

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**REHABILITACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL EQUIPO CILINDRO
DE PARED GRUESA TQ – SM 111 PARA EL LABORATORIO DE
RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA FIME.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

DAVID CÉSAR LOZA MATOVELLE

DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ

CODIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRÍA

Sangolquí, 2005-08-15

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Por medio de la presente se certifica que el proyecto “REHABILITACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL EQUIPO CILINDRO DE PARED GRUESA TQ – SM 111 PARA EL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA FIME” fue realizado en su totalidad por David César Loza Matovelle como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

**Ing. José Pérez
DIRECTOR**

**Ing. Luis Echeverría
CODIRECTOR**

Sangolquí, 08-2005

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**REHABILITACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL EQUIPO CILINDRO DE
PARED GRUESA TQ – SM 111 PARA EL LABORATORIO DE
RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA FIME**

ELABORADO POR:

Sr. David Loza

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

EL DECANO

Sangolquí, 2005-08-15

DEDICATORIA

A las únicas personas que puedo dedicar este trabajo, y que han colaborado en todos mis logros, soportado mis desaciertos y festejado mis triunfos es a mi familia, a la cual aprecio y dedico con toda mi alma este trabajo, que es el resultado de su confianza en mi persona. Gracias.

David Loza

AGRADECIMIENTOS

Existen muchas personas a las cuales debo agradecer, a continuación cito a las personas más importantes:

Primeramente, a Dios porque sin el no sería posible nada, le agradezco el bendecirme a mi familia y a mí.

A mi madre, por darme la vida y apoyarme para que cada día se ha una persona mejor.

A mi padre, por su apoyo y comprensión en los momentos más difíciles y duros de mi vida.

A mis hermanos y mi abuelita, por ayudarme en pequeñas y cotidianas tareas, que sin su presencia me sería imposible realizar.

A mis profesores no solo por enseñarme alguna materia, si no también por enseñarme muchas cosas de la vida.

Al Ingeniero Pérez por gastar tanto tiempo en este proyecto, y creer en mí para realizarlo.

Al Ingeniero Echeverría por sus sabios consejos, y tratar un problema tan difícil como es la automatización.

A Don Francisco Navas por ayudarme a sentir al laboratorio de resistencia de materiales como una casa.

A todas las personas que de una u otra forma han ayudado a la realización de este proyecto.

David Loza

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	<i>III</i>
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	<i>V</i>
DEDICATORIA	<i>VII</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>IX</i>
INDICE DE CONTENIDOS	<i>XI</i>
RESUMEN	<i>XXIX</i>
CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES	
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos	2
1.4. ALCANCE	3
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO	3
CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO	
2.1. DEFORMACIONES	5
1.1.1 Conceptos Generales	5
2.1.2. Strain Gauge	5
2.1.2.1. Formulación Matemática.	6
2.1.2.2. Strain gauge métodos adhesivos.	8
2.1.2.2.1. Preparación de la Superficie	8
2.1.2.2.2. Pegado de las Galgas	8
2.1.2.3. Recomendaciones en la instalación de Strain gauge.	13
2.1.3. Puente de Wheatstone.	14
2.1.3.1. Configuraciones del puente de Wheatstone con las galgas.	15

	Pág.
2.1.3.1.1. Cuarto de Puente	15
2.1.3.1.2. Medio Puente	16
2.1.3.1.3. Puente Completo	16
2.2 ANÁLISIS EN CILINDROS DE PAREDES GRUESAS.	16
2.2.1. Caso General (cilindro con presión interna y externa)	17
2.2.2 Caso específico (cilindros únicamente con presión interna)	19
2.2.3 Esfuerzo longitudinal	19
2.3 CÁLCULOS A REALIZARSE.	20
2.4 GRÁFICAS REQUERIDAS.	21
2.4.1. Gráfica de esfuerzos	21
2.4.2. Recta de Lamé	22
CAPÍTULO 3 - ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MÁQUINA	25
3.1. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE FUNCIONAMIENTO	25
3.1.1. Sistema Hidráulico	26
3.1.2. Sistema Eléctrico	26
3.1.3. Sistema de Medición	26
3.2. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE PROCESO	29
3.2.1. Gráfica de deformaciones	29
3.2.2. Gráfica de Esfuerzos	31
3.3. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESO DE ENSAYO	33
3.3.1. Pruebas al equipo	33
3.3.2. Datos obtenidos de las pruebas	35
3.3.3 Conclusión de las pruebas	39
CAPÍTULO 4 - ANÁLISIS MECÁNICO UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULACIÓN	49
4.1. GEOMETRÍA.	49

	Pág.
4.2. RESTRICCIONES Y CARGAS.	51
4.3. ANÁLISIS DE ESFUERZOS.	53
4.3.1 Esfuerzos	53
4.3.2. Deformación Unitaria	53
4.3.3. Desplazamientos	54
4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	54
4.4.1. Gráfica de deformaciones	55
4.4.2. Gráfica de Esfuerzos	58
CAPÍTULO 5 - ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	63
5.1. DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS EN EL EQUIPO.	63
5.2. ESTUDIOS DE LAS ALTERNATIVAS.	65
5.2.1. Alternativas para la reparación del equipo.	65
5.2.1.1 Verificación del circuito eléctrico.	65
5.2.1.1.1 Procedimiento	65
5.2.1.1.2. Ventajas	65
5.2.1.1.3. Desventajas	66
5.2.1.2. Cambio de todo el circuito eléctrico.	66
5.2.1.2.1. Procedimiento	66
5.2.1.2.2. Ventajas	66
5.2.1.2.3. Desventajas	66
5.2.1.3. Cambio de los strain gauge afectados	67
5.2.1.3.1. Procedimiento	67
5.2.1.3.2. Ventajas	67
5.2.1.3.3. Desventajas	67
5.2.2. Alternativas para la actualización del equipo.	68
5.2.2.1. Cambio del selector del equipo por uno similar.	68
5.2.2.1.1. Procedimiento	68
5.2.2.1.2. Ventajas	68
5.2.2.1.3. Desventajas	68

	Pág.
5.2.2.2. Cambio del Selector del equipo por un sistema con relés	68
5.2.2.1.1. Procedimiento	68
5.2.2.1.2. Ventajas	69
5.2.2.1.3. Desventajas	69
5.2.2.3. Cambio del Selector del equipo por un sistema con integrados.	69
5.2.2.1.1. Procedimiento	69
5.2.2.1.2. Ventajas	70
5.2.2.1.3. Desventajas	70
5.3. DETERMINACIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE.	70
5.3.1. Resistencias de los strain gauges.	72
5.3.2. Medidas en cuarto de puente de los strain gauges.	73
5.4. DETERMINACIÓN DE LOS ELEMENTOS A SER REEMPLAZADOS	74
CAPÍTULO 6 - SELECCIÓN E IMPLEMENTACION DE COMPONENTES	77
6.1. COMPONENTES MECÁNICOS	77
6.1.1. Determinación de los tipos de elementos a ser reemplazados.	77
6.1.2. Selección del tipo de elementos a adquirir.	77
6.1.2.1. Elementos a construir.	77
6.1.2.2. Elementos a adquirir.	79
6.1.3. Armado del sistema.	79
6.2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	80
6.2.1. Elementos necesarios para el sistema de adquisición de datos.	80
6.2.1.1. Caja de Strain Gauges	81
6.2.1.2. Tarjeta de Relés	82
6.2.1.3. Sistema de medición multipunto 1528 de esfuerzos.	83
6.2.1.4. Tarjeta de adquisición de datos.	84
6.2.2. Desarrollo del software.	89

	Pág.
6.2.2.1. Visual Basic	89
6.2.2.2. LabVIEW	90
6.2.2.3. Selección del programa.	90
6.2.2.4. Introducción al LabVIEW	91
6.2.2.5. Desarrollo del programa.	93
6.2.3. Ensamblado del sistema.	106
6.2.4. Pruebas de conectividad y transferencia de datos.	107
6.2.4.1. Pruebas de Conectividad	107
6.2.4.2. Pruebas de Transferencia de Datos	108
CAPÍTULO 7 - PRUEBAS, PUESTA A PUNTO Y CALIBRACIÓN.	111
7.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.	111
7.1.1. Resistencias	111
7.1.2. Resultados de las pruebas.	111
7.2. PUESTA A PUNTO.	117
7.3. CALIBRACIÓN.	120
7.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	121
CAPÍTULO 8 - ESTUDIO ECONOMICO Y FINANCIERO.	123
8.1. ESTUDIO ECONÓMICO.	123
8.1.1. Ingeniería y administración	123
8.1.1.1. Personal	123
8.1.1.2. Transporte, Papelería y Varios	123
8.1.2. Costos directos	124
8.1.2.1. Honorarios a profesionales	124
8.1.2.2. Adquisición de materiales y equipos.	124
8.1.3. Costos totales	124
8.1.4. Tiempo de recuperación	124
8.2. ESTUDIO FINANCIERO.	125

CAPÍTULO 9 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
9.1. CONCLUSIONES.	127
9.2. RECOMENDACIONES.	128

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES	1
CAPÍTULO 2 – MARCO TEÒRICO	5
CAPÍTULO 3 – ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MÁQUINA	25
TABLA 3.1. Disposición de Strain Gauges en el cilindro	28
CAPÍTULO 4 - ANÁLISIS MECÁNICO UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULACIÓN	49
CAPÍTULO 5 - ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	63
CAPÍTULO 6 - SELECCIÓN E IMPLEMENTACION DE COMPONENTES	77
Tabla 6.1. Entradas Analógicas	87
Tabla 6.2. Entradas y salidas digitales	88
Tabla 6.3. Características Generales	88
Tabla 6.4. Ganancia en modo diferencial	104
CAPÍTULO 7 - PRUEBAS, PUESTA A PUNTO Y CALIBRACIÓN.	111
CAPÍTULO 8 - ESTUDIO ECONOMICO Y FINANCIERO.	123
CAPÍTULO 9 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127

LISTADO DE CUADROS

	Pág.
CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES	1
CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO	5
CAPÍTULO 3 - ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MÁQUINA	25
Cuadro 3.1. Medición de resistencia en los Strain Gauges	36
Cuadro 3.2. Calibración del manómetro	36
Cuadro 3.3. Calibración del manómetro	37
Cuadro 3.4. Estabilidad de las galgas	37
Cuadro 3.5. Medición de la deformación	38
Cuadro 3.6. Errores – Calibración del manómetro	41
Cuadro 3.7. Errores – Calibración del manómetro	41
Cuadro 3.8. Errores – Esfuerzos Teóricos	42
Cuadro 3.9. Esfuerzos Prácticos	42
Cuadro 3.10. Errores - Esfuerzos	42
Cuadro 3.11. Medidas teóricas deformación	44
Cuadro 3.12. Medidas prácticas deformación	44
Cuadro 3.13. Errores – Deformación	45
CAPÍTULO 4 - ANÁLISIS MECÁNICO UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULACIÓN	49
Cuadro 4.1. Propiedades Material	50
CAPÍTULO 5 - ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	64

	Pág.
Cuadro 5.1. Medidas de las galgas de repuesto	64
Cuadro 5.2. Matriz de decisión – reparación del equipo	71
Cuadro 5.3. Matriz de decisión – actualización del equipo	71
Cuadro 5.4. Medidas de la resistencia de las galgas	73
Cuadro 5.5. Medidas en cuarto de puente	73
CAPÍTULO 6 - SELECCIÓN E IMPLEMENTACION DE COMPONENTES	77
Cuadro 6.1. Entradas Analógicas	82
Cuadro. 6.2. Comparación entre programas	91
Cuadro 6.3. Pruebas de Conectividad	108
Cuadro 6.4. Continuidad	109
CAPÍTULO 7 - PRUEBAS, PUESTA A PUNTO Y CALIBRACIÓN.	111
Cuadro 7.1. Resistencias	111
Cuadro 7.2. Medidas Teóricas - deformación	112
Cuadro 7.3. Medidas Prácticas - deformación	112
Cuadro 7.4. Errores	113
Cuadro 7.5. Medidas Teóricas - esfuerzos	113
Cuadro 7.6. Medidas Prácticas – esfuerzos	114
Cuadro 7.7. Errores	114
Cuadro 7.8. Conectividad	115
Cuadro 7.9. Continuidad	115
CAPÍTULO 8 - ESTUDIO ECONOMICO Y FINANCIERO.	123
Cuadro 8.1. Gastos Personales	123
Cuadro 8.2. Gastos Transporte, papelería y varios.	123
Cuadro 8.3. Honorarios Profesionales	124

	Pág.
Cuadro 8.4. Adquisición de materiales y equipo	124
Cuadro 8.5. Estudio Financiero.	125

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES	1
CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO	5
Fig. 2.1. Tipos de strain gauge: a) Alambre b) Láminas c) Semi-conductores	6
Fig. 2.2. Galgas – Preparación	10
Fig. 2.3. Galgas – Preparación	10
Fig. 2.3. Galgas – Preparación	11
Fig. 2.4. Galgas – Preparación	11
Fig. 2.5. Galgas – Pegado	11
Fig. 2.6. Galgas – Pegado	12
Fig. 2.7. Galgas – Pegado	12
Fig. 2.8. Galgas – Pegado	13
Fig. 2.9. Puente de Wheatstone	15
Fig. 2.10. Cuarto de Puente	15
Fig. 2.11. Medio Puente	16
Fig. 2.12. Puente Completo	16
Fig. 2.13. a. Análisis en el cilindro de pared gruesa b. Elemento diferencial	17
Fig. 2.14. Análisis del esfuerzo longitudinal en el cilindro de pared gruesa	20
Fig. 2.15. Gráfica del esfuerzo radial y longitudinal	22
Fig. 2.16. Recta de Lamé	23
Fig. 2.17. Recta de Lamé	23
Fig. 2.18. Recta de Lamé	24
CAPÍTULO 3 - ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MÁQUINA	25
Fig. 3.1. Esquema de la máquina	25
Fig. 3.2. Sistema Hidráulico	26

	Pág.
Fig. 3.3. Sistema Eléctrico	27
Fig. 3.4. Disposición de los Strain Gauges	28
Fig. 3.5. Gráfica de deformaciones a 1 MPa	29
Fig. 3.6. Gráfica de deformaciones a 2 MPa	29
Fig. 3.7. Gráfica de deformaciones a 3 MPa	30
Fig. 3.8. Gráfica de deformaciones a 4 MPa	30
Fig. 3.9. Gráfica de deformaciones a 5 MPa	30
Fig. 3.10. Gráfica de deformaciones a 6 MPa	31
Fig. 3.11. Gráfica de esfuerzos a 1 MPa	31
Fig. 3.12. Gráfica de esfuerzos a 2 MPa	32
Fig. 3.13. Gráfica de esfuerzos a 3 MPa	32
Fig. 3.14. Gráfica de esfuerzos a 4 MPa	32
Fig. 3.15. Gráfica de esfuerzos a 5 MPa	33
Fig. 3.16. Gráfica de esfuerzos a 6 MPa	33
Fig. 3.17. Calibrador de manómetro ASMLER	34
Fig. 3.18. Gráfica de la radiografía del cilindro	39
Fig. 3.19. Gráfica de calibración del manómetro - Prueba 1	39
Fig. 3.20. Gráfica de calibración del manómetro - Prueba 2	40
 CAPÍTULO 4 - ANÁLISIS MECÁNICO UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULACIÓN	 49
 Fig. 4.1. Dibujo del cilindro base	 49
Fig. 4.2. Cilindro con el material	49
Fig. 4.3. Cilindro con restricciones	51
Fig. 4.4. Cilindro con restricciones y cargas	51
Fig. 4.5. Cilindro con malla	52
Fig. 4.6. Estudio de Esfuerzos	53
Fig. 4.7. Estudio de deformación Unitaria	53
Fig. 4.8. Estudio de Desplazamiento	54
Fig. 4.9. Gráfica de deformaciones a 1 MPa	55

	Pág.
Fig. 4.10. Gráfica de deformaciones a 2 MPa	55
Fig. 4.11. Gráfica de deformaciones a 3 MPa	56
Fig. 4.12. Gráfica de deformaciones a 4 MPa	56
Fig. 4.13. Gráfica de deformaciones a 5 MPa	57
Fig. 4.14. Gráfica de deformaciones a 6 MPa	57
Fig. 4.15. Gráfica de esfuerzos a 1 MPa	58
Fig. 4.16. Gráfica de esfuerzos a 2 MPa	59
Fig. 4.17. Gráfica de esfuerzos a 3 MPa	59
Fig. 4.18. Gráfica de esfuerzos a 4 MPa	60
Fig. 4.19. Gráfica de esfuerzos a 5 MPa	60
Fig. 4.20. Gráfica de esfuerzos a 6 MPa	61
CAPÍTULO 5 - ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	63
Fig. 5.1. Sistema eléctrico completo	63
Fig. 5.2. Método para la reparación del equipo	72
CAPÍTULO 6 - SELECCIÓN E IMPLEMENTACION DE COMPONENTES	77
Fig. 6.1. Caja de Strain Gauges	78
Fig. 6.2. Armado del sistema	79
Fig. 6.3. Esquema de adquisición de datos	80
Fig. 6.4. Circuito Electrónico de la caja de Strain Gauges	81
Fig. 6.5. Puerto de la tarjeta de Relés	82
Fig. 6.6. Circuito electrónico de un relé	83
Fig. 6.7. Tarjeta de Relés	83
Fig. 6.8. Sistema de acondicionamiento de datos.	84
Fig. 6.9. Tarjeta de adquisición de Datos	85
Fig. 6.10. Configuraciones de la tarjeta de adquisición de datos	86
Fig. 6.11. Pantalla de inicio del LabVIEW 6.1.	91

	Pág.
Fig. 6.12. La. Paleta de funciones, b. Controles y c. Herramientas.	91
Fig. 6.13. Los dos tipos de vista: a. Panel y b. Diagramas.	92
Fig. 6.14. Adquisición de Datos	94
Fig. 6.15. Adquisición de Datos – Esquema	95
Fig. 6.16. Botón “Calcular”	96
Fig. 6.17. Botón “poner a ceros”	96
Fig. 6.18. Botón “Imprimir”	97
Fig. 6.19. Gráfica deformación y esfuerzos	98
Fig. 6.21. Botón “Graficar Deformaciones”	99
Fig. 6.22. Botón “Graficar Esfuerzos”	101
Fig. 6.23. Configuración	101
Fig. 6.24. Presentación	103
Fig. 6.25. Características del equipo	104
Fig. 6.26. Ensamblado del sistema.	107
Fig. 6.27. Pruebas de transferencia de datos	109
CAPÍTULO 7 - PRUEBAS, PUESTA A PUNTO Y CALIBRACIÓN.	111
Fig. 7.1. Deformación a 1MPa	115
Fig. 7.2. Deformación a 2MPa	115
Fig. 7.3. Deformación a 3MPa	116
Fig. 7.4. Deformación a 4MPa	116
Fig. 7.5. Deformación a 5MPa	117
Fig. 7.6. Deformación a 6MPa	117
Fig. 7.7. Transferencia de Datos	119

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A – GUÍA DE PRÁCTICA	129
ANEXO B – MANUAL DE OPERACIÓN	137
ANEXO C – MANUAL DE MANTENIMIENTO	161

NOMENCLATURA UTILIZADA

ε	<i>Deformación Unitaria</i>
E	<i>Módulo de Elasticidad</i>
ν	<i>Coefficiente de Poisson</i>
σ	<i>Esfuerzo</i>
R	<i>Resistencia</i>
ρ	<i>Resistividad</i>
L	<i>Longitud</i>
A	<i>Área</i>
K	<i>Factor de la Galga</i>
D	<i>Diferencial</i>
R_i	<i>Radio Interno</i>
R_e	<i>Radio Externo</i>
R	<i>Radio a la posición de un punto específico</i>
σ_l	<i>Esfuerzo Longitudinal</i>
σ_r	<i>Esfuerzo Radial</i>
σ_t	<i>Esfuerzo Tangencial</i>
N	<i>Newton</i>
E_r	<i>Error Radial</i>
E_t	<i>Error Tangencial</i>
E_l	<i>Error Longitudinal</i>
MPa	<i>Mega Pascales</i>
GND	<i>Tierra</i>
CH	<i>Canal Analógico</i>
HI	<i>Alto</i>
LO	<i>Bajo</i>
PC+5V	<i>Línea de 5 voltios.</i>
V max	<i>Voltaje máximo</i>
V min	<i>Voltaje mínimo</i>
Port	<i>Puerto Digital</i>
G	<i>Ganancia</i>

V	<i>Voltios</i>
Ω	<i>Ohmios</i>
USD/h	<i>Dólares por hora</i>
°C	<i>Grados Centígrados</i>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Strain gauge o galga.- Son sensores que sirven para medir pequeñas deformaciones, y que se basan en el cambio de resistencia para tomar dichos datos.

Canal Analógico.- Es la entrada o salida de datos analógicos que tiene la tarjeta de adquisición de datos.

Ganancia.- Es el factor por el cual una señal eléctrica es aumentada.

Puerto Digital.- Es la entrada o salida digital (1 o 0) que tiene la tarjeta de adquisición de datos.

Relé.- Dispositivo que al ser activado por la corriente de un circuito, cierra o abre unos contactos que gobiernan la corriente de otro circuito.

Aceite de Castor.- Aceite especialmente utilizado para aeromodelismo debido a su gran calidad puede trabajar con mecanismos sumamente pequeños.

I. RESUMEN

En este proyecto se ha realizado la rehabilitación y actualización del equipo CILINDRO DE PARED GRUESA TQ- SM 111 para el laboratorio de resistencia de materiales de la FIME, con estos ensayos se podrán hacer estudios de deformación a diversos niveles y diferentes tipos de condiciones de presión en cilindros de pared gruesa.

Se ha reacondicionado el equipo en su parte mecánica, cambiando y realizando las adecuaciones necesarias para que su funcionamiento sea correcto y una vez logrado el mismo, sea realizado su actualización para simplificar la obtención de datos y cálculos que se requieren, así mismo los gráficos y curvas necesarias.

Se han reducido los errores y se ha hecho una mejora en la toma de datos que fácilmente será una gran ayuda para el estudiante de la facultad que podrá aprender mas en estas pruebas y en menor plazo, además podrá comprobar al instante los cálculos y verificar lo aprendido en clase.

El equipo para estos ensayos anteriormente no estaba en condiciones de operación, debido a un daño en los sensores de deformación unitaria y a los circuitos para hacerla funcionar. Se hizo un análisis de sus problemas y elementos hacer remplazados por unos más actuales, además se ha agregado un control por computadora y la elaboración de un software adecuado para su uso.

