½ + ¼, - ¼	0.500 ± 0.010	0.250 ± 0.005
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 8)	1	½	¼
L—Over-all length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	18	8	4
A—Length of reduced section, min	9	2¼	1¼
B—Length of grip section, (Note 8)	3	2	1¼
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	2	¾	¾

NOTE 1—For the 1½-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 1½-in. wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (*A*) of 2¼ 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 1½-in. wide specimens shall be ¼ in. Maximum thickness of ½-in. and ¼-in. wide specimens shall be ¼ in. and ¼ in., respectively.

NOTE 6—For the 1½-in. wide specimen, a ½-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 ¼-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 ½-in. wide specimens is over ¾ 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 ½-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 2*W* 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 1½ 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.

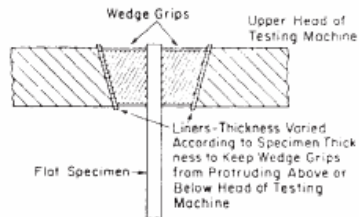


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

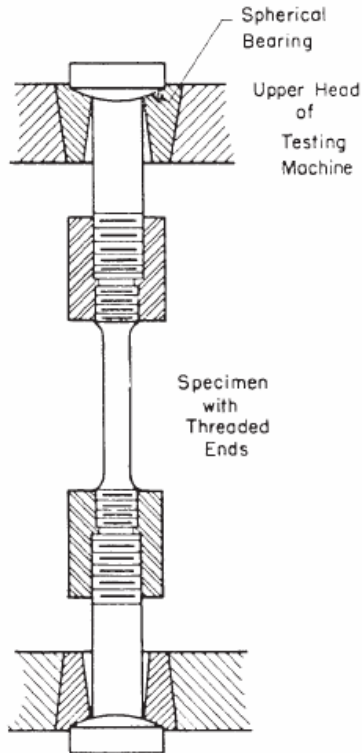


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

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.

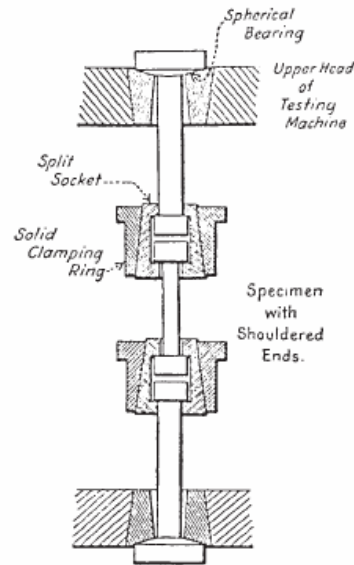


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

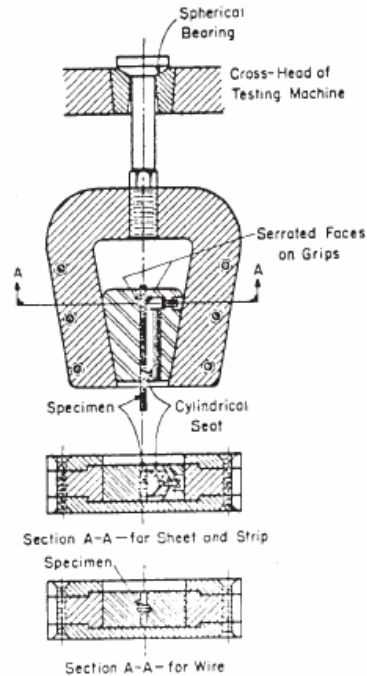


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

6.1.4 *Specimen Surface Finish*—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface

ANEXO C. 4. NORMA ASTM E 1942-98 Standard Evaluating Data Acquisition System Used in Cyclic Fatigue and Fracture Mechanics Testing.



Designation: E 1942 – 98^{ε1}

Standard Guide for Evaluating Data Acquisition Systems Used in Cyclic Fatigue and Fracture Mechanics Testing¹

This standard is issued under the fixed designation E 1942; 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.

^{ε1} NOTE—Equation A4.1 was editorially revised in April 2000.