El objetivo de esta tesis fue el de rehabilitar el equipo cambiando las partes dañadas y hacer las adecuaciones pertinentes para que los repuestos sea posible conseguirlos actualmente, la otra parte del trabajo fue la elaboración de un software que pueda obtener datos del equipo es decir se obtenga las diversas mediciones a diferentes presiones y sean correctamente analizadas con los gráficos necesarios y las explicaciones adecuadas.

Se ha dado al laboratorio de resistencia además de un equipo funcional, un selector que puede servir con muchos fines, como el de seleccionar un tipo diferente de galgas para ser automatizadas y tratadas por medio de computadora.

Como resultado de este trabajo han obtenido datos más fiables y con menor error, una mayor rapidez en la absorción de la información en los estudiantes y verificar lo aprendido en clase, además se ha modernizado el equipo del laboratorio mejorando la educación de punta que ha mantenido la Escuela Politécnica del Ejército siempre.

II. INTRODUCCIÓN

El equipo TQ – SM 111 nunca se ha podido utilizar a lo largo de 10 años, el presente trabajo tuvo como objetivo el recuperar y actualizar este equipo; objetivo que se logró obteniendo un adecuado funcionamiento además de mejorar y renovar la adquisición de datos del sistema así como ganar tiempo en realizar cálculos y gráficos.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El equipo TQ – SM 111 alrededor de 10 años estuvo inoperable, no se podía medir algunas deformaciones en los sensores y presentaba inestabilidad, su aplicación hasta cierto punto era únicamente explicativa, lo que se hizo es rehabilitarlo al equipo de tal manera que su funcionamiento sea el adecuado además de mejorar y renovar la adquisición de datos del sistema así como ganar tiempo y realizar los cálculos más rápido y eficientemente.

El objetivo de la tesis es rehabilitar el equipo cambiando las partes dañadas y hacer las adecuaciones pertinentes para que los repuestos sea posible conseguirlos actualmente, la otra parte del trabajo será la elaboración de un software que pueda obtener datos del equipo es decir se obtenga las diversas mediciones a diferentes presiones y sean correctamente analizadas con los gráficos necesarios y las explicaciones adecuadas.

Como resultado de este trabajo se obtendrá datos más fiables y con menor error, una mayor rapidez en la absorción de la información en los estudiantes y verificar lo aprendido en clase, además se modernizará el equipo de laboratorio manteniendo la educación de punta que ha mantenido la Escuela Politécnica del Ejército.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El equipo cilindro de pared gruesa TQ-SM111 no ha sido utilizado durante 10 años, el equipo presenta una inestabilidad en las galgas y en otras no tiene medida; el sistema actual de adquisición de datos consta únicamente de un medidor de deformaciones unitarias, esto será reemplazado por un sistema de adquisición de datos por computadora, así como serán reparadas todas las galgas afectadas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. GENERAL

El objetivo general de la presente tesis es:

- Rehabilitar y actualizar el equipo CILINDRO DE PARED GRUESA TQ – SM 111.

1.3.2. ESPECIFICOS

Los objetivos específicos para la presente tesis son:

- Estudiar y Seleccionar las alternativas viables para la resolución del problema.
- Seleccionar y diseñar el hardware y software requerido por el quipo para su adecuado funcionamiento.
- Efectuar pruebas de funcionamiento, puesta a punto y calibración de la máquina, y a partir de ahí obtener las conclusiones y recomendaciones que surjan durante el avance paulatino del ideal.

1.4. ALCANCE

El alcance de la presente tesis se limita a la reparación y el adecuado funcionamiento del equipo con el respectivo diseño y programación de un software con este fin, se elaboraran además los respectivos manuales de uso da cada uno de los equipos se construyan con este fin, así como uno general para el equipo de la tesis.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

El equipo propiedad de la ESPE, estaba fuera de operación, los estudiantes de ingeniería mecánica y civil que reciben la materia conocen la teoría pero no reciben su parte práctica.

Además el equipo presenta resultados numéricos que los alumnos deben interpretar manualmente aumentando el tiempo de análisis, con la incorporación del software adecuado se puede resolver este inconveniente ampliando inclusive el análisis pertinente.

El equipo es de la década de los ochenta, los actuales incorporan computadoras y el análisis respectivo, por lo cual es importante la actualización de este equipo, llevando así la punta en tecnología de equipos de laboratorio sobre el resto de universidades.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. DEFORMACIONES

2.1.1 CONCEPTOS GENERALES

La deformación unitaria se define como el alargamiento producido por unidad de longitud original del elemento.

$$\varepsilon = \frac{d\delta}{dL} \quad (2.1.)$$

Y definimos como coeficiente de Poisson a la siguiente expresión:

$$\nu = \frac{\text{deformación unitaria lateral}}{\text{deformación unitaria axial}} \quad (2.2.)$$

El módulo de elasticidad (también conocido como módulo de Young) se lo define como una constante de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria, como podemos ver en la fórmula siguiente:

$$\sigma = E.\varepsilon \quad (2.3.)$$

2.1.2. STRAIN GAUGE

Los strain gauge también conocidos como extensómetros eléctricos son elementos que por la variación de su resistencia miden pequeñas deformaciones. Entre los tipos de strain gauge que se dispones están:

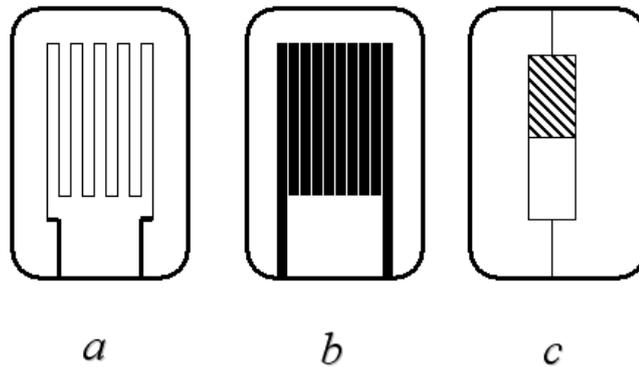


Fig. 2.1. Tipos de strain gauge: a) Alambre b) Láminas c) Semi-conductores

Alambre.- Son los más utilizados, debido a su tamaño pequeño y fácil uso e instalación, también se las conoce como galgas de resistencia eléctrica.

Láminas.- También bastante conocidos y usados en el medio, los strain gauge de láminas ocupan mayor tamaño a los anteriores pero y de estructuras mucho más complejas.

Semi-conductores.- Los strain gauge hechos de semi-conductores son más especializados que los anteriores, pueden medir deformaciones mucho más pequeñas pero son más sensibles a las temperaturas además de tener precios elevados.

2.1.2.1. Formulación Matemática.

Es necesario dar una explicación acerca del fundamento matemático de un strain gauge.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1.4.)$$

Donde:

R = Resistencia del strain gauge.

ρ = Resistividad.

L = Longitud

A = Área

La resistividad únicamente cambia de material a material. En los semiconductores esta situación puede variar debido a que también depende del tipo de carga que se agregó.

La relación existente entre esfuerzo y resistencia es casi lineal, y la constante de relación se conoce con el nombre de "factor de sensibilidad", en la galga se lo conoce como factor "K", el cual está determinado por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} \quad (2.5.)$$

Este valor se encuentra típicamente entre los valores de 2 a 4 y depende del tipo de galga.

2.1.2.2. Strain gauge métodos adhesivos.

Los extensómetros son dispositivos que deben estar unidos "íntimamente" al elemento a sensar, es por ende que esta acción es particularmente importante, debido a que algún error en el pegado tal como: burbuja, impureza, falla, etc. podría originar lecturas erróneas con lo cual las mediciones resultantes serían falsas.

A continuación se examinarán la técnica recomendada en el laboratorio de resistencia para el preparado de la superficie así como el pegado de la galga

2.1.2.2.1. Preparación de la Superficie

La preparación de la superficie tiene como fin el adquirir una superficie químicamente limpia, con una rugosidad superficial ideal para la galga, un Ph neutro, y una orientación de la galga con el trazado de líneas de referencia . Lo cual se reduce a cinco operaciones:

1. Desengrasado
2. Lijado
3. Trazado de ejes
4. Acondicionador
5. Neutralizador

Para la adecuada preparación de la superficie se recomienda tener en mente las siguientes precauciones:

- No tocar la superficie con los dedos
- No rehusar los pañuelos para la limpieza y siempre en un mismo sentido.
- No dejar pasar mucho tiempo para que las soluciones pierdan su efecto sobre el área.
- No demorarse en el pegado del extensómetro para luego continuar.
- Trabajar con las normas generales de precaución del laboratorio.

2.1.2.2.2. Pegado de las Galgas

El pegado de la galga es una parte esencial en el proceso, para la medición con la misma, después de una selección adecuada del tipo de galga que necesitamos se selecciona el pegamento, a continuación cito las principales características que debe cumplir la goma:

- Que la goma tenga una contextura uniforme al momento de aplicarse.

- Que no produzca efectos secundarios ni con el material base ni con el material de respaldo de la galga.
- Que resista la variación requerida de temperatura.
- Que su deformación se ha linealmente, y tenga una baja histéresis.
- Que no tenga que mezclarse dos componentes para producir la goma.
- Que el tiempo de secado se ha reducido.
- Que no entorpezca el funcionamiento de la galga, que se ha elástico.
- Que su vida útil se ha larga.

Actualmente en el mercado no existe una goma que satisfaga en su totalidad las características arriba expuesta, pero el mercado cuenta con gomas que proporcionan en la mayoría de casos los requerimientos necesarios para un adecuado uso sobre galgas.

A continuación sito el procedimiento general para el pegado de galgas:

Manejo y Preparación

Para el manejo y preparación hay que seguir el siguiente procedimiento:

1. La superficie se debe encontrar preparada y químicamente limpia (si accidentalmente se ha contaminado alguna superficie, se debe limpiar con una gasa humedecida con neutralizador o alcohol isopropílico y esperar hasta que este por completo seco).
2. Por medio de unas pinzas, removemos la galga de su cubierta de acetato y lo colocamos sobre un vidrio, cabe recalcar que tanto los instrumentos de manejo como las zonas para asentar las galgas deben estar previamente desengrasadas, con lo contactos de suelda para la parte de arriba (como se muestra en la figura 2.2.).

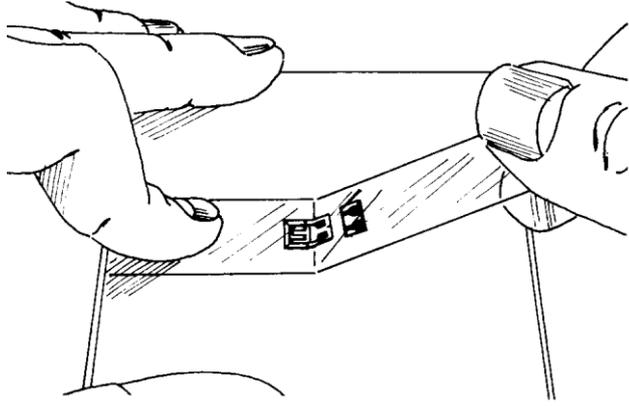


Fig. 2.2. Colocación de Galgas

3. Con una cinta de celofán pegada a un extremo del vidrio adhiera las galga y los contactos de la misma en el celofán; luego despéguela cuidadosamente sin exceder los 45° hasta que esta quede libre
4. A continuación situé las marcas de la galga (unos pequeños triángulos que esta posee) sobre los ejes antes trazados en la preparación de la superficie, en caso de no cuadrar bien la galga regrese el punto anterior y repita el procedimiento.

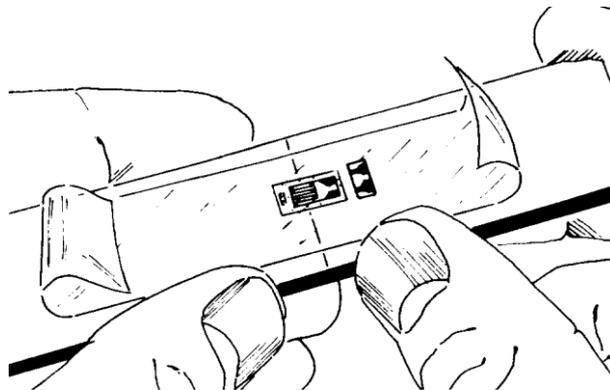


Fig. 2.3. Colocación de Galgas

5. Procedemos a levantar el filo de la cinta contrario a la ubicación de las terminales de la galga, como se muestra en la figura 1.4. , y dejando el extremo de la cinta al otro lado como se muestra en la figura.

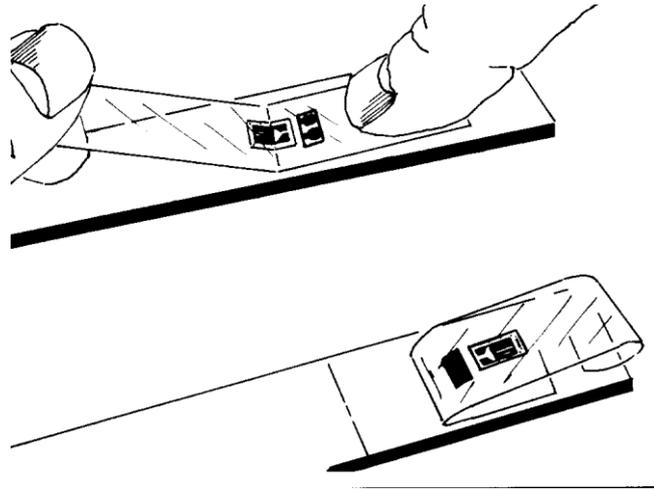


Fig. 2.4. Colocación de Galgas

Pegado

Para el pegado hay que seguir el siguiente procedimiento:

1. Para la aplicación de la goma se necesita un adecuado dispersor con el cual se pondrá en forma uniforme sobre la cara de la galga y las terminales; y se debe dejar secar por unos minutos.

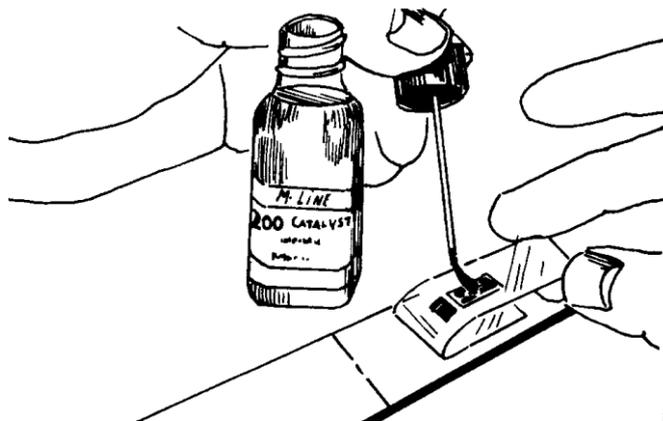


Fig. 2.5. Pegado de Galgas

2. A continuación mantenga la cinta tensa como se muestra en la figura, y con la ayuda pañuelo, aplica presión hacia abajo tratando de que el pegamento vaya hacia arriba y recorra toda la galga, hasta que se complete en su totalidad la extensión del cinta.

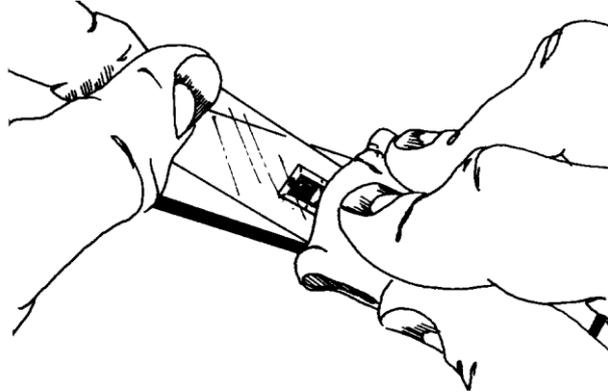


Fig. 2.6. Pegado de Galgas

3. A continuación aplicar presión con el dedo como se muestra en la figura , sobre la galga y la terminal, por unos cuantos minutos.

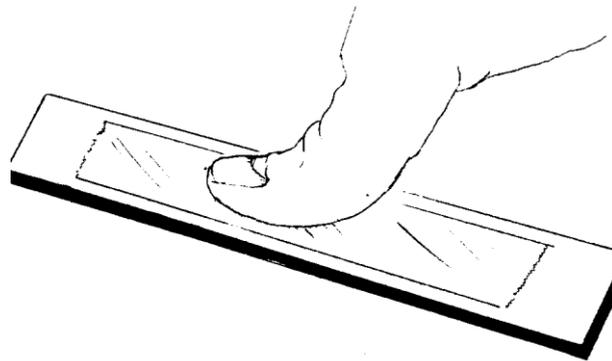


Fig. 2.7. Pegado de Galgas

4. Tanto la galga como los terminales de la misma deben ya estar adheridos al material, y únicamente se procede a retirar la cinta tal como se indica en la figura.

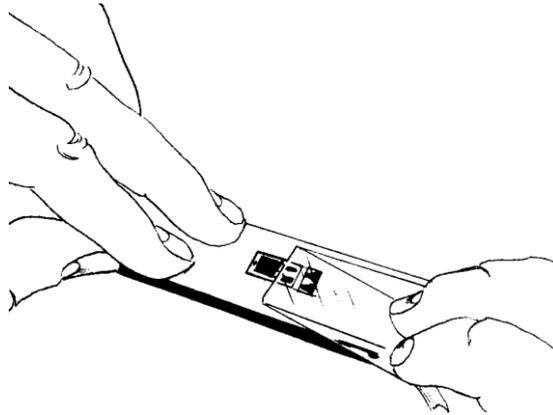


Fig. 2.8. Pegado de Galgas

Soldadura

Para la soldadura de los terminales hay que seguir el siguiente procedimiento:

1. La galga deberá cubrirse con cinta, únicamente se dejarán visibles los terminales de la galga.
2. Se calienta el caudín, se procede a limpiar la punta y se la estaña con un poco de soldadura; a continuación se estaña las puntas de los cables
3. A continuación se depositan puntos de suelda sobre los terminales para lo cual el estaño de estar transversal.
4. A continuación con un multímetro se debe verificar la continuidad y resistencia de la galga, verificando que este dentro de los datos que da el fabricante
5. Finalmente se protege la instalación, generalmente es aconsejable protegerlo con el producto que recomienda el fabricante, a menos claro esta que este sometida algún tipo especial de ambiente.

2.1.2.3. Recomendaciones en la instalación de Strain gauge.

Para un uso correcto en los strain gauge se recomienda seguir las siguientes sugerencias:

- Asegúrese que la superficie en donde se van a pegar los strain gauge esté limpia.
- De tiempo suficiente para que la goma en los strain gauge se seque y adhiera perfectamente.
- El factor de celda de los strain gauge debe ser alto, porque al tener un valor elevado se tiene y permite un mejor desempeño.
- Cuando se necesite medir en un elemento, las deformaciones unitarias es más conveniente utilizar una roseta de deformaciones que varios strain gauge en el elemento.
- La selección de la goma y tipo de strain gauge debe estar sujeto a las condiciones del equipo y del ambiente como por ejemplo: a que temperatura se va a trabajar, la humedad ambiental, el voltaje y esfuerzo que recibirá el strain-gauge.

2.1.3. PUENTE DE WHEATSTONE.

El puente de wheanstone (Fig.2.9.) presenta algunas características específicas que nos sirven para las galgas, las cuales sito a continuación:

- Las variaciones de $\Delta R/R$ en brazos continuos del circuito, se restan cuando ambos tienen el mismo signo ; cuando tienen signos contrarios, éstos son sumados.
- Por el contrario, los cambios en brazos opuestos son sumados cuando tienen el mismo signo, y se cancelan cuando son de signos opuestos.
- Con los dos puntos expuestos anteriormente se puede concluir que con el puente de Wheatstone se puede lograr compensaciones por temperatura, con lo cual se lograría una ganancia en la señal de salida.

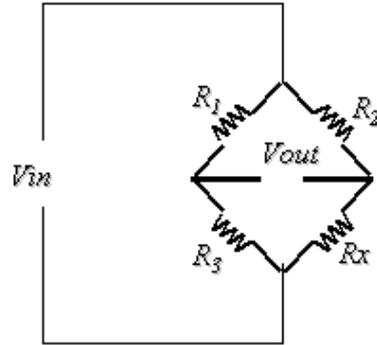


Fig. 2.9. Puente de Wheatstone

Como se indica en la figura se puede conectar un galvanómetro y medir el voltaje de salida del circuito, en el grafico se puede ver una aplicación del puente que es el detectar el valor de una resistencia desconocida conociendo las tres otras resistencias con la fórmula que se indica a continuación:

$$R_x = R_3 * \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2.7.)$$

2.1.3.1. Configuraciones del puente de Wheatstone con las galgas.

2.1.3.1.1. Cuarto de Puente

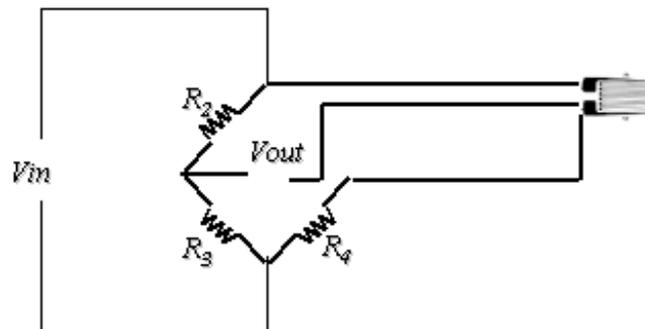


Fig. 2.10. Cuarto de Puente

2.1.3.1.2. Medio Punte

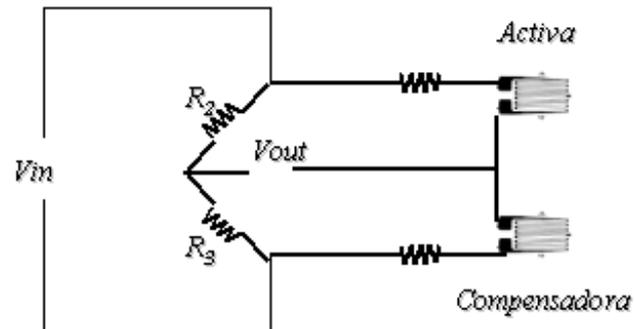


Fig. 2.11. Medio Punte

2.1.3.1.3. Punte Completo

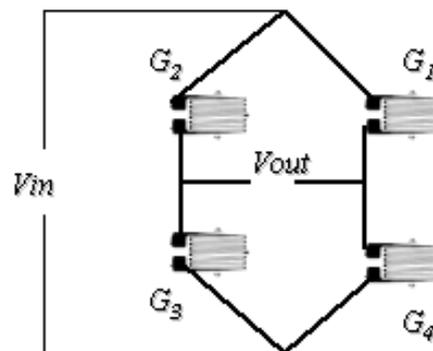


Fig. 2.12. Punte Completo

2.2 ANÁLISIS EN CILINDROS DE PAREDES GRUESAS.

La principal diferencia que se debe realizar en cuanto al análisis de cilindros de paredes gruesas con respecto al de paredes delgadas es que se toma en cuenta el esfuerzo radial debido a que este se hace apreciable a medida que el espesor de pared del cilindro es mayor. A continuación se

explica la deducción de las fórmulas que rigen el comportamiento teórico de este caso.