1. Scope

1.1 The purpose of this guide is to understand and minimize the errors associated with data acquisition in fatigue and fracture mechanics testing equipment. This guide is not intended to be used instead of certified traceable calibration or verification of data acquisition systems when such certification is required. It does not cover static load verification, for which the user is referred to the current revision of Practices E 4, or static extensometer verification, for which the user is referred to the current revision of Practice E 83. The user is also referred to Practice E 467.

1.2 The output of the fatigue and fracture mechanics data acquisition systems described in this guide is essentially a stream of digital data. Such digital data may be considered to be divided into two types—Basic Data, which are a sequence of digital samples of an equivalent analog waveform representing the output of transducers connected to the specimen under test, and Derived Data, which are digital values obtained from the Basic Data by application of appropriate computational algorithms. The purpose of this guide is to provide methods which give confidence that such Basic and Derived Data describe the properties of the material adequately. It does this by setting minimum or maximum targets for key system parameters, suggesting how to measure these parameters if their actual values are not known.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines²
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers²
- E 467 Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Loads in an Axial Load Fatigue Testing System²
- E 1823 Terminology Relating to Fatigue and Fracture Testing²

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E-8 on Fatigue and Fracture and is the direct responsibility of Subcommittee E08.03 on Advanced Apparatus and Techniques.

Current edition approved Feb. 10, 1998. Published April 1998.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *bandwidth* [T^1]—the frequency at which the amplitude response of the channel has fallen to $1/\sqrt{2}$ of its value at low frequency.

3.1.1.1 *Discussion*—This definition assumes the sensor channel response is low-pass, as in most materials testing. An illustration of bandwidth is shown in Fig. 1.

3.1.2 *Basic Data sample*—the sampled value of a sensor waveform taken at fixed time intervals. Each sample represents the actual sensor value at that instant of time.

3.1.2.1 *Discussion*—Fig. 2 shows examples of Basic Data samples.

3.1.3 *data rate* [T^1]—the data rate is $1/t_d$ Hertz where the time intervals between samples is t_d in seconds.

3.1.3.1 *Discussion*—The data rate is the number of data samples per second made available to the user, assuming the rate is constant.

3.1.4 *Derived Data*—any waveform parameter which is derived from one or several of the Basic Data samples.

3.1.4.1 *Discussion*—Fig. 2 illustrates examples of Derived Data.

3.1.5 *noise level*—the standard deviation of the data samples of noise in the transducer channel, expressed in the units appropriate to that channel.

3.1.6 *peak*—the point of maximum load in constant amplitude loading (see Terminology E 1823).

3.1.7 *phase difference* [$^\circ$]—the angle in degrees separating corresponding parts of two waveforms (such as peaks), where one complete cycle represents 360° .

3.1.7.1 *Discussion*—The phase difference of a cyclic waveform only has meaning in reference to a second cyclic waveform of the same frequency.

3.1.8 *sampling rate* [T^1]—the rate at which the analog-to-digital converter samples a waveform. This rate may not be visible to the user of the data acquisition system.

3.1.8.1 *Discussion*—A distinction is made here between *sampling rate* and *data rate*, because in some data acquisition systems, the analog waveform may be sampled at a much higher rate than the rate at which data are made available to the

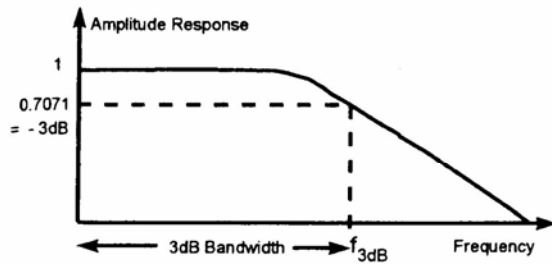


FIG. 1 3dB Bandwidth of Sensor Channel

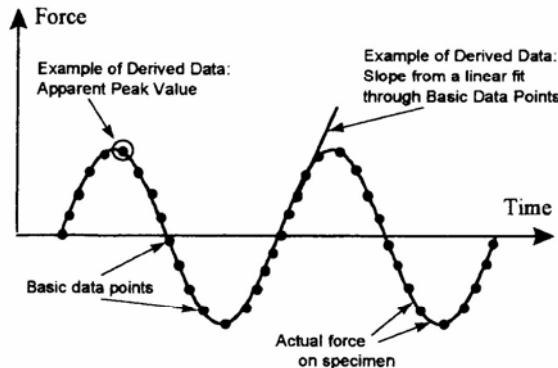


FIG. 2 Basic and Derived Data

user. (Such a technique is commonly known as *over-sampling*).