2.2.1. CASO GENERAL (CILINDRO CON PRESIÓN INTERNA Y EXTERNA)

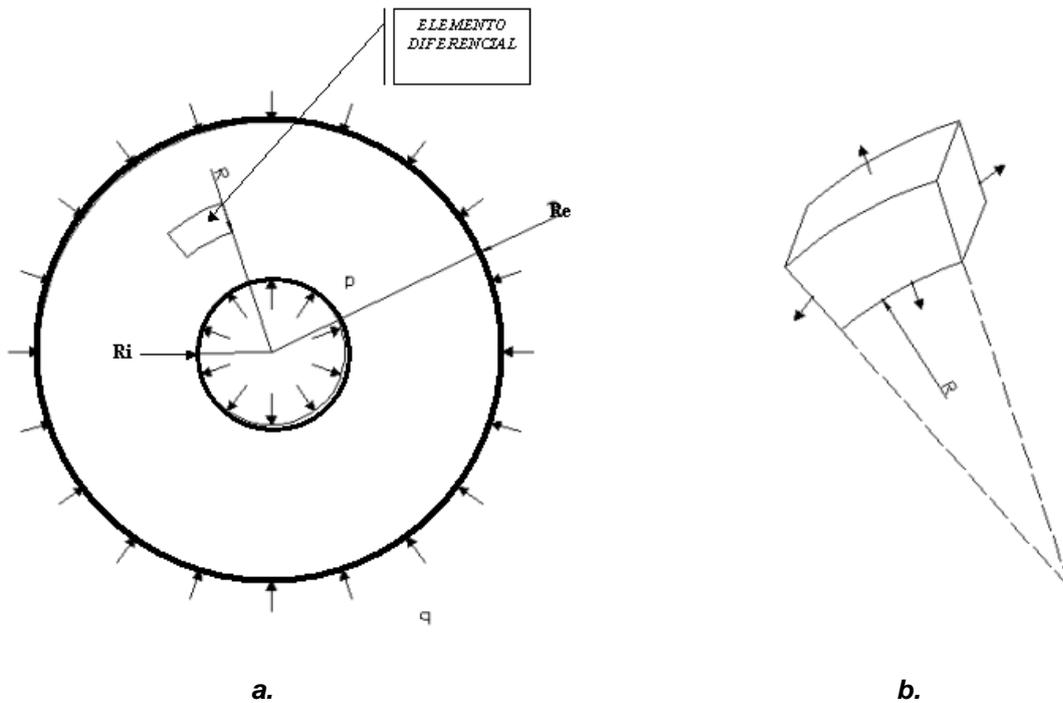


Fig. 2.13. a. Análisis en el cilindro de pared gruesa b. Elemento diferencial

Por el elemento diferencial de la figura se deduce que:

$$\frac{d(r\sigma_r)}{dr} d\theta \cdot dr - 2 \cdot \theta \cdot dr \cdot \text{sen} \frac{d\theta}{2} = 0$$

Si se conoce que $\text{sen } x = x$ para ángulos pequeños en radianes

$$\theta_i = \frac{d(r\theta r)}{dr}$$

El desplazamiento radial u , las relaciones deformación desplazamiento son:

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr} \quad \text{y} \quad \varepsilon_t = \frac{u}{r}$$

Por ende tenemos:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \nu \cdot \sigma_t)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E}(\sigma_\theta - \nu \cdot \sigma_t)$$

donde se desprecia el esfuerzo radial. Se obtiene la solución mediante las condiciones de límite que es la presión interna y la presión externa de la siguiente manera:

$$\frac{du}{dr} = \frac{1}{E}(\sigma_r - \nu \sigma_t)$$

$$u = \frac{r}{E}(\sigma_t - \nu \sigma_r)$$

Las dos ecuaciones se combinan para eliminar u y se obtiene:

$$r \frac{d\sigma_\theta}{dr} - \nu r \frac{d\sigma_r}{dr} + (1 + \nu)(\sigma_t - \sigma_r) = 0$$

Combinando esta ecuación con la ecuación de desplazamiento radial se obtiene:

$$\frac{d^2 \sigma_r}{dr^2} + \frac{3}{r} \frac{d\sigma_r}{dr} = 0$$

Solucionando la ecuación diferencial se obtiene:

$$\sigma_r = C_1 + \frac{C_2}{r^2}$$

Poniendo las condiciones de borde se obtiene las fórmulas de los esfuerzos y desplazamiento las cuales son:

$$\sigma_r = \frac{-Ri^2 p \left(\frac{Re^2}{r^2} - 1 \right) - Re^2 q \left(1 - \frac{Ri^2}{r^2} \right)}{Re^2 - Ri^2}$$

$$\sigma_t = \frac{Ri^2 p \left(\frac{Re^2}{r^2} + 1 \right) - Re^2 q \left(1 + \frac{Ri^2}{r^2} \right)}{Re^2 - Ri^2} \quad (2.8.)$$

$$u = \frac{r(1-\nu)(Ri^2 p - Re^2 q) + (1+\nu)(p-q) \frac{Ri^2 Re^2}{r}}{E(Re^2 - Ri^2)} \quad (2.9.)$$

2.2.2 CASO ESPECÍFICO (CILINDROS ÚNICAMENTE CON PRESIÓN INTERNA)

Si la presión externa es cero podemos reducir las ecuaciones anteriores a lo siguiente:

$$\sigma_r = \frac{Ri^2 p}{Re^2 - Ri^2} \left(1 - \frac{Re^2}{r^2} \right) \quad (2.10.)$$

$$\sigma_t = \frac{Ri^2 p}{Re^2 - Ri^2} \left(1 + \frac{Re^2}{r^2} \right) \quad (2.11.)$$

2.2.3 ESFUERZO LONGITUDINAL

En este momento se considera en cambio la sección transversal del cilindro:

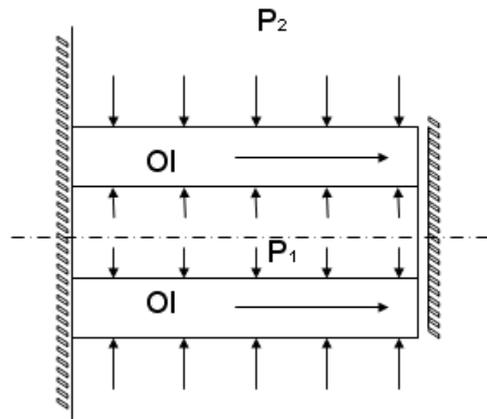


Fig. 2.14. Análisis del esfuerzo longitudinal en el cilindro de pared gruesa

Se realiza el equilibrio de fuerzas por ende tenemos:

$$P_1 \times \pi a^2 - P_2 \times \pi b^2 = o_l \times \pi (R_e^2 - R_i^2)$$

Agrupando tenemos:

$$o_l = \frac{P_1 R_i^2 - P_2 R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} \quad (2.12.)$$

En el caso específico de solo haber Presión interna se tiene lo siguiente:

$$o_l = \frac{P R_i^2}{R_e^2 - R_i^2} \quad (2.13.)$$

2.3 CÁLCULOS A REALIZARSE.

Para realizar los cálculos ya sean prácticos o teóricos se utilizarán las siguientes fórmulas.

ESFUERZOS TEÓRICOS

Se aplican las siguientes fórmulas

$$\sigma_r = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 - \frac{Re^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 + \frac{Re^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_l = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2}$$

ESFUERZOS PRÁCTICOS

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} (\nu \cdot \varepsilon_t + \varepsilon_r)$$

$$\sigma_t = \frac{E}{1-\nu^2} (\nu \cdot \varepsilon_r + \varepsilon_t)$$

$$\sigma_l = \frac{\varepsilon_l \cdot E}{-2\nu}$$

ERROR PORCENTUAL ENTRE EL ESFUERZO TEÓRICO Y PRÁCTICO

$$E\% = \frac{VT - VR}{VT} \cdot 100$$

2.4 GRÁFICAS REQUERIDAS.

2.4.1. GRÁFICA DE ESFUERZOS

Esfuerzos Radial y Circunferencial

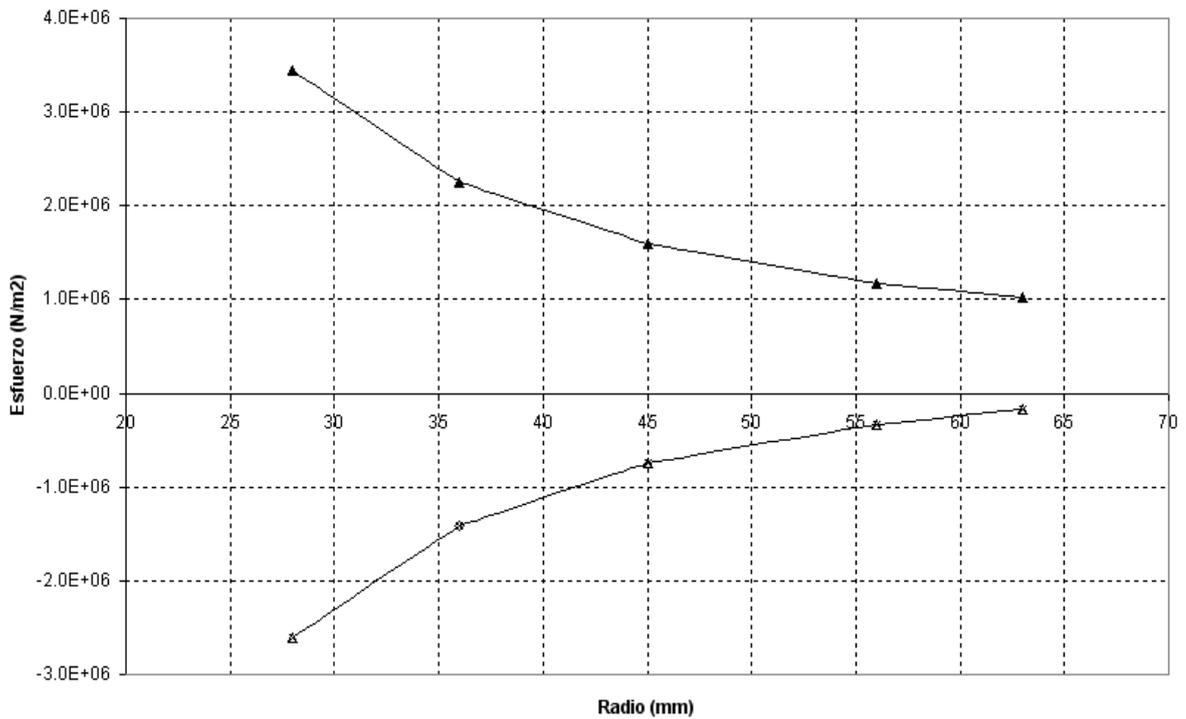


Fig. 2.15. Gráfica del esfuerzo radial y longitudinal

Como se puede ver en la gráfica el esfuerzo tangencial esta en la parte superior debido al signo positivo y decrece en forma que aumenta el radio en el cilindro, el radial en cambio se encuentra en la parte inferior debido a que se produce un “adelgazamiento” de las paredes en dirección radial. Como se puede notar los esfuerzos al aumentar la dimensión del radio (o el área) van reduciéndose.

2.4.2. RECTA DE LAME

Las rectas de lame no son más que las gráficas resultantes de las ecuaciones contra $1/r^2$, de lo cual se obtiene las gráficas mostradas:

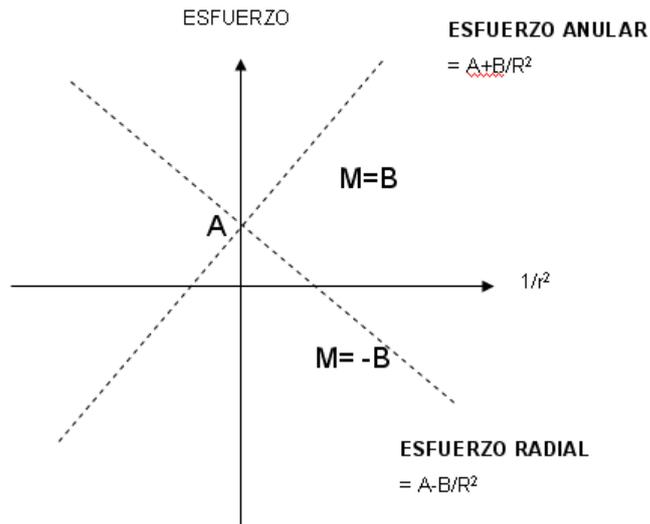


Fig. 2.16. Recta de Lamé

Las líneas únicamente se diferencian en el signo de las pendientes. Las dos gráficas se pueden unir en una sola como se muestra en la figura:

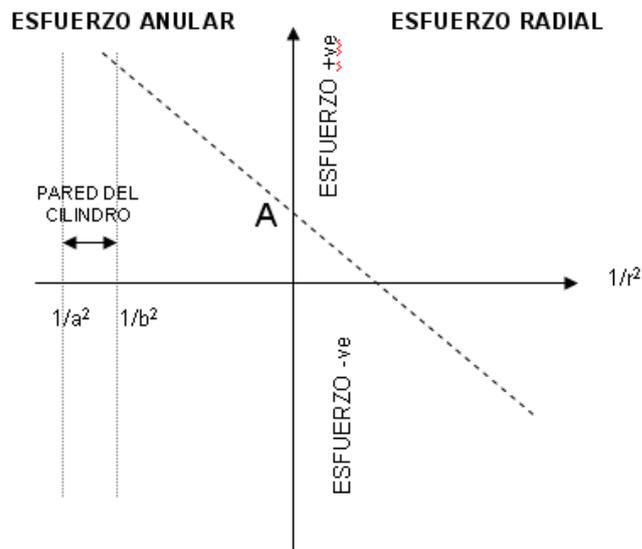


Fig. 2.17. Recta de Lamé

En el caso expuesto, cuando únicamente existe presión interna se obtiene la gráfica siguiente:

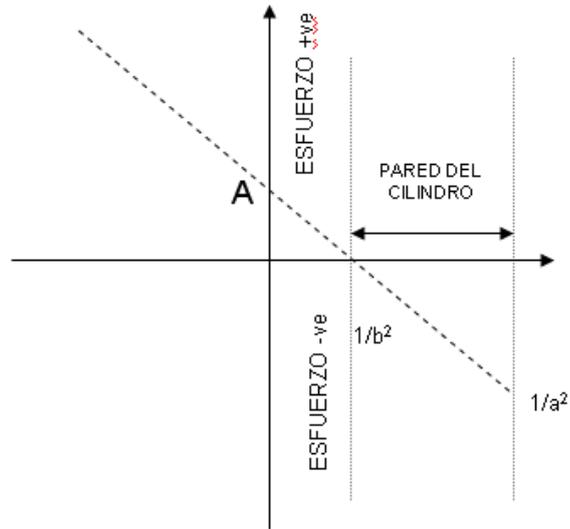


Fig. 2.18. Recta de Lamé

Los valores exactos no se pueden tomar directamente de la grafica es recomendable hacer mas bien una semejanza de triángulos con mayor precisión.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MÁQUINA

3.1. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE FUNCIONAMIENTO

Para entender el sistema de funcionamiento, es necesario describir el equipo y sus componentes, estos últimos se muestran en la figura 3.1.

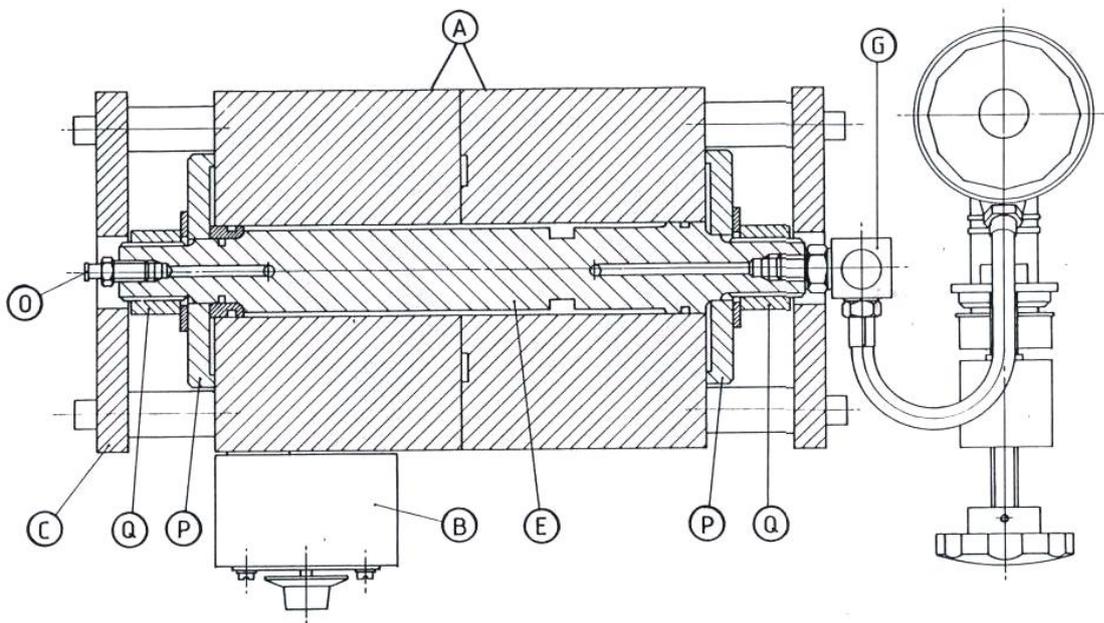


Fig. 3.1. Esquema de la máquina¹

A continuación se detallan los elementos expuestos en la gráfica:

- A.** Las dos partes del cilindro en donde se encuentran los strain gauges.
- B.** La caja de controles en donde se encuentra el selector y la circuitería necesaria.
- C.** Estructura de soporte del cilindro.

¹ Fuente: Manual de Operaciones del equipo TQ-SM111

E. La barra central, es usada para transmitir el aceite a lo largo del cilindro.

G. Toma para el manómetro.

P. Tapas de seguridad, previenen fugas de aceite en el equipo.

Q. El cierre de las tapas a presión.

3.1.1. SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico esta representado en la figura 3.2.

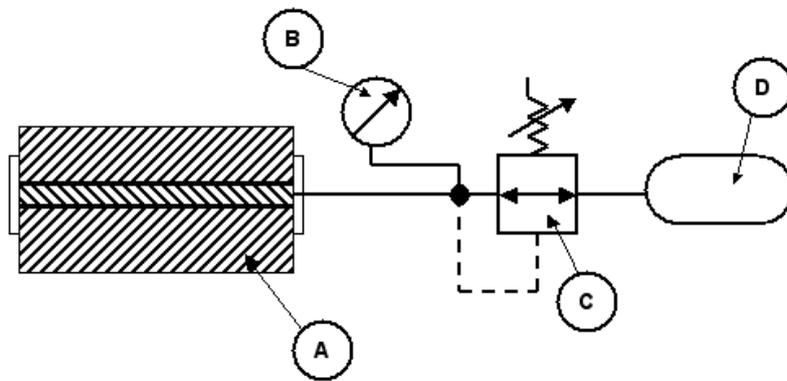


Fig. 3.2. Sistema Hidráulico

Los elementos de este son:

- A. Cilindro de Pared Guesa
- B. Manómetro tipo Burdoom.
- C. Regulador de Presión.
- D. Reservorio de aceite.

El funcionamiento es sencillo, al cerrar la válvula se aumenta la presión interna del reservorio elevando al mismo tiempo la presión en el cilindro la cual es medida a la entrada por el manómetro, la presión máxima que soporta el equipo es de 7.58 MPa.

3.1.2. SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico proporcionado por el fabricante esta representado en la figura 3.3.

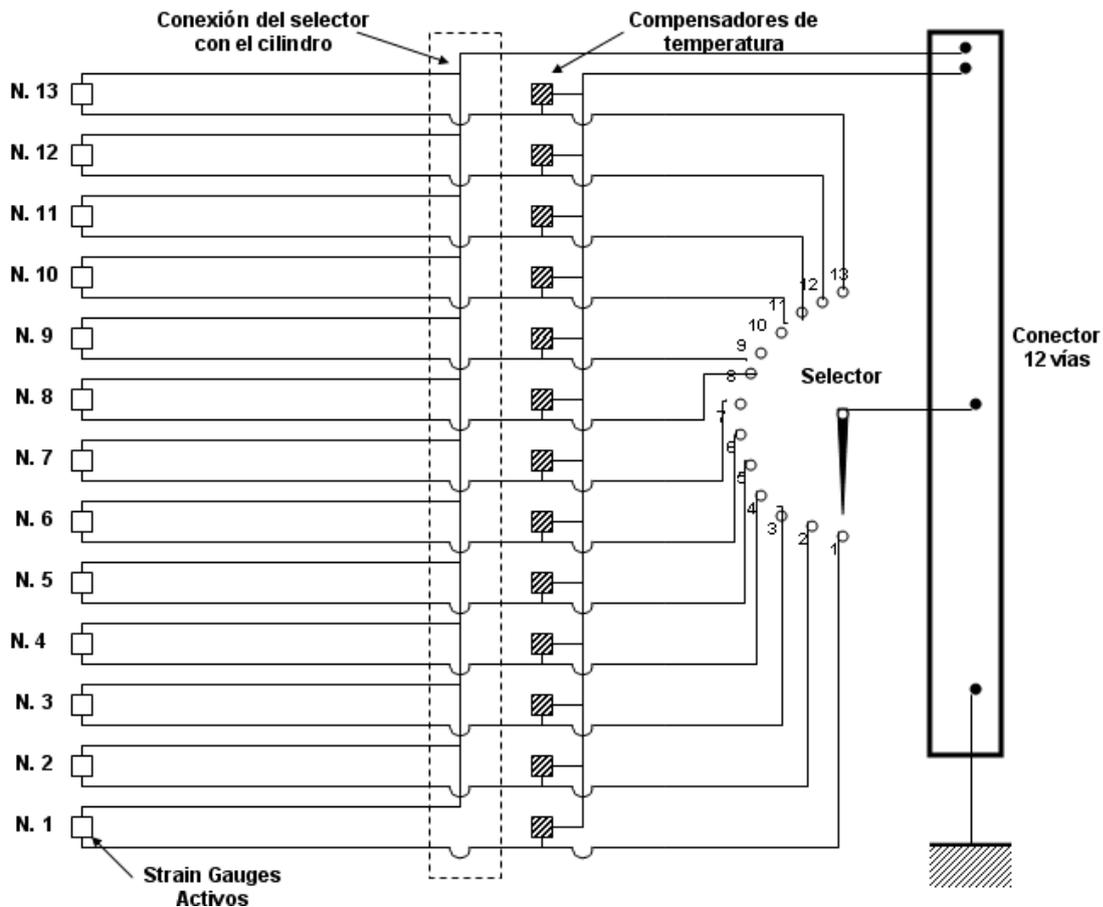


Fig. 3.3. Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico como se puede apreciar esta compuesto de los siguientes elementos:

- Compensadores de temperatura (ver capítulo 2)
- Strain Gauges activos (miden la deformación que se produce en el cilindro).
- Un selector de trece vías.

3.1.3. SISTEMA DE MEDICIÓN

El sistema de medición consta de dos partes, la primera que son los strain gauges que están dispuestos en el cilindro como se muestra en la figura 3.4.

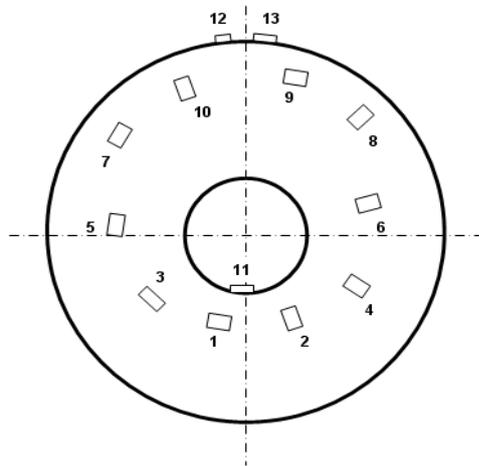


Fig. 3.4. Disposición de los Strain Gauges

TABLA 3.1. Disposición de Strain Gauges en el cilindro

Orden	Radio (mm.)	Tipo
1	28	Tangencial
2	28	Radial
3	36	Tangencial
4	36	Radial
5	45	Tangencial
6	45	Radial
7	56	Tangencial
8	56	Radial
9	63	Tangencial
10	63	Radial
11	18.5	Circunferencial
12	75	Longitudinal
13	75	Circunferencial

Fuente: Manual de operaciones del equipo TQ-SM111

Y la segunda parte que consta del medidor de deformaciones unitarias el adaptador y la conexión en medio puente².

3.2. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE PROCESO

La principal variable en el proceso es la presión y por lo cual es necesario conocer las curvas teóricas de esfuerzos que se obtienen:

3.2.1. GRÁFICA DE DEFORMACIONES

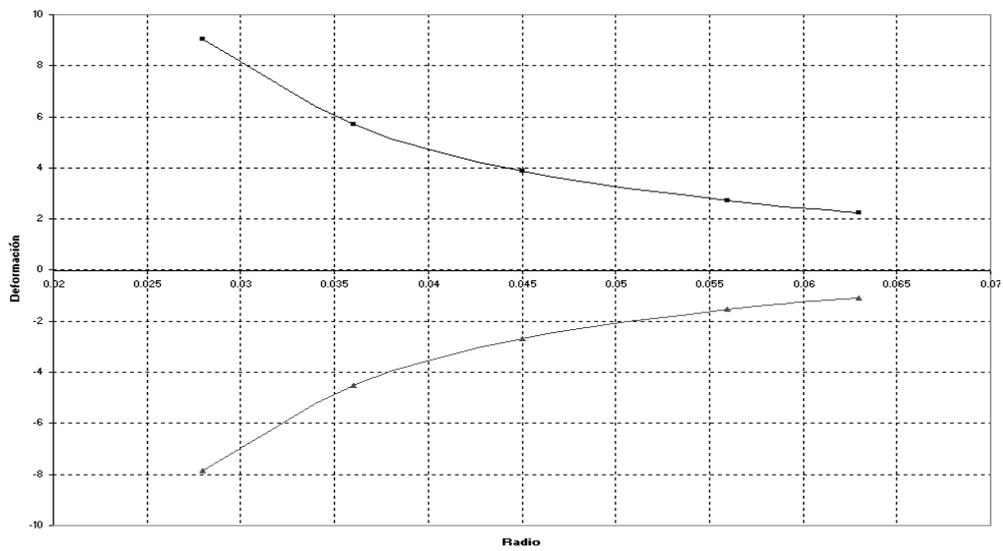


Fig. 3.5. Gráfica de deformaciones a 1 MPa

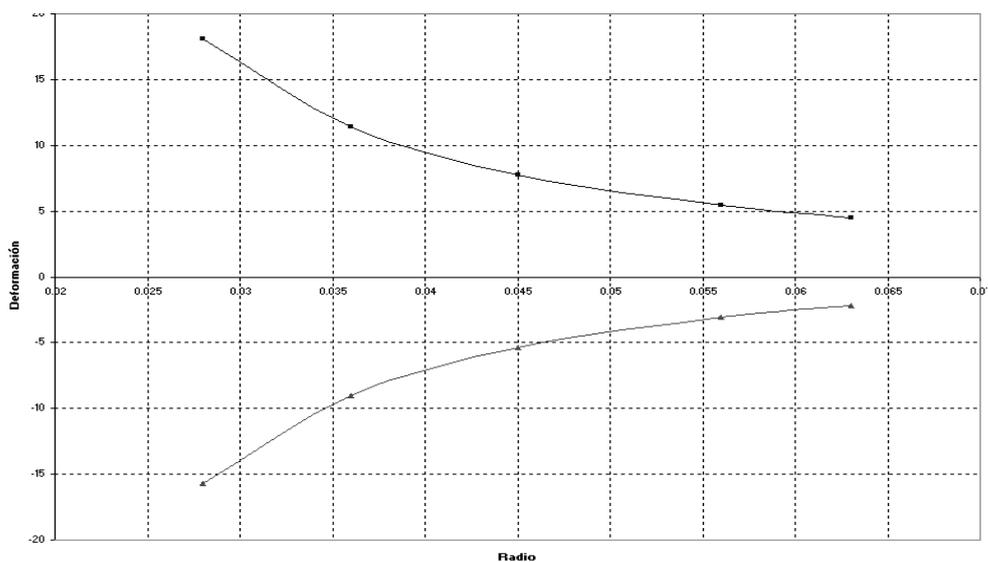


Fig. 3.6. Gráfica de deformaciones a 2 MPa

² Revisar el capítulo 2

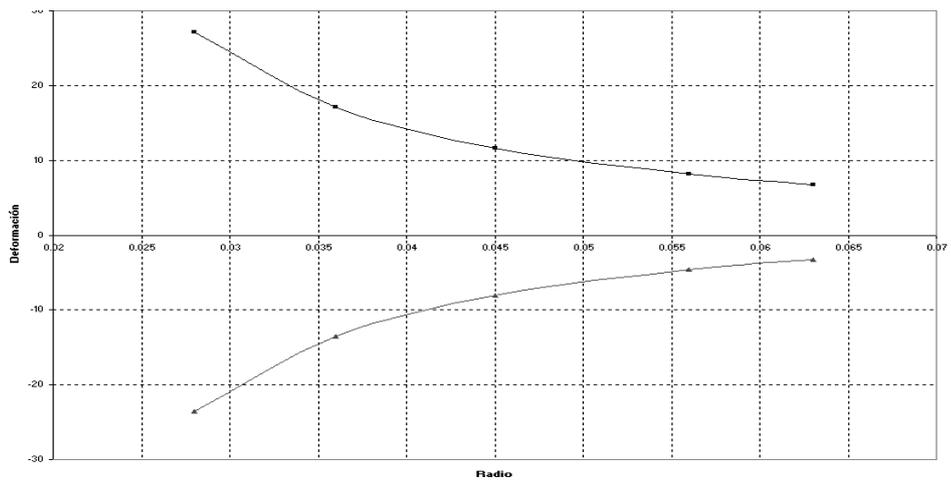


Fig. 3.7. Gráfica de deformaciones a 3 MPa

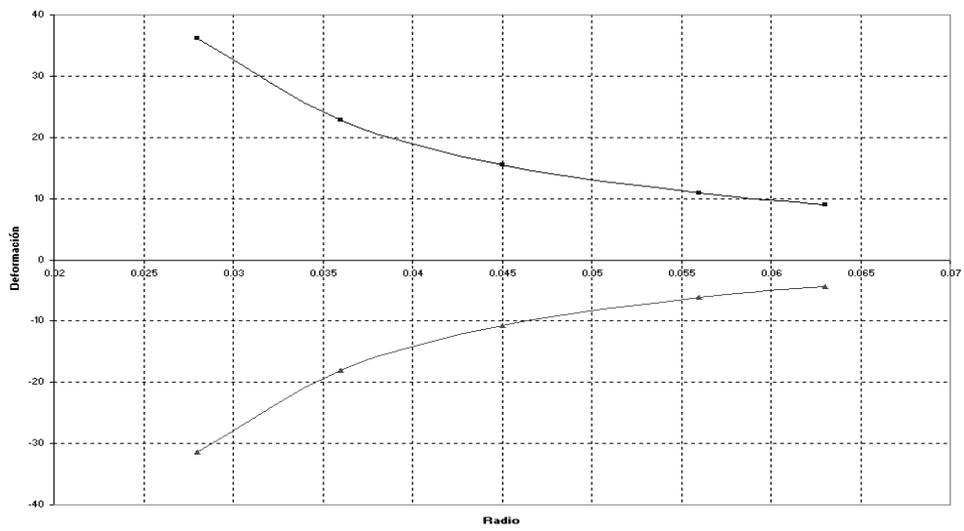


Fig. 3.8. Gráfica de deformaciones a 4 MPa

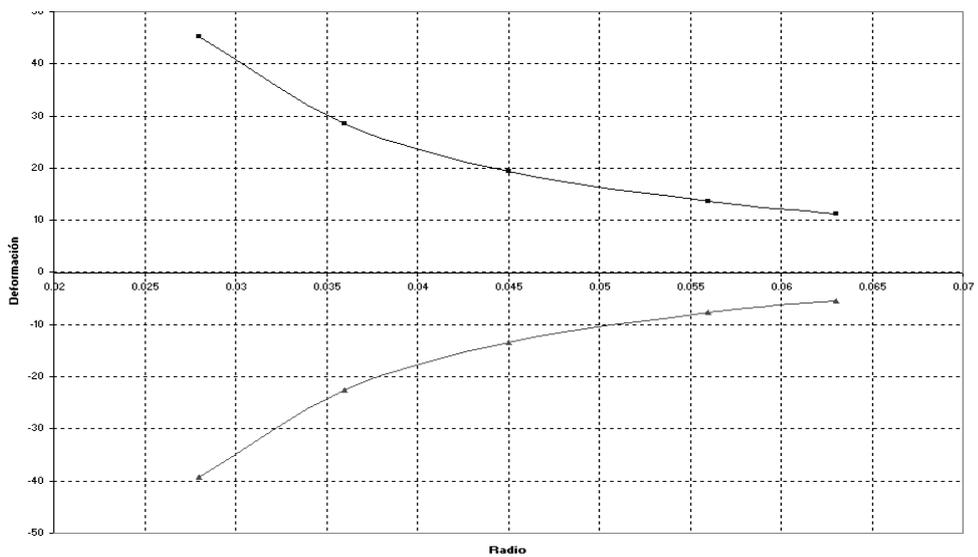


Fig. 3.9. Gráfica de deformaciones a 5 MPa

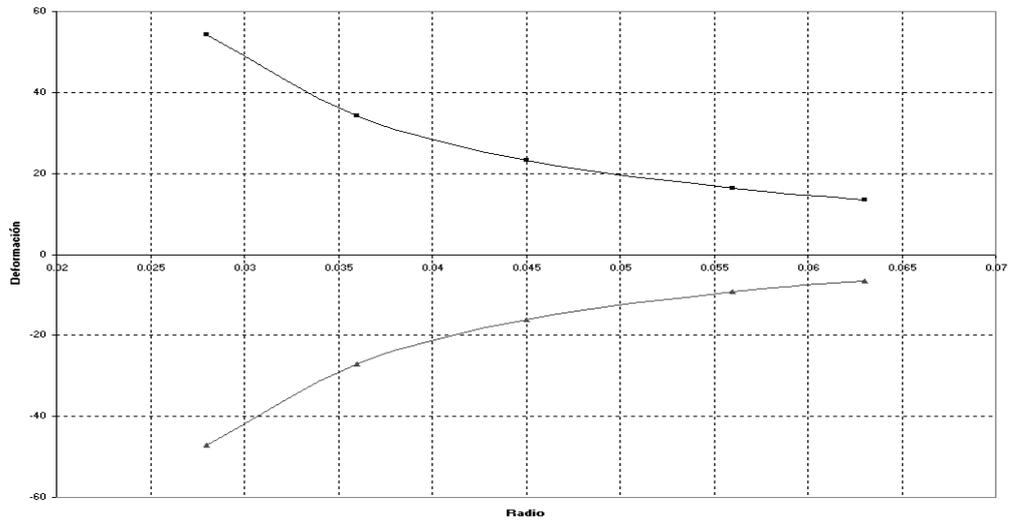


Fig. 3.10. Gráfica de deformaciones a 6 MPa

3.2.2. Gráfica de Esfuerzos

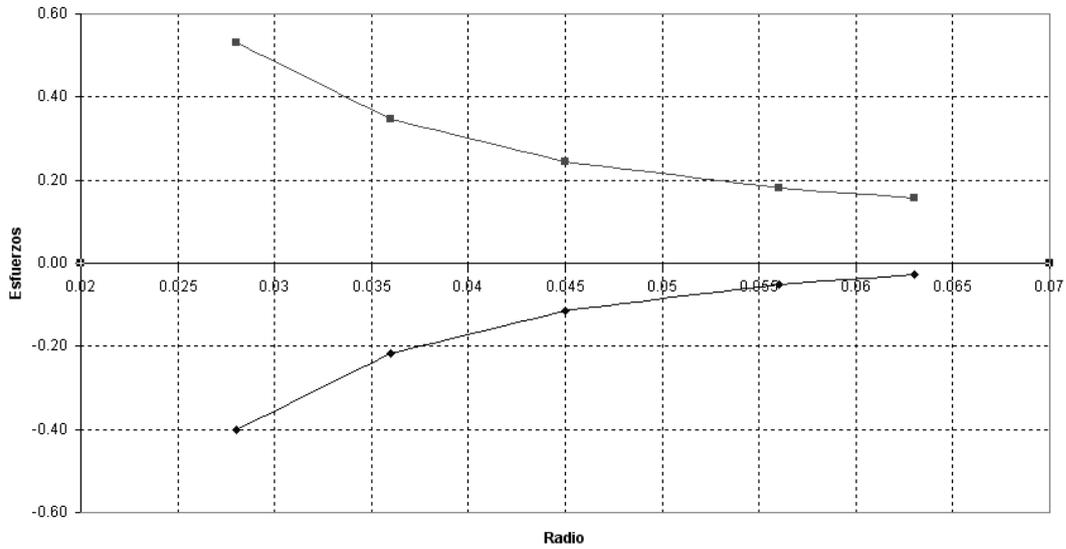


Fig. 3.11. Gráfica de esfuerzos a 1 MPa

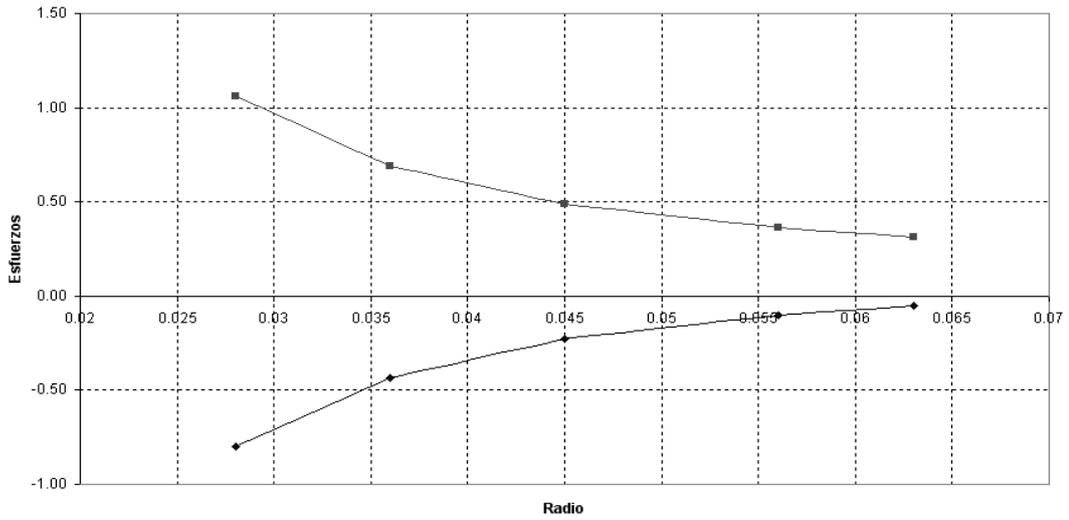


Fig. 3.12. Gráfica de esfuerzos a 2 MPa

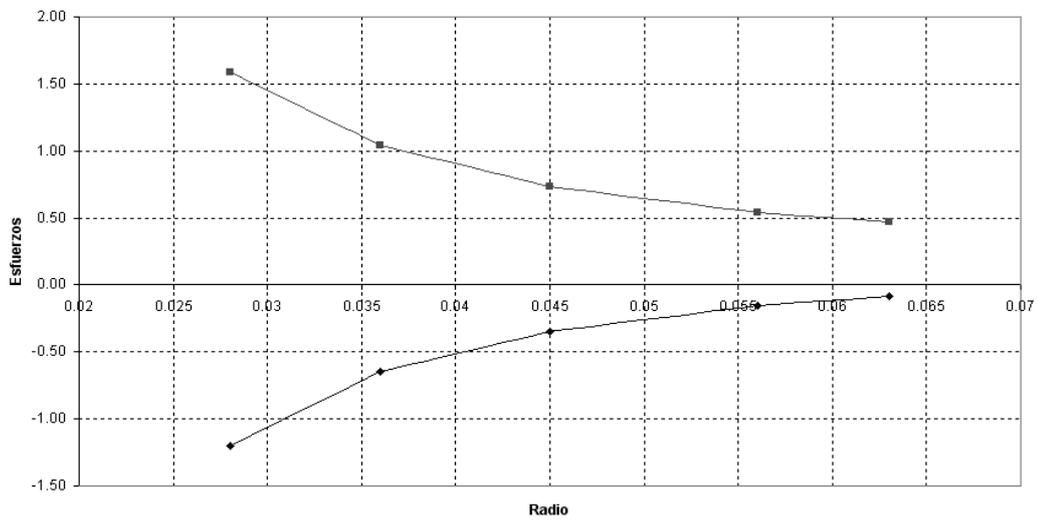


Fig. 3.13. Gráfica de esfuerzos a 3 MPa

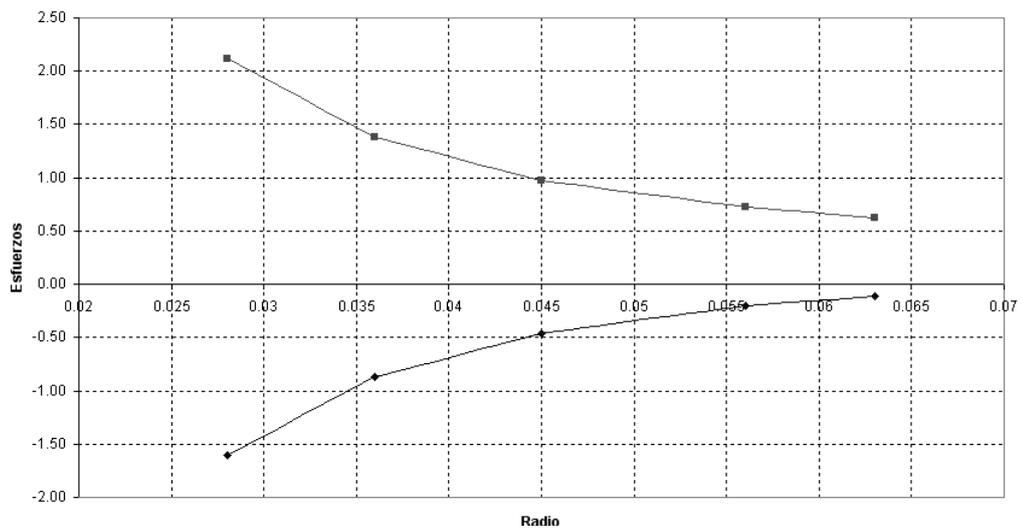


Fig. 3.14. Gráfica de esfuerzos a 4 MPa

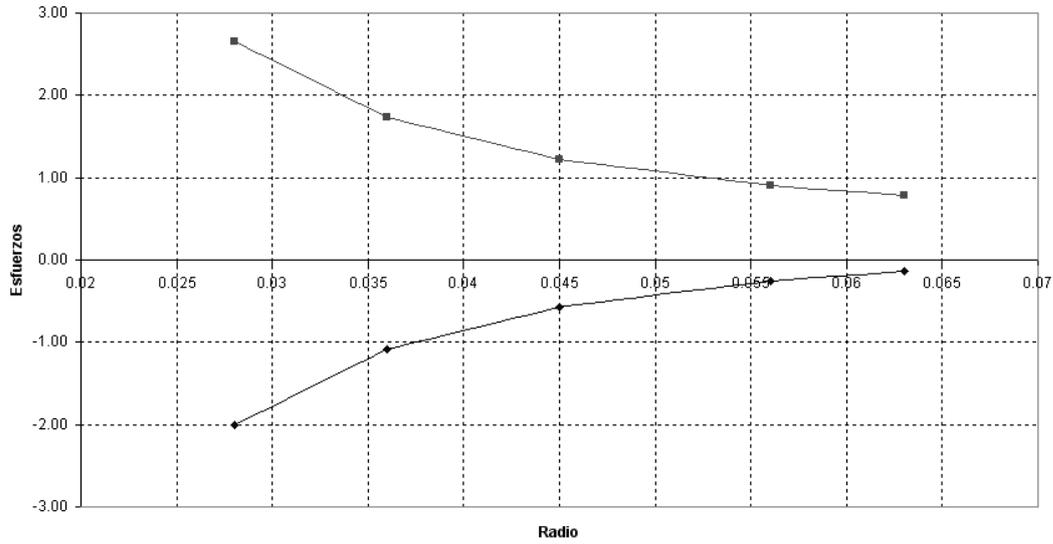


Fig. 3.15. Gráfica de esfuerzos a 5 MPa

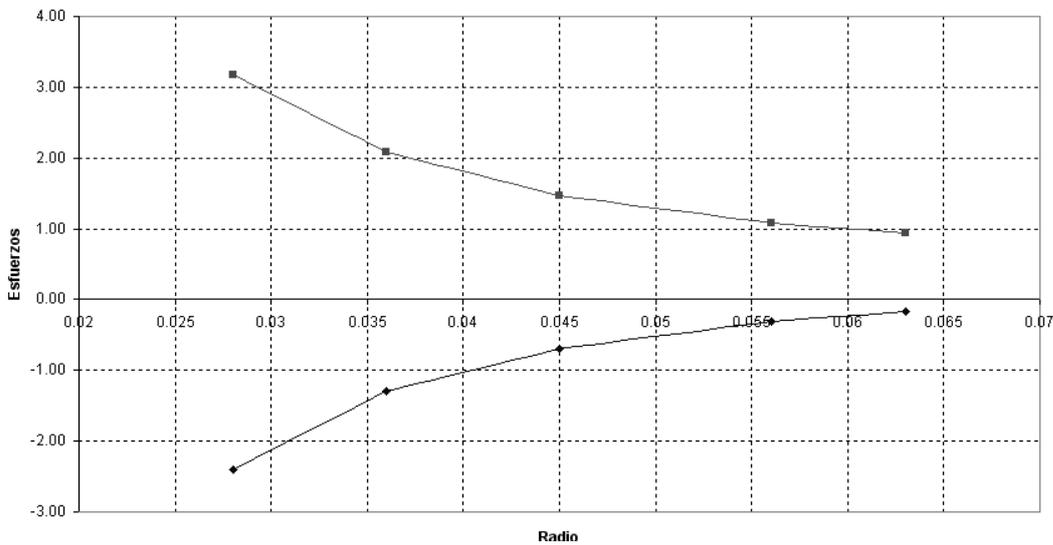


Fig. 3.16. Gráfica de esfuerzos a 6 MPa

3.3. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESO DE ENSAYO

3.3.1. PRUEBAS AL EQUIPO

Medición de resistencia en los straingauges

Esta prueba consiste en tomar las medidas de las resistencias tanto del straingauge actuante como el straingauge compensador de temperatura basado en el sistema eléctrico (Fig.3.3.).