3.1.9 *word size*—the number of significant bits in a single data sample.

3.1.9.1 *Discussion*—The word size is one parameter which determines the system resolution. Usually it will be determined by the analog-digital converter used, and typically may be 12 or 16 bits. If the word size is w , then the smallest step change in the data that can be seen is 1 part in 2^w , that is the *quantization step* is $d = 2^{-w}$.

3.1.10 *valley*—The point of minimum load in constant amplitude loading (see Terminology E 1823).

4. Description of a Basic Data Acquisition System

4.1 In its most basic form, a mechanical testing system consists of a test frame with grips which attach to a test specimen, a method of applying forces to the specimen, and a number of transducers which measure the forces and displacements applied to the specimen (see Fig. 3). The output from these transducers may be in digital or analog form, but if they are analog, they are first amplified and filtered and then converted to digital form using analog-to-digital converters (ADCs). The resulting stream of digital data may be digitally filtered and manipulated to result in a stream of output Basic Data which is presented to the user in the form of a displayed or printed output, or as a data file in a computer. Various algorithms may be applied to the Basic Data to derive parameters representing, for example, the peaks and valleys of the forces and displacements applied to the specimen, or the stresses and strains applied to the specimen and so forth. Such parameters are the Derived Data.

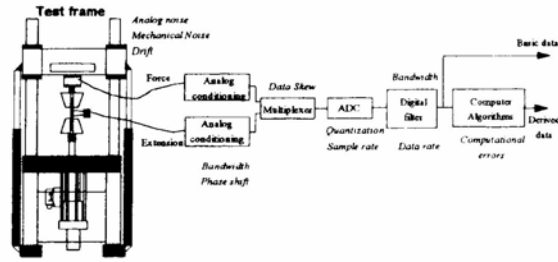


FIG. 3 Sources of Error in Data Acquisition Systems

4.1.1 The whole measurement system may be divided into three sections for the purpose of verification: the mechanical test frame and its components, the electrical measurement system, and the computer processing of data. This guide is specifically concerned only with the electrical measurement system commencing at the output of the transducers. Before the mechanical system is investigated for dynamic errors by the methods given in Practice E 467, this guide can be used to ascertain that the electrical measurement system has adequate performance for the measurements required for Practice E 467. If the requirements of Practice E 467 for the mechanical system and the recommendations of this guide are met, then the user has confidence that the Basic Data produced by the testing system are adequate for processing by subsequent computer algorithms to produce further Derived Data.

4.1.2 At each stage of the flow of data in the electrical measurement system, errors can be introduced. These should be considered in the sequence in which these are dealt with in this guide. The sequence includes:

4.2 *Errors Due to Bandwidth Limitations in the Signal Conditioning*—Where there is analog signal conditioning prior to analog-to-digital conversion, there will usually be restrictions on the analog *bandwidth* in order to minimize noise and, in some cases, to eliminate products of demodulation. After digital conversion, additional digital filtering may be applied to reduce noise components. These bandwidth restrictions result in cyclic signals having an apparent amplitude which is lower than the true value, and if the waveform is not sinusoidal, also having waveform distortion. The bandwidth restrictions also cause *phase shifts* which result in phase measurement errors when comparing phase in two channels with different bandwidths.

4.3 *Errors Due to Incorrect Data Rate*—Errors can result from an insufficient *data rate*, where the intervals between data samples are too large and intervening events are not recorded in the Basic Data. These result also in errors in the Derived Data for example when the peak value of a waveform is missed during sampling. *Data skew*, where the Basic Data are not acquired at the same instant in time, can produce similar errors to phase shifts between channels.

4.4 *Errors Due to Noise and Drift*—Noise added to the signal being measured causes measurement uncertainty. Short-term noise causes variability or random error, and includes *analog noise* at the transducer output due to electrical or mechanical pick up, and analog noise added in the amplifier, together with digital noise, or *quantization*, due to the finite digital word length of the ADC system.