Calibración del manómetro

La calibración del manómetro se realiza en el laboratorio de termodinámica en el equipo calibrador de manómetros ASMLER (Fig.3.17), el proceso de calibración se lo realiza por comparación, en donde el patrón es la fuerza ejercida sobre un pistón comparada con la medición del manómetro.



Fig. 3.17. Calibrador de manómetro ASMLER

Estabilidad en los strain gauges

La estabilidad de los strain gauges se lo toma con el medidor de deformaciones unitarias proporcionado por el laboratorio de resistencia de materiales, y por este método saber si una galga puede sensor una medida adecuada y no se cometerá errores en ella debido a la inestabilidad, la estabilidad permitida por el laboratorio es de ± 1 .

Medición de la deformación

A través del medidor de deformaciones unitarias se toman los valores prácticos del ensayo y se lo comprueba con los valores teóricos estos obtenidos por las fórmulas vistas en el capítulo 1 (esfuerzos y deformaciones unitarias).

Examinación Visual del equipo.

Se revisan las conexiones del equipo, así como las instalaciones del mismo y que se hallen en perfecto estado.

Radiografías del equipo.

A través de la radiografía del cilindro se sabrá la real disposición de las galgas al interior del cilindro.

3.3.2. DATOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS

Medición de resistencia en los straingauges

Como podemos ver en la siguiente página se presenta la medición de resistencia en cada una de las galgas.

N	Selector- Común Activo	Selector – Común Pasivo	Común Activo – Común Pasivo
1	66.6 Ω	66.6 Ω	22.9 Ω
2	142.6 Ω	120.6 Ω	22.9 Ω
3	66.4 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
4	66.4 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
5	66.5 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
6	142.6 Ω	120.6 Ω	22.9 Ω
7	72.4 Ω	70.6 Ω	22.9 Ω
8	66.5 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
9	66.5 Ω	66.5 Ω	22.9 Ω
10	66.3 Ω	66.3 Ω	22.9 Ω
11	66.3 Ω	66.3 Ω	22.9 Ω
12	66.3 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
13	66.6 Ω	66.5 Ω	22.9 Ω

Cuadro 3.1. Medición de resistencia en los Strain Gauges

Calibración del manómetro

	MEDIDA DEL BANCO		MEDIDA DEL MANOMETRO	
	<i>Kg/cm2</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>
1	5	0.49	0.44	0.44
2	10	0.98	1.00	1.00
3	15	1.47	1.40	1.40
4	20	1.96	1.82	1.84
5	25	2.45	2.40	2.40
6	30	2.94	2.84	2.84
7	35	3.43	3.40	3.40
8	40	3.92	3.82	3.82
9	45	4.41	4.40	4.40
10	50	4.9	4.82	4.82
11	55	5.39	5.40	5.40
12	60	5.88	5.80	5.80

Cuadro 3.2. Calibración del manómetro

	MEDIDA DEL BANCO		MEDIDA DEL MANOMETRO		
	<i>Kg/cm2</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>
1	5	0.49	0.40	0.40	0.42
2	10	0.98	0.90	1.00	1.00
3	20	1.96	1.82	1.84	1.84
4	30	2.94	2.80	2.82	2.82
5	40	3.92	3.80	3.80	3.82
6	50	4.9	4.80	4.80	4.82
7	60	5.88	5.80	5.80	5.80
8	70	6.86	6.80	6.80	6.80

Cuadro 3.3. Calibración del manómetro

Estabilidad en los strain gauges

Estabilidad³	
1	√
2	S/N
3	i
4	√
5	I
6	S/N
7	S/N
8	√
9	X
10	I
11	√
12	√
13	√

Cuadro 3.4. Estabilidad de las galgas

³ La simbología de la tabla es la siguiente: √ Buena, X Mala , i Irregular , S/N sin medida

Medición de la deformación

Medidas (m/m)						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	20	37	52	67	82	98
2	Sin medida					
3	7	15	23	32	40	49
4	-7	-13	-22	-26	-33	-38
5	5	10	15	21	26	32
6	Sin medida					
7	Sin medida					
8	-4	-6	-8	-10	-12	-14
9	2	5	7	10	13	15
10	-3	-5	-7	-10	-11	-14
11	25	51	78	105	132	161
12	0	0	-2	-2	-2	-5
13	2	3	6	7	9	11

Cuadro 3.5. Medición de la deformación

Radiografías del equipo

Como datos obtenidos de las radiografías del equipo a continuación presento la toma que se hizo al equipo



Fig. 3.18. Gráfica de la radiografía del cilindro

3.3.3 CONCLUSIÓN DE LAS PRUEBAS

Medición de resistencia en los strain gauges

Los strain gauges 2, 6 y 7 tienen medidas de resistencias mayores, ninguno presenta una medida de resistencia alta o infinita, por ende en ninguna parte el circuito esta abierto. Además el valor no coincide con el del catálogo que da un valor medio de resistencia de 120Ω por strain gauge.

Calibración del manómetro

A continuación se graficaron obtenidos en las pruebas y se obtuvieron los siguientes datos:

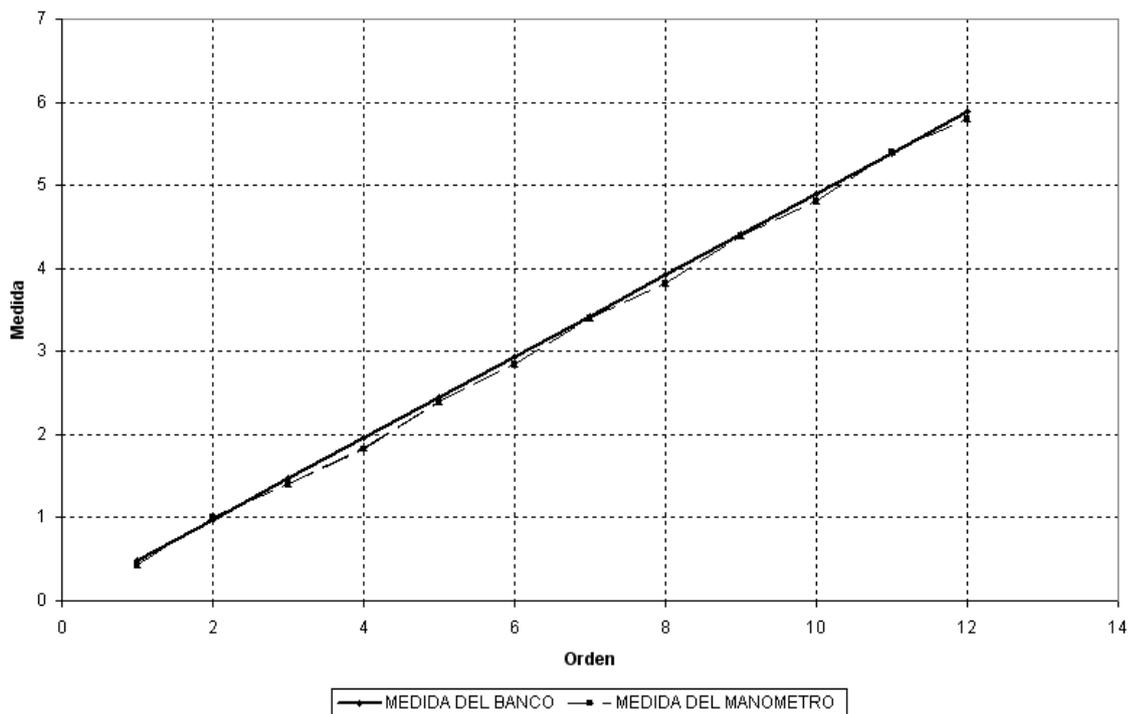


Fig. 3.19. Gráfica de calibración del manómetro - Prueba 1

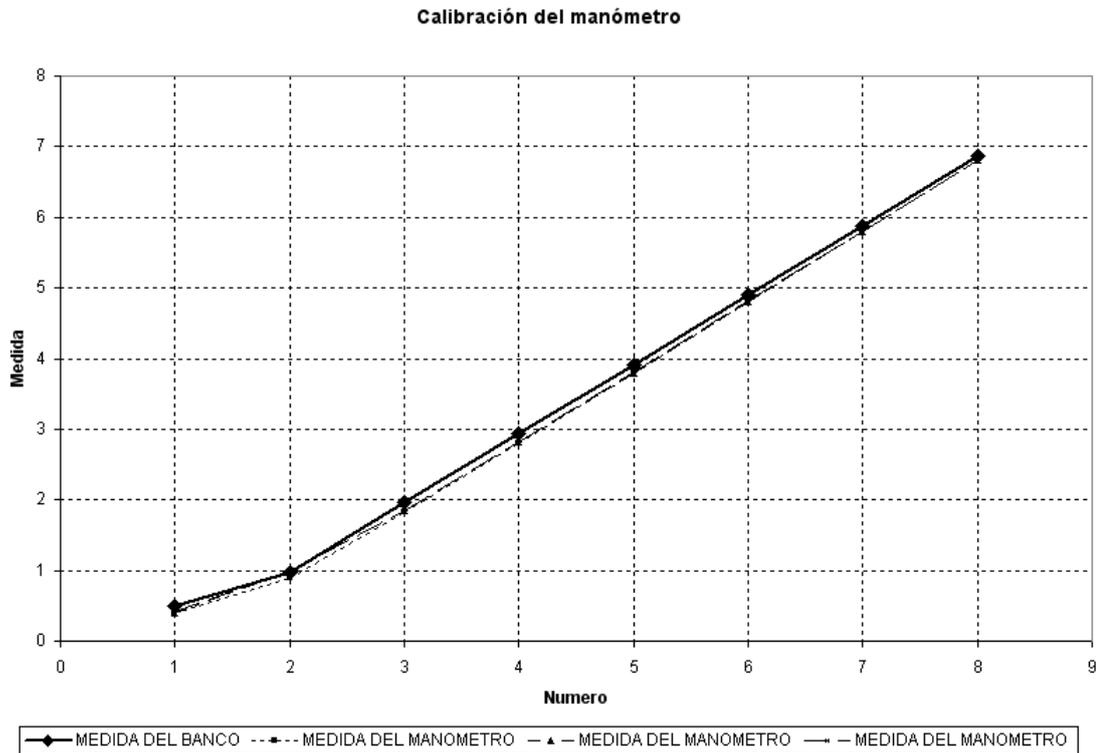


Fig. 3.20. Gráfica de calibración del manómetro - Prueba 2

El manómetro está en perfecto estado debido a que el error aceptable para laboratorio es el de 1% y el manómetro muestra un error menor a este.

ERROR EN LA PRUEBA 1		
1	10.20	10.20
2	-2.04	-2.04
3	4.76	4.76
4	7.14	6.12
5	2.04	2.04
6	3.40	3.40
7	0.87	0.87
8	2.55	2.55
9	0.23	0.23
10	1.63	1.63
11	-0.19	-0.19
12	1.36	1.36
	2.66	2.58

Cuadro 3.6. Errores – Calibración del manómetro

ERROR EN LA PRUEBA 2			
1	%	%	%
2	18.37	18.37	14.29
3	8.16	-2.04	-2.04
4	7.14	6.12	6.12
5	4.76	4.08	4.08
6	3.06	3.06	2.55
7	2.04	2.04	1.63
8	1.36	1.36	1.36
9	0.87	0.87	0.87
	5.72	4.23	3.61

Cuadro 3.7. Errores – Calibración del manómetro

Estabilidad en los strain gauges

Como se puede apreciar en cuadro 2.5 existe mucha inestabilidad en los sensores, por ende es muy difícil o casi imposible tomar una medida en algunos sensores.

Medición de la deformación

Los resultados de los esfuerzos en los puntos (3 con 4 y 9 con 10) se presentan en el siguiente cuadro:

Esfuerzos Teóricos (MPa.)							
N	Tipo	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
3-4	<i>Radial</i>	-0.22	-0.43	-0.64	-0.86	-1.08	-1.30
	<i>Tangencial</i>	0.34	0.69	1.03	1.38	1.72	2.08
9-10	<i>Radial</i>	-0.02	-0.05	-0.08	-0.10	-0.14	-0.16
	<i>Tangencial</i>	0.15	0.31	0.47	0.62	0.78	0.94

Cuadro 3.8. Errores – Esfuerzos Teóricos

Esfuerzos Prácticos (MPa.)							
N	Tipo	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
3-4	Radial	-0.38	-0.66	-1.18	-1.27	-1.62	-1.79
	Tangencial	0.38	0.87	1.29	1.92	2.38	2.99
9-10	Radial	-0.19	-0.27	-0.27	-0.54	-0.55	-0.74
	Tangencial	0.08	0.27	0.27	0.54	0.77	0.85

Cuadro 3.9. Esfuerzos Prácticos

Errores							
N	Tipo	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
3-4	Radial	-77.78	-52.57	-82.08	-46.32	-50.11	-37.92
	Tangencial	-11.20	-26.97	-24.40	-38.82	-38.04	-44.08
9-10	Radial	-610.14	-408	-238	-408	-307	-357.35
	Tangencial	47.09	12.25	41.50	12.25	1.83	9.38

Cuadro 3.10. Errores - Esfuerzos

EJEMPLO DE CÁLCULO # 1

Para el ejemplo de cálculo se toman los puntos 3 y 4 de los datos tomados para 1 MPa, el 11 de Febrero del 2004.

ESFUERZOS TEÓRICOS

Se aplican las siguientes fórmulas

$$\sigma_r = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 - \frac{Re^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 + \frac{Re^2}{R^2} \right)$$

De lo cual se obtiene

$$\sigma_r = \frac{1 \times 10^6 \times (18.5 \times 10^{-3})^2}{(75 \times 10^{-3})^2 - (18.5 \times 10^{-3})^2} \left(1 - \frac{(75 \times 10^{-3})^2}{(36 \times 10^{-3})^2} \right) = -0.22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{1 \times 10^6 \times (18.5 \times 10^{-3})^2}{(75 \times 10^{-3})^2 - (18.5 \times 10^{-3})^2} \left(1 + \frac{(75 \times 10^{-3})^2}{(36 \times 10^{-3})^2} \right) = 0.34 \text{ MPa}$$

ESFUERZOS PRÁCTICOS

$$\sigma_r = \frac{E}{1 - \nu^2} (\nu \cdot \varepsilon_t + \varepsilon_r)$$

$$\sigma_r = \frac{E}{1 - \nu^2} (\nu \cdot \varepsilon_r + \varepsilon_t)$$

$$\sigma_t = \frac{\varepsilon_t \cdot E}{-2\nu}$$

$$\sigma_r = \frac{73.1 \times 10^9}{1 - 0.33^2} (0.33 \times 7 \times 10^{-6} - 7 \times 10^{-6}) = -0.38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = \frac{73.1 \times 10^9}{1 - 0.33^2} (0.33 \times -7 \times 10^{-6} + 7 \times 10^{-6}) = 0.38 \text{ MPa}$$

ERROR PORCENTUAL ENTRE LOS ESFUERZOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

$$E\% = \frac{VT - VR}{VT} \times 100$$

$$E_r\% = \frac{-0.22 + 0.38}{-0.22} \times 100 = -77.78\%$$

$$E_t\% = \frac{0.34 - 0.38}{0.38} \times 100 = -11.2\%$$

Como también se puede calcular las deformaciones unitarias teóricas se ha comparado con las tomadas en el equipo y los resultados son:

Medidas Teóricas (m/m x 10⁻⁶)						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	9.05	18.10	27.15	36.20	45.25	54.31
2	<i>Sin medida</i>					
3	5.71	11.42	17.13	22.84	28.55	34.26
4	-4.52	-9.04	-13.57	-18.09	-22.61	-27.13
5	3.87	7.74	11.60	15.47	19.34	23.21
6	<i>Sin medida</i>					
7	<i>Sin medida</i>					
8	-1.52	-3.04	-4.56	-6.08	-7.60	-9.12
9	2.26	4.53	6.79	9.06	11.32	13.59
10	-1.08	-2.15	-3.23	-4.31	-5.38	-6.46
11	19.97	39.93	59.90	79.87	99.83	119.80
12	-5.85	-11.70	-17.55	-23.40	-29.25	-35.10
13	1.77	3.55	5.32	7.09	8.86	10.64

Cuadro 3.11. Medidas teóricas deformación

Medidas Prácticas (m/m x 10⁻⁶)						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	20	37	52	67	82	98
2	<i>Sin medida</i>					
3	7	15	23	32	40	49
4	-7	-13	-22	-26	-33	-38
5	5	10	15	21	26	32
6	<i>Sin medida</i>					
7	<i>Sin medida</i>					
8	-4	-6	-8	-10	-12	-14
9	2	5	7	10	13	15
10	-3	-5	-7	-10	-11	-14
11	25	51	78	105	132	161
12	0	0	-2	-2	-2	-5
13	2	3	6	7	9	11

Cuadro 3.12. Medidas prácticas deformación

Errores						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	-120.97	-104.40	-91.51	-85.06	-81.20	-80.46
2	Sin medida					
3	-22.60	-31.35	-34.27	-40.11	-40.11	-43.03
4	-54.79	-43.73	-62.16	-43.73	-45.94	-40.05
5	-29.26	-29.26	-29.26	-35.73	-34.43	-37.88
6	Sin medida					
7	Sin medida					
8	-163.07	-97.31	-75.38	-64.42	-57.84	-53.46
9	11.67	-10.41	-3.05	-10.41	-14.82	-10.41
10	-178.62	-132.18	-116.70	-132.18	-104.32	-116.70
11	-25.21	-27.71	-30.22	-31.47	-32.22	-34.39
12	100.00	100.00	88.60	91.45	93.16	85.75
13	-12.83	15.38	-12.83	1.27	-1.55	-3.43

Cuadro 3.13. Errores – Deformación

EJEMPLO DE CÁLCULO # 2

Para el ejemplo de cálculo se toman los puntos 3 y 4 de los datos tomados para 1 MPa, el 11 de Febrero del 2004.

DEFORMACIONES UNITARIAS TEÓRICAS

Se aplican las siguientes fórmulas

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} x \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 - \frac{Re^2}{R^2} - \nu \left(1 + \frac{Re^2}{R^2} \right) \right)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} x \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 + \frac{Re^2}{R^2} - \nu \left(1 - \frac{Re^2}{R^2} \right) \right)$$

De lo cual se obtiene

$$\varepsilon_r = \frac{1}{7.31 \times 10^{10}} \times \frac{1 \times 10^6 \times (18.5 \times 10^{-3})^2}{(75 \times 10^{-3})^2 - (18.5 \times 10^{-3})^2} \left(1 - \frac{(75 \times 10^{-3})^2}{(36 \times 10^{-3})^2} - 0.33 \left(1 + \frac{(75 \times 10^{-3})^2}{(36 \times 10^{-3})^2} \right) \right) = -4.52 \text{ m/m}$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{7.31 \times 10^{10}} \times \frac{1 \times 10^6 \times (18.5 \times 10^{-3})^2}{(75 \times 10^{-3})^2 - (18.5 \times 10^{-3})^2} \left(1 + \frac{(75 \times 10^{-3})^2}{(36 \times 10^{-3})^2} - 0.33 \left(1 - \frac{(75 \times 10^{-3})^2}{(36 \times 10^{-3})^2} \right) \right) = 5.71 \text{ m/m}$$

ERROR PORCENTUAL ENTRE LAS DEFORMACIONES UNITARIAS TEÓRICAS Y PRÁCTICAS

$$E\% = \frac{VT - VR}{VT} \times 100$$

$$E_r\% = \frac{-4.52 + 7}{-4.52} \times 100 = -54.79\%$$

$$E_t\% = \frac{5.71 - 7}{5.71} \times 100 = -22.6\%$$

Como se puede apreciar la mayoría de los sensores tienen altos errores en cuanto a medición estos se deben al deterioro del equipo, el porcentaje aceptable para este tipo de equipo es del 15% (además el porcentaje que da el catálogo es de máximo 5% de error) de error.

Examinación Visual del equipo.

En la examinación visual se ha podido determinar que existe una pequeña fuga en manómetro que fue solucionada, en cuanto al selector que esta funcionando mal se debe adquirir uno nuevo, y referente a las galgas presentan problemas de estabilidad, así como en el valor que estas sensan .

Radiografías del equipo

En las radiografías del equipo se observó que el abrir el cilindro no era posible, debido a que en la unión de los cilindros no se observó galgas si no al contrario las galgas estaban al interior de una mitad del cilindro por lo cual se hace imposible la separación de los cilindros debido a que se producirían daños en las galgas.

Conclusión General

Como se puede apreciar el equipo tiene problemas en los strain gauges, únicamente en los activos, debido al gran tiempo que este equipo está fuera de uso algunos han perdido sus propiedades iniciales, en los strain gauges que no marca (2, 6 y 7) parece que se debe a una falla en el circuito eléctrico, además el cilindro no se puede abrir debido a que se dañarían las galgas al interior del cilindro.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS MECÁNICO UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Para análisis con software se ha utilizado los siguientes programas:

SolidWorks 2004

CosmosWorks 2004

Para lo cual se siguieron los siguientes procedimientos detenidamente explicados.

4.1. GEOMETRÍA.

La geometría consiste en establecer en el programa (para el presente proyecto el SolidWorks) las medidas del objeto a analizarse, en el caso específico del equipo lo principal es dibujar el cilindro, debido a que este va a recibir todos los esfuerzos y es en donde se los sensa.

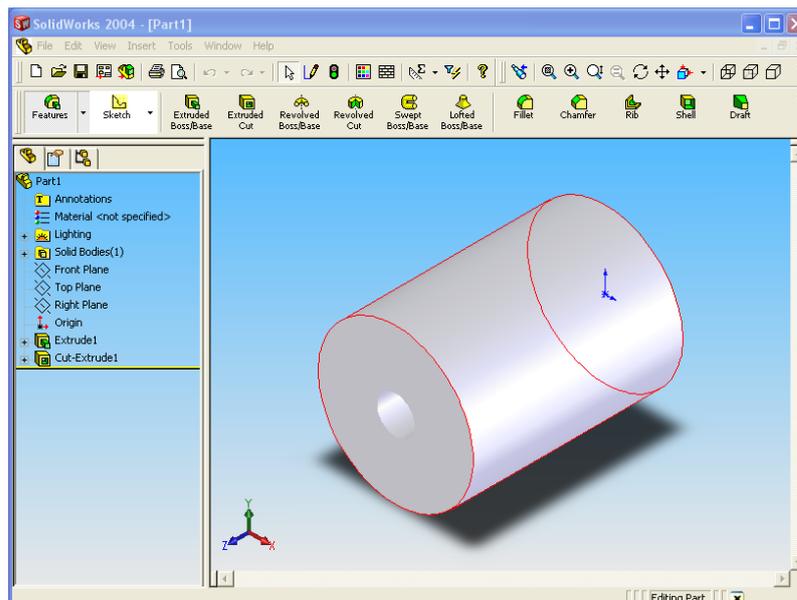


Fig. 4.1. Dibujo del cilindro base

Como siguiente paso de la librería de materiales en el programa se selecciona el que más características similares presenta con el material original.

Seguidamente se detalla las características del material así como la vista preliminar con el material.

Nombre del material:	2014 Alloy
Descripción:	
Librería del material:	Used SolidWorks material
Nombre de la Librería:	solidworks materials
Tipo de Material:	Linear Elastic Isotropic
Sistema de unidades:	SI

Nombre de la propiedad	Valor
Módulo Elasticidad	7.3e+010 N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33
Coefficiente Térmico	2.3e-005 /Kelvin
Densidad	2800 kg/m ³
Conductividad Térmica	160 W/(m.K)

Cuadro 4.1. Propiedades Material

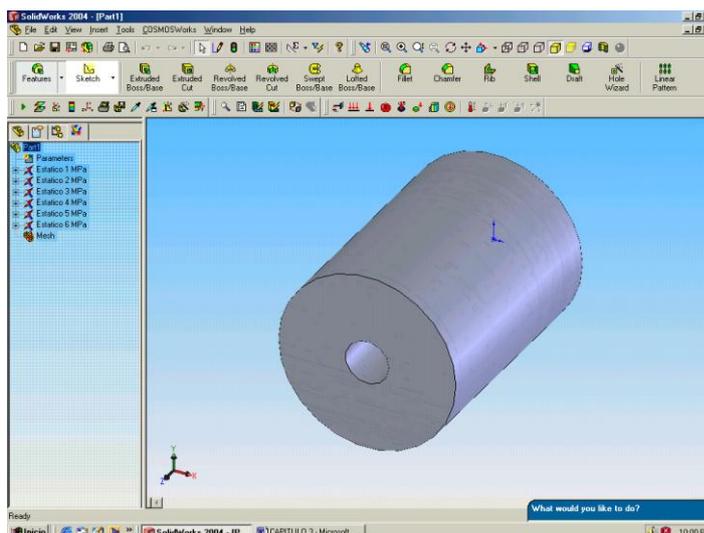


Fig. 4.2. Cilindro con el material

4.2. RESTRICCIONES Y CARGAS.

Para las restricciones se tomaron la dos caras del cilindro, como empotramientos.

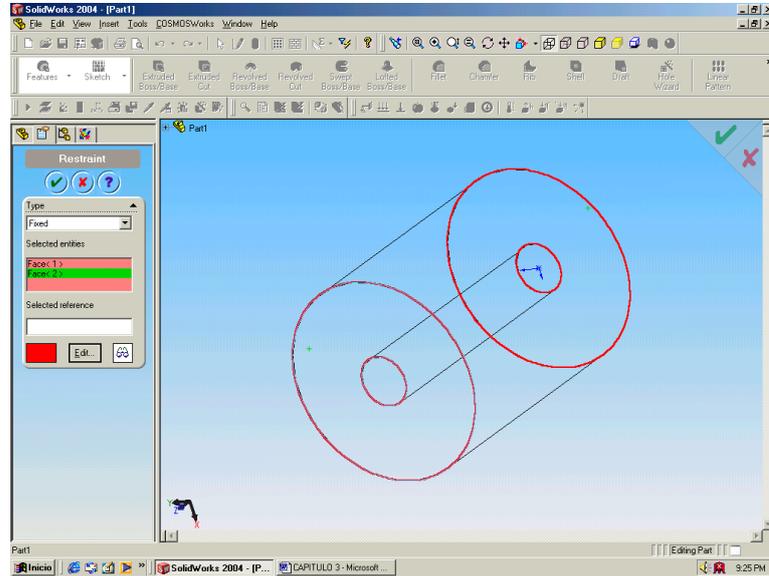


Fig. 4.3. Cilindro con restricciones

Luego se agrega presión al interior del cilindro equivalente a 1 MPa (dependiendo del caso este valor puede ser modificado de acuerdo al análisis que se quiera realizar).

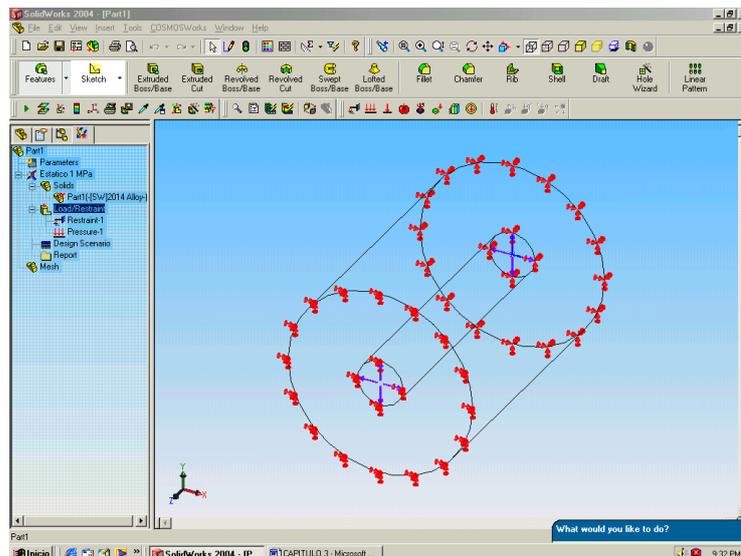


Fig. 4.4. Cilindro con restricciones y cargas

A continuación se genera una malla la cual servirá como base par los análisis posteriores.

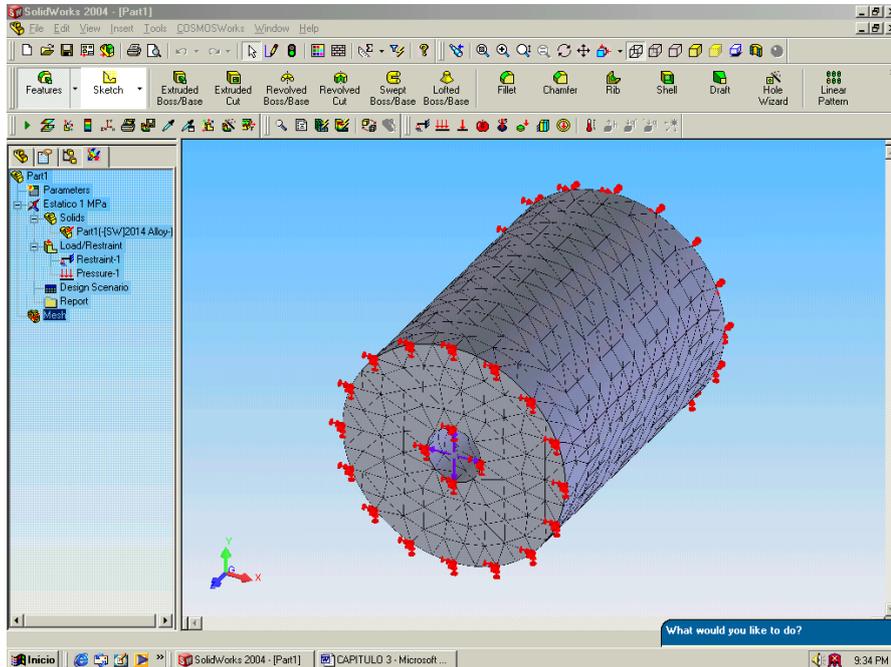


Fig. 4.5. Cilindro con malla

4.3. ANÁLISIS DE ESFUERZOS.

En esta sección se analizarán cada uno de los diferentes análisis que realizan el cosmos sobre el elemento y los que son útiles para la tesis.

4.3.1 ESFUERZOS

El Cosmos Works presenta a través de un código de colores los esfuerzos a los que son sometidos las diferentes partes del cilindro

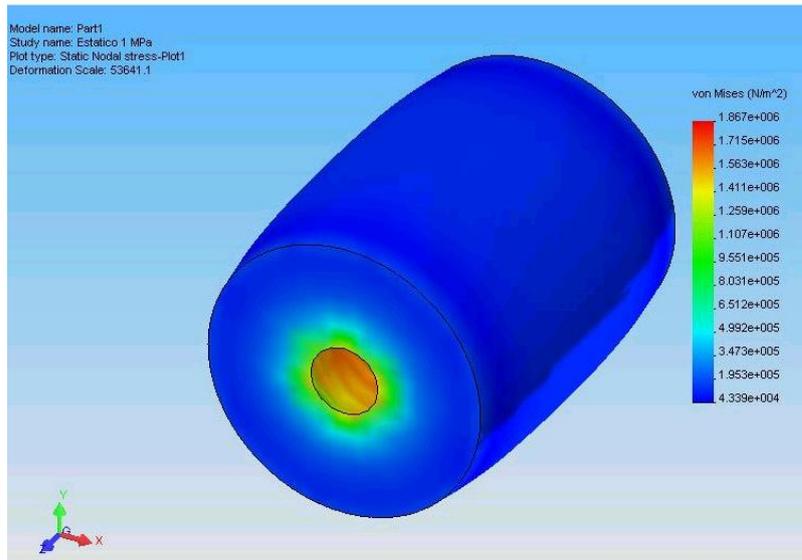


Fig. 4.6. Estudio de Esfuerzos

4.3.2. DEFORMACIÓN UNITARIA

El Cosmos Works presenta a través de un código de colores la deformación unitaria en las diferentes partes del cilindro.

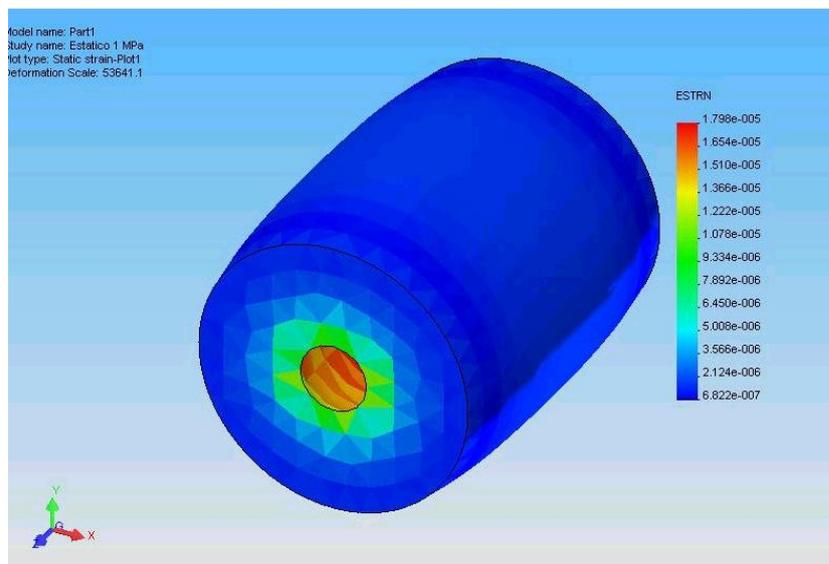


Fig. 4.7. Estudio de deformación Unitaria

4.3.3. DESPLAZAMIENTOS

El Cosmos Works los desplazamientos a los cual se adjunta la figura.

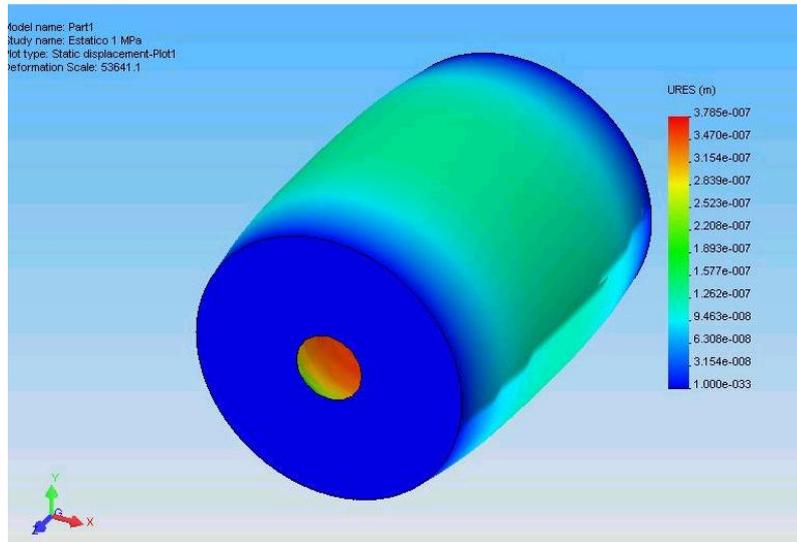


Fig. 4.8. Estudio de Desplazamiento

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se realizó el estudio respectivo para el sólido a las presiones de 1 MPa, 2 MPa, 3 MPa, 4 MPa, 5 MPa y 6 MPa de lo cual se obtuvo las siguientes curvas.

4.4.1. GRÁFICA DE DEFORMACIONES

Las gráficas de deformación se realizaron con Excel y la ayuda del Solid Works el cual arroja datos para poder ser leídos por Excel de los cuales se han obtenido los siguientes resultados:

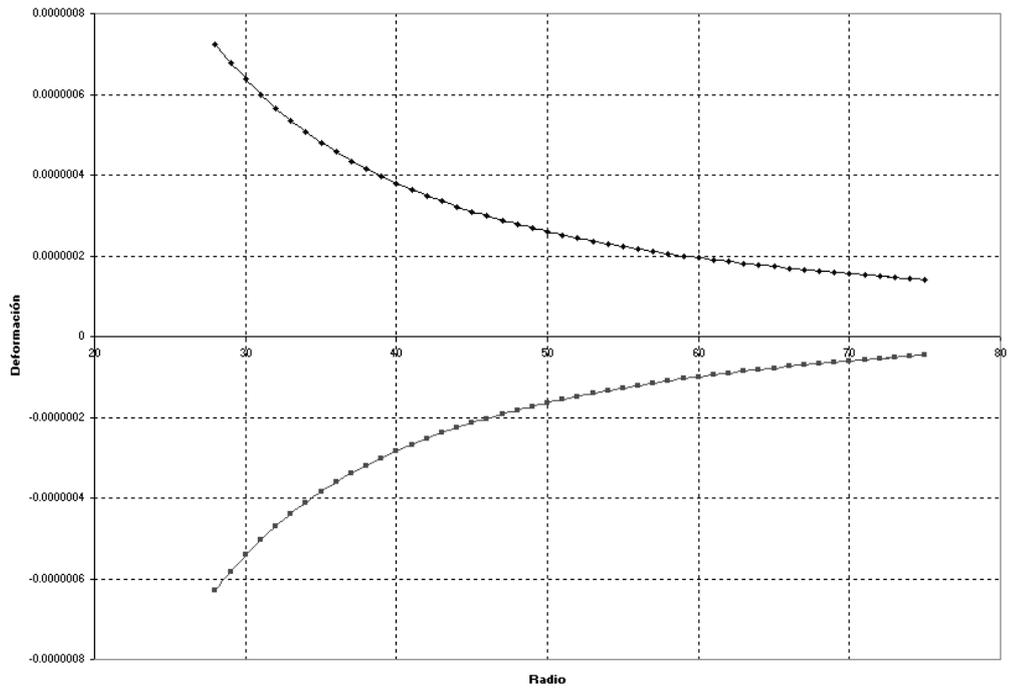


Fig. 4.9. Gráfica de deformaciones a 1 MPa

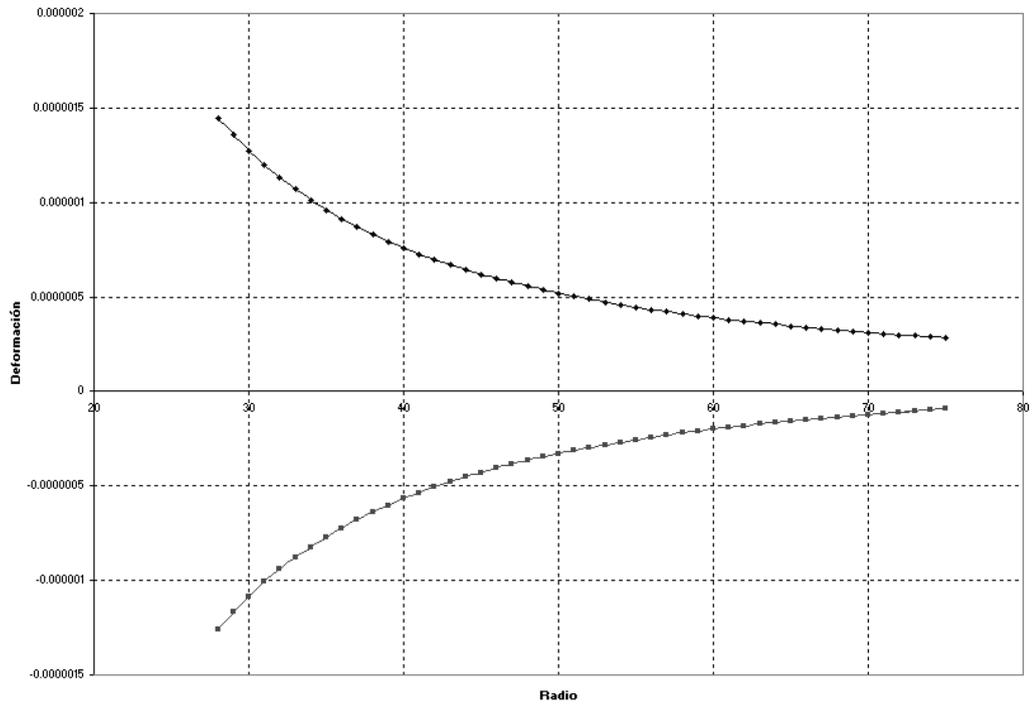


Fig. 4.10. Gráfica de deformaciones a 2 MPa

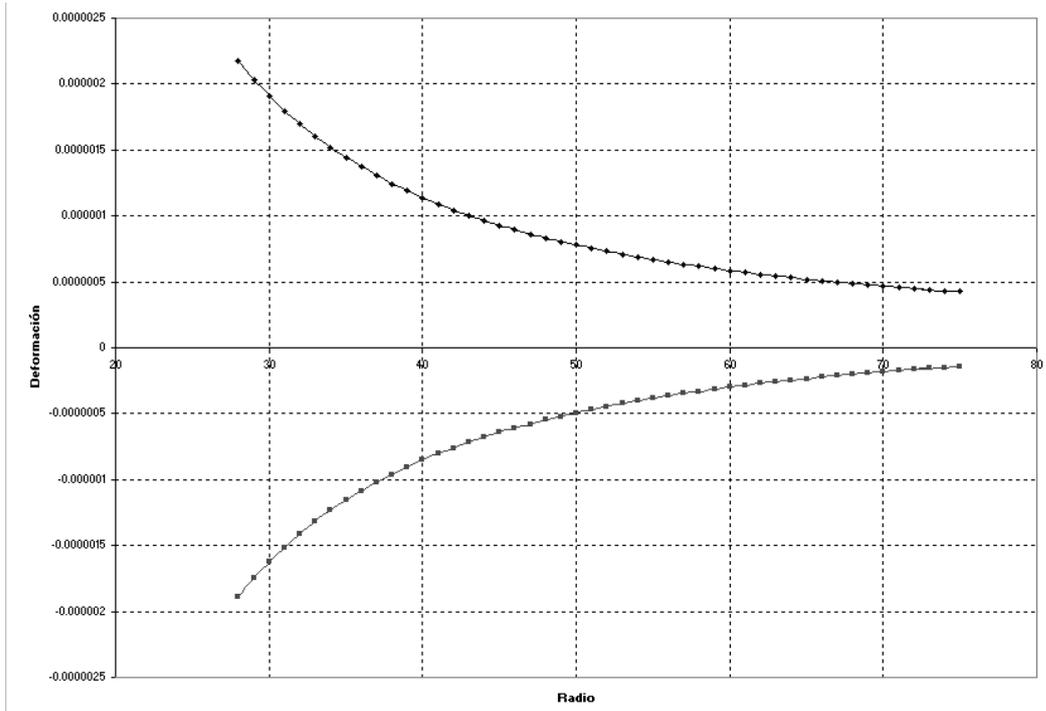


Fig. 4.11. Gráfica de deformaciones a 3 MPa

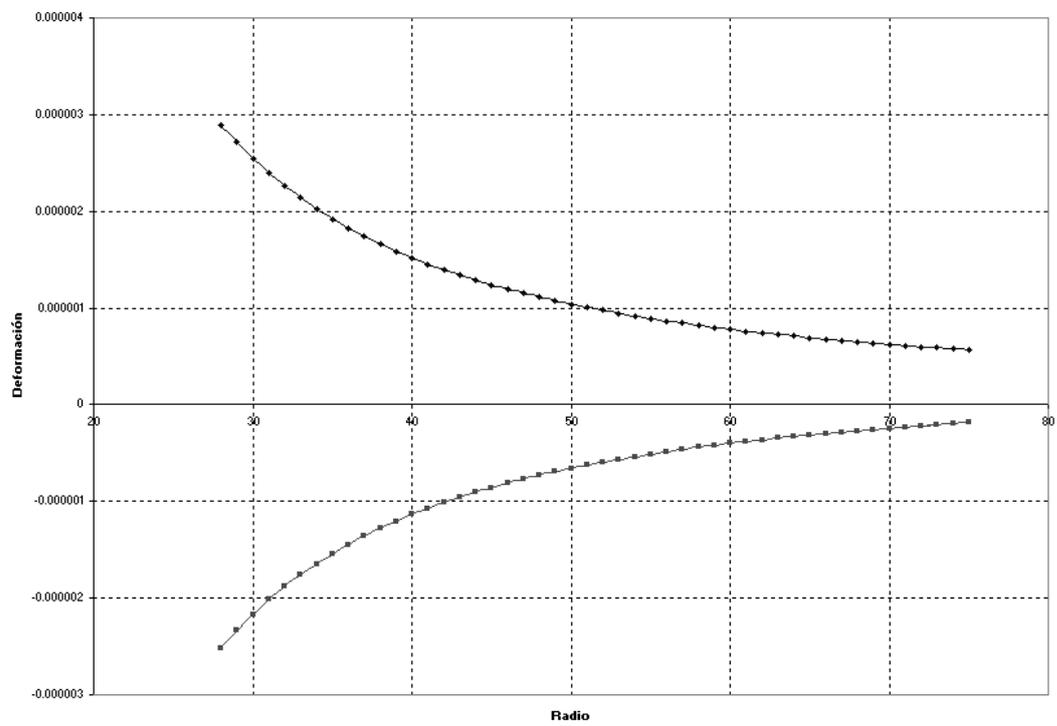


Fig. 4.12. Gráfica de deformaciones a 4 MPa

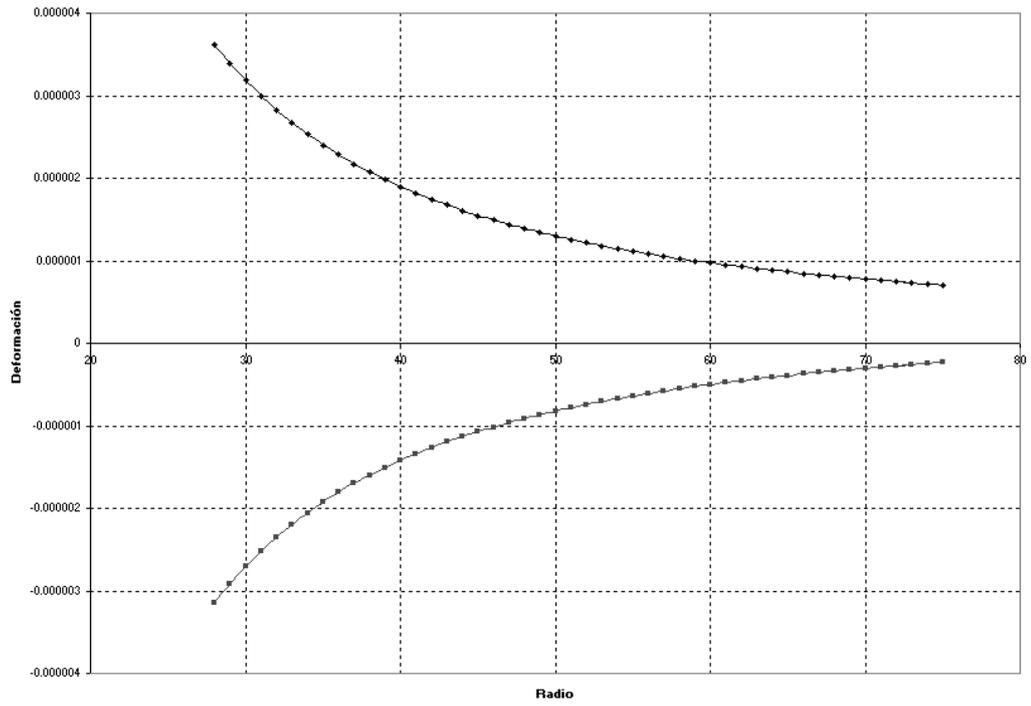


Fig. 4.13. Gráfica de deformaciones a 5 MPa

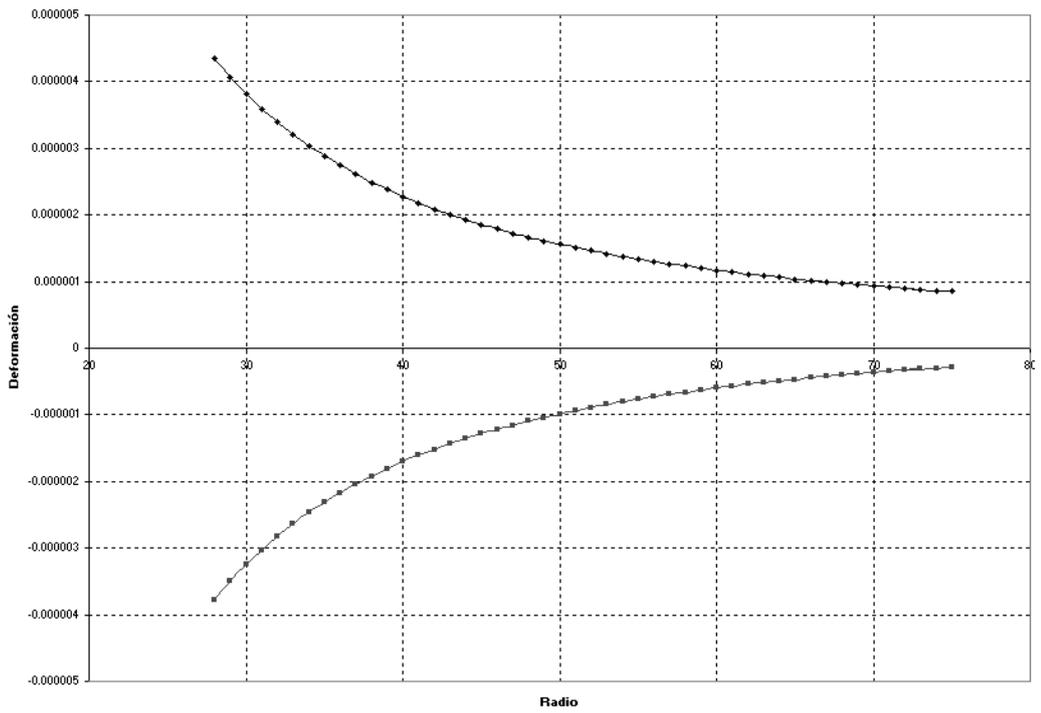


Fig. 4.14. Gráfica de deformaciones a 6 MPa

4.4.2. Gráfica de Esfuerzos

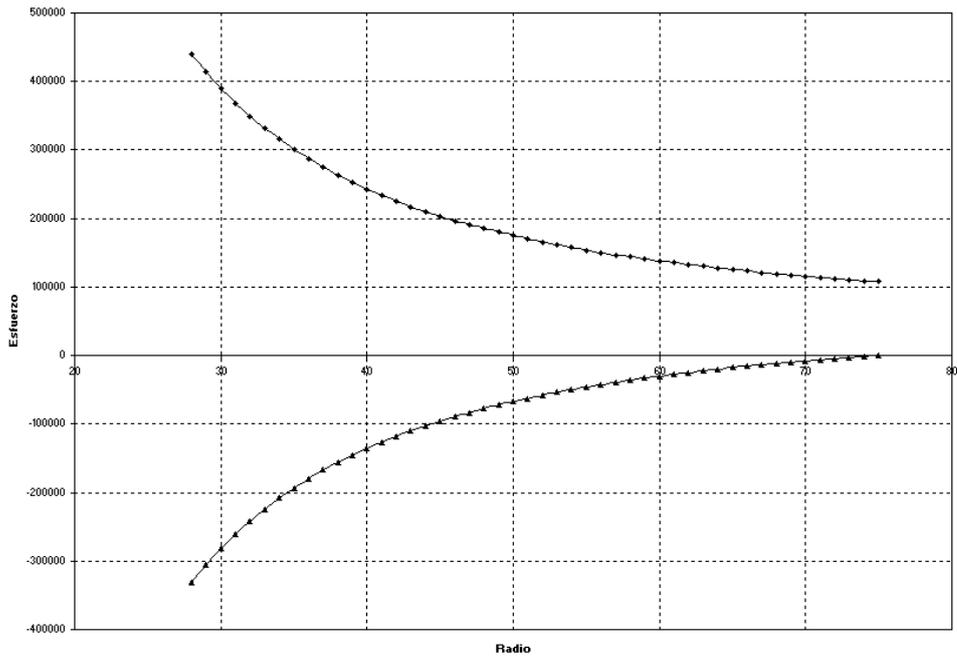


Fig. 4.15. Gráfica de esfuerzos a 1 MPa

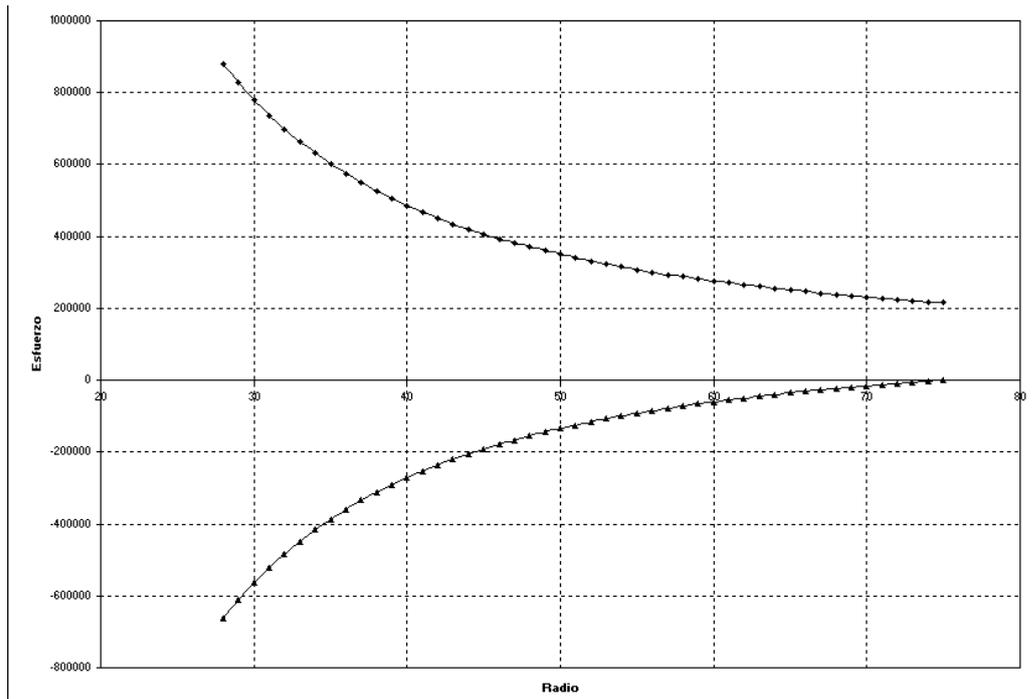


Fig. 4.16. Gráfica de esfuerzos a 2 MPa

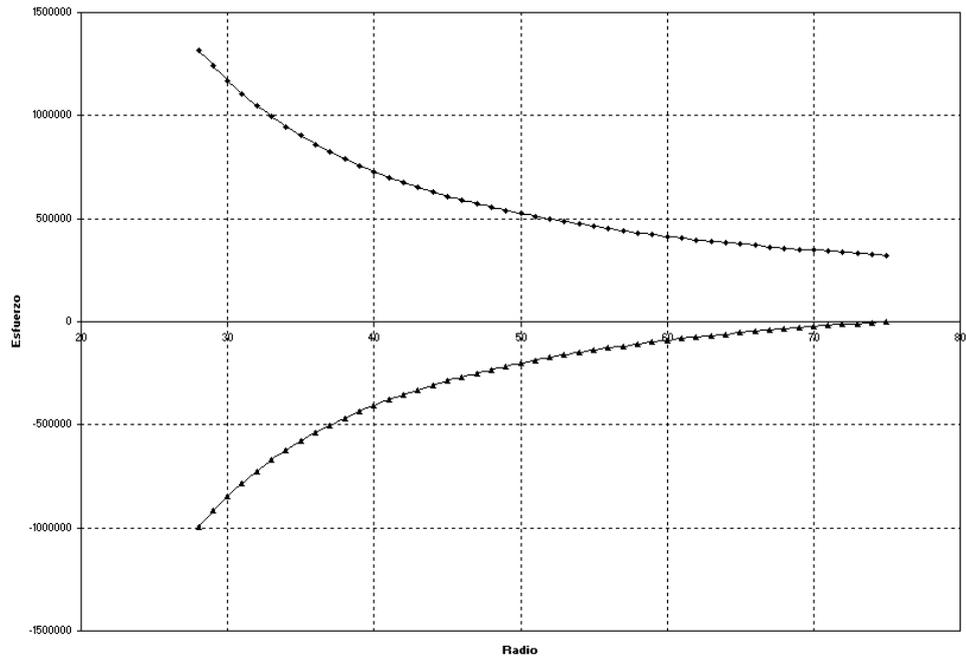


Fig. 4.17. Gráfica de esfuerzos a 3 MPa

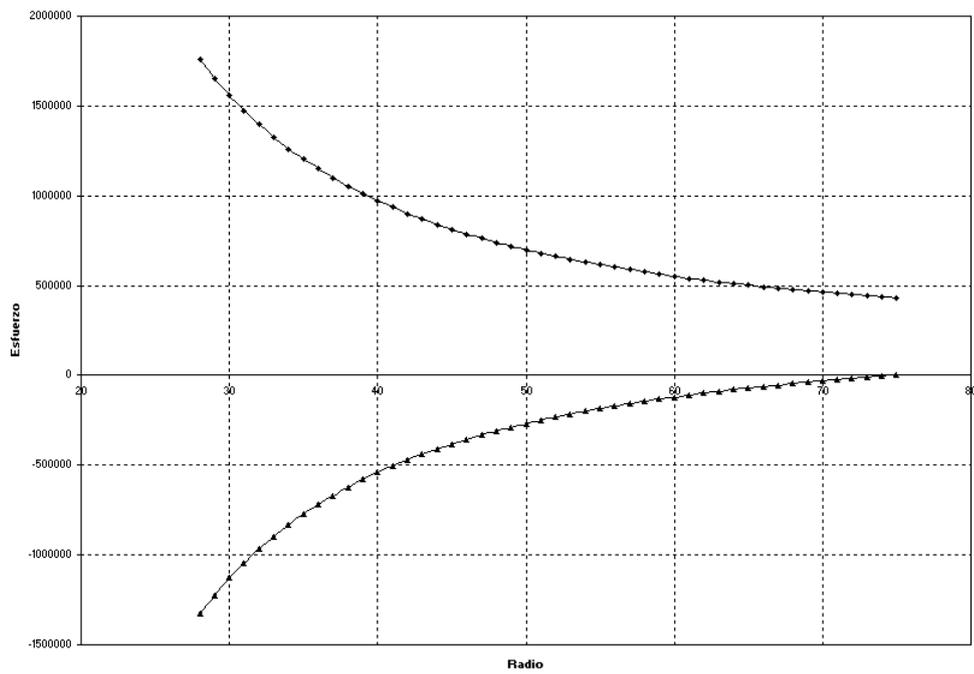


Fig. 4.18. Gráfica de esfuerzos a 4 MPa

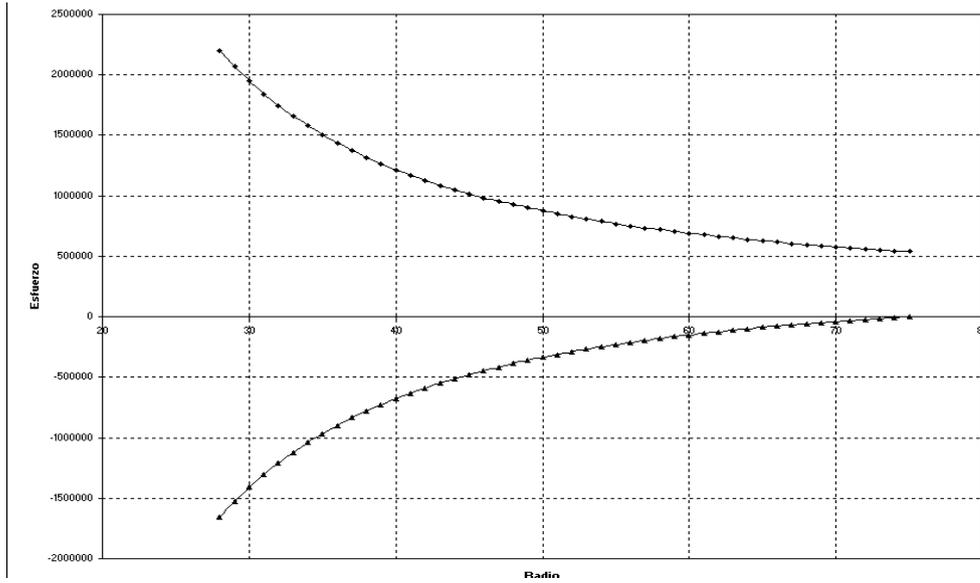


Fig. 4.19. Gráfica de esfuerzos a 5 MPa

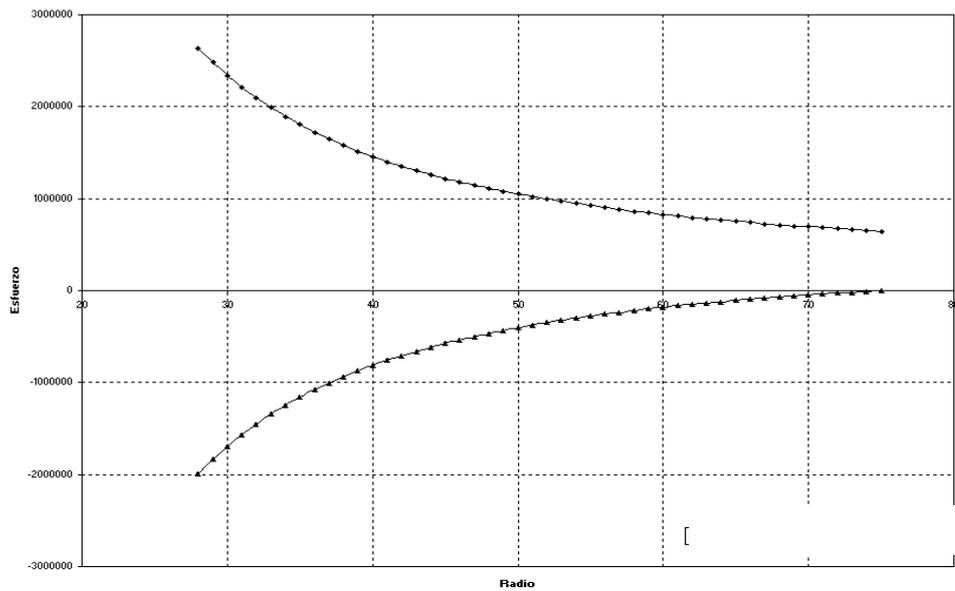


Fig. 4.20. Gráfica de esfuerzos a 6 MPa

Como se puede apreciar los resultados varían en una proporción de un 15 al 20% a favor a los datos teóricos (son más seguros), y el mayor esfuerzo no se encuentra en el centro según el Cosmos-Works, se encuentra en otra disposición los resultados expuestos son tomados de la línea del centro aunque no coincidan con los mayores valores.

CAPÍTULO 5

ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

5.1. DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS EN EL EQUIPO.

Como se vio en el capítulo 3 el equipo no sensa en los strain gauge 2, 6 y 7 al abrir el equipo se encontró ciertas diferencias en los circuitos eléctricos que da el manual de operaciones como se presento en el capitulo 2⁴, para lo cual se hizo el nuevo levantamiento del circuito eléctrico el cual se muestra a continuación:

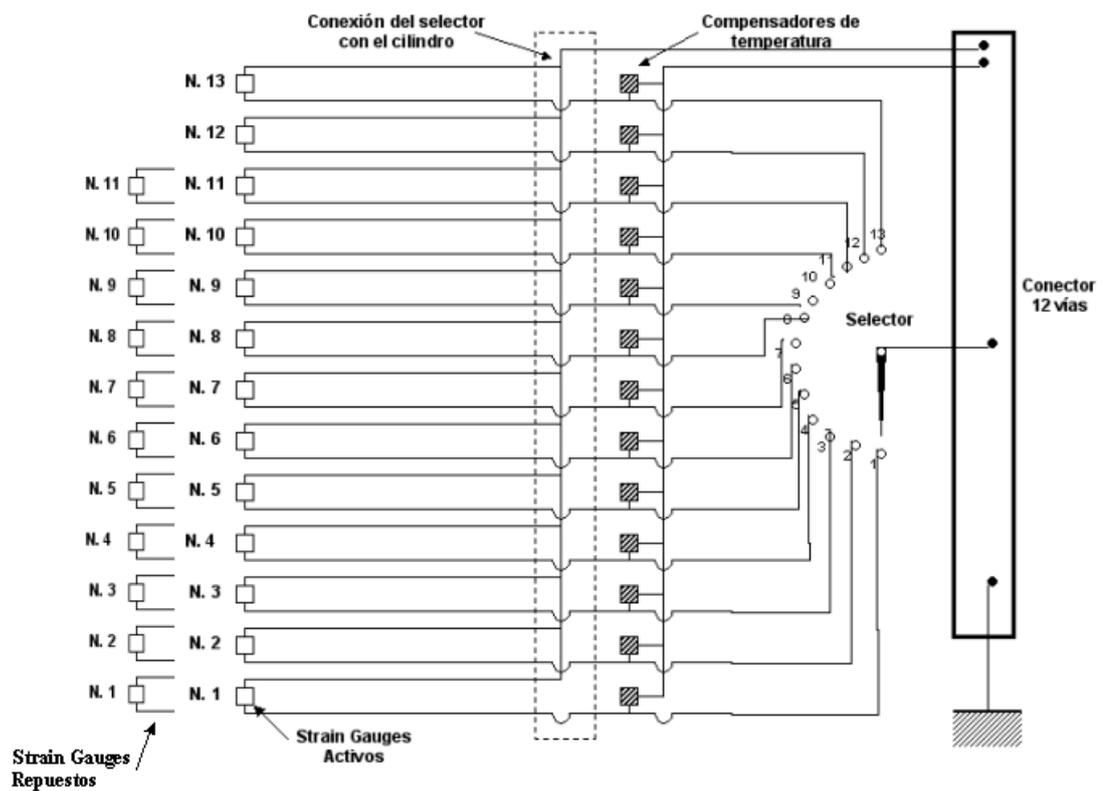


Fig. 5.1. Sistema eléctrico completo

Como se puede ver en la figura existen las presencia de un grupo de strain gauges en la parte izquierda (de acuerdo al gráfico) al contactarse con el

⁴ Ver figura 2.3

proveedor del equipo, y realizar las mediciones de deformación se saco en conclusión de que son repuestos del equipo, a continuación se detalla los tipos de medida que se obtuvo de los strain gauges. A este grupo de galgas se les pondrá una comilla para diferenciarlos de sus galgas similares.

Presión = 6.5 MPa	
Gauges	Medida
1	65
2	S/N
3	37
4	-17
5	24
6	S/N
7	16
8	-13
9	11
10	-14
11	S/N

Cuadro 5.1. Medidas de las galgas de repuesto

Las galgas 12 y 13 no tienen repuesto, las medidas que dan las mismas están correctas a diferentes presiones como se puede ver en los análisis del capítulo 2.

El sistema presenta problemas en las galgas 2, 6, 7, 2' y 6' en algunas presenta inestabilidad como se pudo observar en el capítulo 2, las posibles causas de estos pueden ser:

- Los strain gauges no están en condiciones apropiadas para su funcionamiento.
- Están mal soldados o desconectados los strain gauges del circuito.

- La goma ha perdido sus propiedades y el strain gauge no puede medir adecuadamente.
- La instalación de los mismos fue mala y no miden adecuadamente.
- El tiempo que han pasado sin usar ha afectado al correcto funcionamiento de las mismas.

5.2. ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS.

Para el estudio de alternativas en los dos casos, tanto como la reparación y actualización del equipo tenemos:

5.2.1. ALTERNATIVAS PARA LA REPARACIÓN DEL EQUIPO.

5.2.1.1. Verificación del circuito eléctrico.

5.2.1.1.1. Procedimiento

El procedimiento a seguir en la verificación del circuito sería la siguiente:

- a. Tener un circuito eléctrico claro del equipo.
- b. Verificar las resistencias de los strain gauges.
- c. Verificar la corriente que pasa por cada strain gauge.
- d. Verificar las soldaduras.
- e. Tomar las medidas nuevamente a cuarto de puente de los strain gauges.
- f. Reconectar el circuito eléctrico para ver si funciona.

5.2.1.1.2. Ventajas

- Este tipo de verificación no es costosa y es muy fácil de hacer.
- Es de muy poco tiempo y se podrá dar una clara especificación de los problemas en el equipo.

- Se seleccionarán las galgas mas precisas y únicamente se trabajara sobre las que tengan problemas.

5.2.1.1.3. Desventajas

- No se tiene mucha experiencia en tales revisiones.

5.2.1.2. Cambio de todo el circuito eléctrico.

5.2.1.2.1. Procedimiento

El procedimiento a seguir en el cambio de todo el circuito seria la siguiente:

- a. Elaborar un nuevo circuito eléctrico.
- b. Desarmar el anterior circuito.
- c. Elaborar una lista de componentes a ser reemplazado.
- d. Elaborar una lista de nuevos componentes
- e. Instalar el nuevo sistema.
- f. Realizar pruebas de su funcionamiento.

5.2.1.2.2. Ventajas

- Se podrían corregir ciertos errores que no podrían ser hallados.
- La vida útil de la máquina seria mayor que reparando el circuito normalmente.

5.2.1.2.3. Desventajas

- El trabajo requerido es de mucho tiempo.
- No se tiene experiencia en este tipo de instalaciones.

5.2.1.3. Cambio de los strain gauge afectados

5.2.1.3.1. Procedimiento

El procedimiento a seguir en el cambio de todo el circuito sería la siguiente:

- a. Se sabría cuales son los strain guages afectados.
- b. Se desarmaría la máquina.
- c. Se colocaría en una parte similar.
- d. Se harían pruebas de su correcto funcionamiento.

5.2.1.3.2. Ventajas

- No habría ningún sensor que marcaría mal.
- Se cambiarían ciertos strain gauges que están midiendo de manera un tanto inestable.
- Se conocería el funcionamiento al interior del cilindro y la distribución exacta de los mismos en su interior.
- Se tendrían referencias mas precisas para hacer equipos similares que se puedan aplicar en otros casos didácticos.

5.2.1.3.3. Desventajas

- El equipo posiblemente no permita tal cambio por lo cual las galgas que no se reparen quedaran inhabilitadas.
- Se podrían dañar ciertos strain gauges que miden bien.
- El pegado de strain gauges es un trabajo difícil y laborioso.
- El equipo al reconstruirlo tal vez no quedaría igual.

5.2.2. ALTERNATIVAS PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL EQUIPO.

5.2.2.1. Cambio del selector del equipo por uno similar.

5.2.2.1.1. Procedimiento

El procedimiento a seguir en el cambio del selector del equipo es el siguiente:

- a. Desinstalación del anterior selector.
- b. Adecuación de la caja al nuevo selector.
- c. Instalación del nuevo selector.
- d. Pruebas de su correcto funcionamiento.

5.2.2.1.2. Ventajas

- Es mucho más económico que cualquier otra alternativa.
- Es sencilla su instalación.
- Es de simple uso.

5.2.2.1.3. Desventajas

- No se realizaría un verdadero trabajo de actualización dentro del equipo.

5.2.2.2. Cambio del Selector del equipo por un sistema con relés

5.2.2.2.1. Procedimiento

El procedimiento a seguir en el cambio del selector del equipo por un sistema de relés es el siguiente:

- a. Desinstalación del anterior selector.
- b. Construcción de una nueva caja que contenga las galgas compensadoras con un puerto para conexión con la caja de relés.

- c. Diseño del sistema de relés.
- d. Construcción de una caja que contenga la tarjeta de relés con la tarjeta de adquisición de datos.
- e. Pruebas de su correcto funcionamiento.

5.2.2.2.2. Ventajas

- Se reduciría el tiempo de toma de datos debido a que este procedimiento se lo podría hacer de forma automática.
- Se reducirían los errores cometidos debido a la disminución de manejo del operario.
- Este proyecto se podría utilizar con otros sistemas y ser independiente al cilindro.

5.2.2.2.3. Desventajas

- No se tiene experiencia en este tipo de instalaciones.
- El tiempo para la construcción de tal sistema sería mucho más largo que el anterior.

5.2.2.3. Cambio del Selector del equipo por un sistema con integrados.

5.2.2.3.1. Procedimiento

El procedimiento a seguir en el cambio del selector del equipo por un sistema con integrados es el siguiente:

- a. Desinstalación del anterior selector.
- b. Construcción de una nueva caja que contenga las galgas compensadoras con un puerto para conexión con la caja de integrados.
- c. Diseño del sistema con integrados.

- d. Construcción de una caja que contenga los integrados con la tarjeta de adquisición de datos.
- e. Pruebas de su correcto funcionamiento.

5.2.2.3.2. Ventajas

- Se reduciría el tiempo de toma de datos debido a que este procedimiento se lo podría hacer de forma automática.
- Se reducirían los errores cometidos debido a la disminución de manejo del operario.
- Se reducirían algunos ruidos que se podrían crear con el sistema anterior.
- Este proyecto se podría utilizar con otros sistemas y ser independiente al cilindro.

5.2.2.3.3. Desventajas

- No se tiene experiencia en este tipo de instalaciones.
- El tiempo para la construcción de tal sistema sería mucho más largo que el anterior.
- Es un proyecto demasiado complejo y se necesita un alto conocimiento en la electrónica de tales circuitos.

5.3. DETERMINACIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE.

Para la selección de la alternativa más viable tanto en el caso de la reparación como la actualización se realizaron matrices de decisión en cada uno de los casos, a continuación se presentan tales matrices:

Reparación del Equipo.				
Aspecto	%	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Costo	30	10	7	4
Tiempo de	10	10	8	5

realización				
Dificultad en el proceso	40	10	10	5
Experiencia	20	8	8	4
TOTAL	100	9.6	8.5	4.5

Cuadro 5.2. Matriz de decisión – reparación del equipo

Actualización del Equipo.				
Aspecto	%	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Costo	20	10	6	4
Tiempo de realización	30	10	5	3
Diseño del Sistema	20	8	5	3
Experiencia	20	6	5	5
Operación	10	6	9	10
TOTAL	100	8.4	5.6	4.3

Cuadro 5.3. Matriz de decisión – actualización del equipo

Como se puede ver para la reparación del equipo se ha seleccionado la verificación del circuito eléctrico, pasando todas las pruebas (inspección visual, verificación de la soldadura, conectividad, etc.) pero como es posible que con este procedimiento no se repare el equipo se podrían modificar una parte del circuito eléctrico, y en el caso de que se mantengan los errores se cambiarían las galgas internamente (aunque este sistema como se especifico en la parte de arriba es un poco riesgoso) . El método a seguir se describe en la siguiente figura:



Fig. 5.2. Método para la reparación del equipo.

Para la actualización del equipo se seleccionó la alternativa del cambio del selector por un circuito con relés, debido a que el proyecto de la tesis requiere un cierto de complejidad por lo cual se escogió la segunda alternativa.

Para la reparación del equipo se volvieron a tomar nuevamente las resistencias en los diferentes strain gauges así como sus deformaciones y se obtuvieron los siguientes datos:

5.3.1. Resistencias de los strain gauges.

Gauges	Grupo 1	Grupo 2
1	122.5	121
2	x	x
3	121.5	121.3
4	121.8	122.6
5	122.1	121.4
6	x	121.5
7	x	121.6
8	121.3	121.3
9	121.4	121.6
10	121.7	121.8
11	121.1	120.8
12	121.5	
13	121.6	

Cuadro 5.4. Medidas de la resistencia de las galgas

5.3.2. Medidas en cuarto de puente de los strain gauges.

Después del chequeo eléctrico se obtuvieron los siguientes resultados comparados con el equipo actual TQ-SM 1011 y los primeros strain gauges se obtuvieron los siguientes resultados

Presión: 6.5 MPa			
Gauges	TQ-SM 1011	Grupo 1	Grupo 2
1	63.17	100	65
2	-63.92	x	x
3	39.25	59	37
4	-35.32	-32	-17
5	26.17	39	24
6	-21.30	x	-23
7	18.31	x	16
8	-11.96	-13	-13
9	13.83	19	11
10	-12.33	-14	-14
11	124.48	135	x
12	0.93	1	
13	10.65	11	

Cuadro 5.5. Medidas en cuarto de puente

5.4. DETERMINACIÓN DE LOS ELEMENTOS A SER REEMPLAZADOS.

Para determinar los elementos que van hacer reemplazados se han hecho las siguientes conclusiones:

- El actual circuito de la máquina no permite una “real” automatización del circuito por lo cual se plantea el cambio del mismo por uno de mayor eficacia y que sirva a los propósitos de la tesis.
- Muchas galgas tenían problemas de inestabilidad, los cuales han sido reparados casi en su totalidad teniendo pequeñas

anomalías únicamente en casos puntuales, los cuales han sido corregidos después de una inspección en todo el equipo.

- Las galgas funcionan en su gran mayoría únicamente una galga después de un exhaustivo procedimiento para reacondicionarla no ha funcionado.
- La galga número dos no hay como arreglar debido a que se procederá por una similar en caso de que se ha posible.

En conclusión los elementos hacer remplazados son:

- El selector del equipo.
- El plug de conexión del equipo.
- Conectores del sistema eléctrico.
- La galga número dos.

CAPÍTULO 6

SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES

6.1. COMPONENTES MECÁNICOS

6.1.1. DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE ELEMENTOS A SER REEMPLAZADOS.

Se sacó en conclusión que el circuito del selector poseía defectos de ensamblado por lo cual se decidió cambiar tal circuito, así que los elementos a cambiar son:

- El selector del equipo.
- El plug de conexión del equipo.
- Conductores del sistema eléctrico.

Todo este sistema se transformará a un sistema con una tarjeta de adquisición de datos controlado por relés conectados a cada una de las galgas. El sistema de acondicionamiento será producido por el equipo acondicionador multipunto 1526 del laboratorio de resistencia de materiales.

6.1.2. Selección del tipo de elementos a adquirir.

6.1.2.1. Elementos a construir.

Primero hay que citar a los elementos que hay que construir los que se enumeran a continuación:

1. Caja de strain gauges.

El plano de las cajas están en la sección de planos, a continuación se presenta una vista sin escala del desarrollo de las dos cajas.

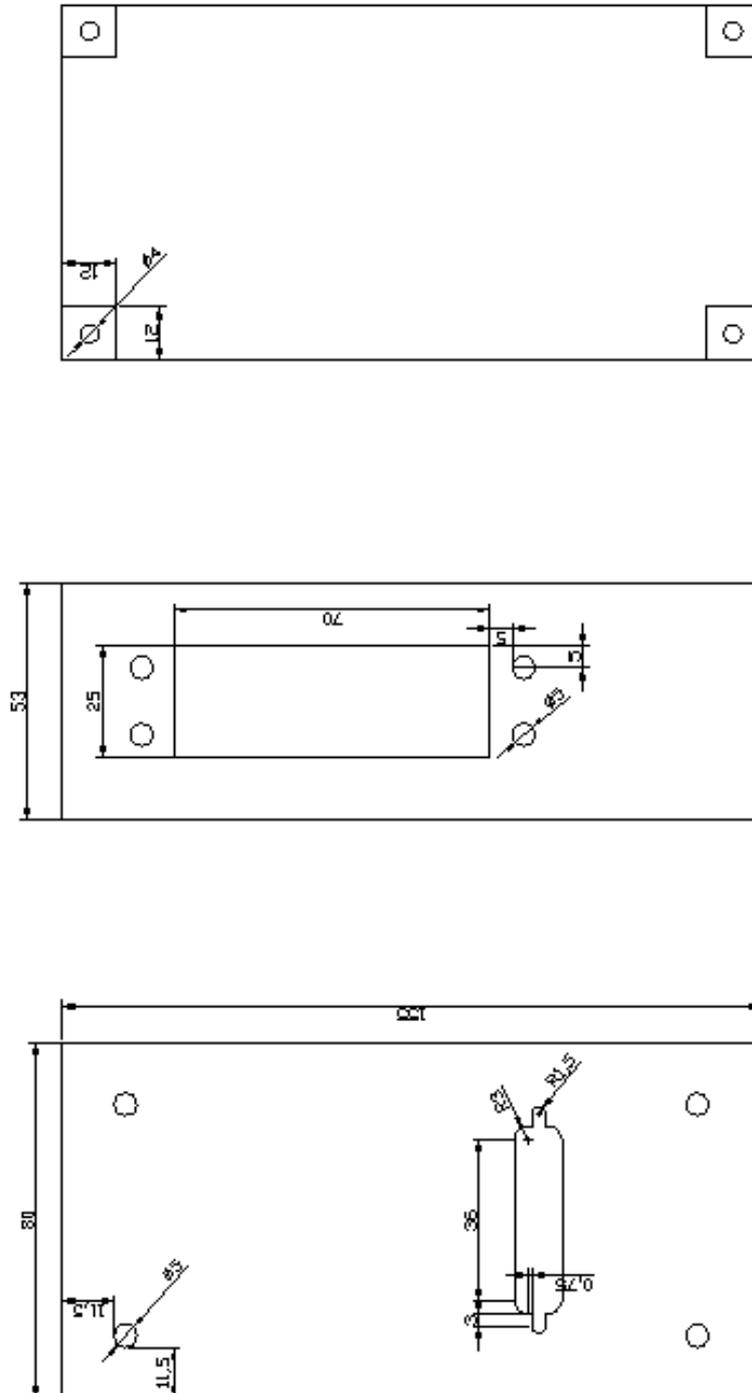


Fig. 6.1. Caja de Strain Gauges

6.1.2.2. Elementos a adquirir.

Los elementos a adquirir son los que se enumeran a continuación:

- Cable para la conexión de 25 vías.
- Aceite de Castor (cambio del aceite de la máquina).⁵
- Conectores y cables de baja resistividad.
- Relés de tres canales de 5V.

6.1.3. Armado del sistema.

En el armado del sistema se puede ver en el esquema que se representa en la siguiente figura:

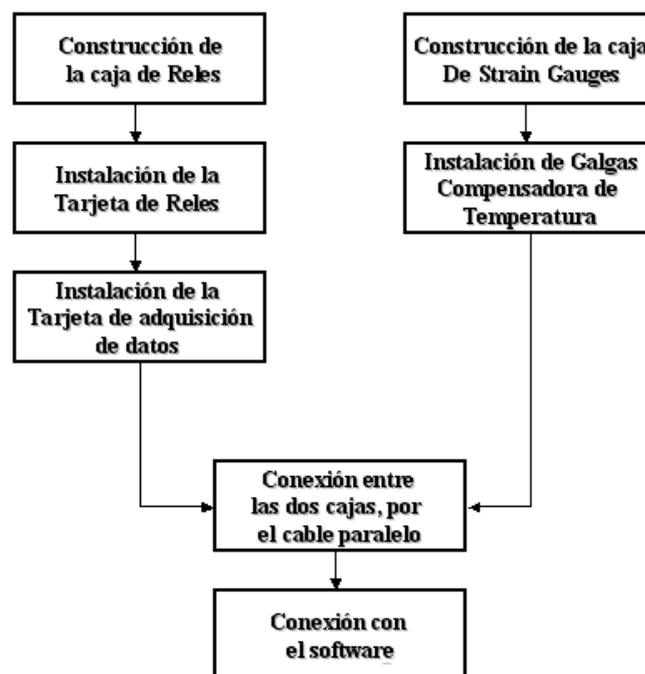


Fig. 6.2. Armado del sistema

6.2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

⁵ El aceite de castor es un producto que se utiliza en el aeromodelismo, existe actualmente una mezcla similar con mejores aditivos, esta mezcla de aceite se puede ubicar en la Río Coca a lado de la ESPE de idiomas en la tienda Hélices y Ruedas.

6.2.1. Elementos necesarios para el sistema de adquisición de datos.

En el esquema siguiente se representa el proceso de adquisición de datos del equipo:

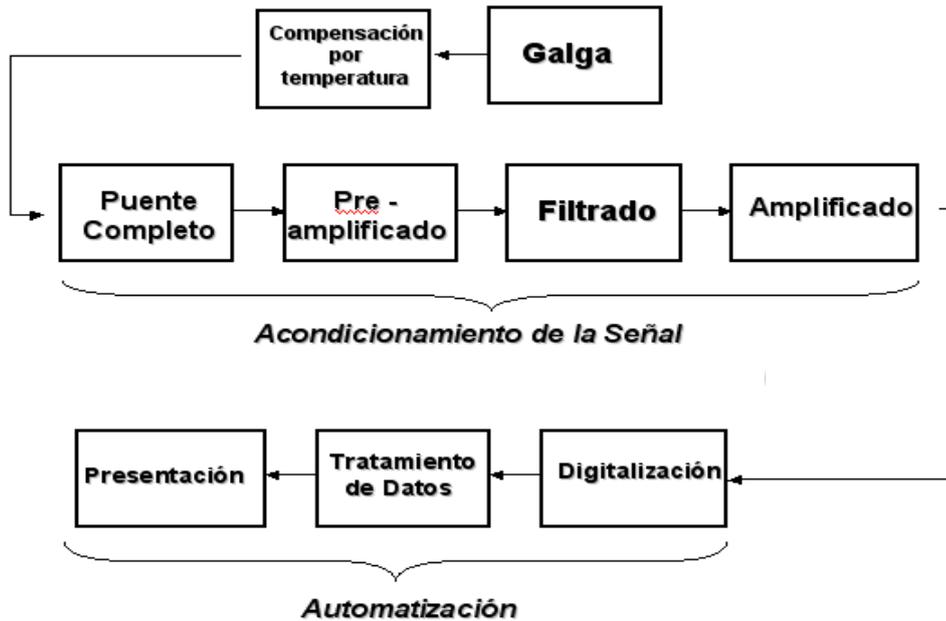


Fig. 6.3. Esquema de adquisición de datos

Las galgas formarían una parte esencial en el proceso de datos por eso en el diagrama de la parte superior esta en el primer escalón, como se puede entender ahí se ha compensado (el efecto producido por la temperatura) por medio de una conexión a medio puente.

A continuación el proceso de acondicionamiento de la señal esta hecho por el medidor de deformaciones unitarias que posee el laboratorio de resistencia de materiales, cabe recalcar que tal acondicionamiento no es el óptimo debido a la existencia de mejores equipos en la actualidad, que mejoran la calidad de salida de la señal resultante, debido a que este acondicionamiento se pensaba que era óptimo, el financiamiento de la tesis no consta en este por ende no se ha podido adquirir uno mejor.

La digitalización esta a cargo de la tarjeta PMD – 1206 de la Measuring Computing la cual transmite los datos a través del puerto USB a la computadora la cual a su vez a través del programa realiza el tratamiento de los datos así como la presentación final, completando el ultimo escalón que es el de la automatización.

6.2.1.1. Caja de Strain Gauges

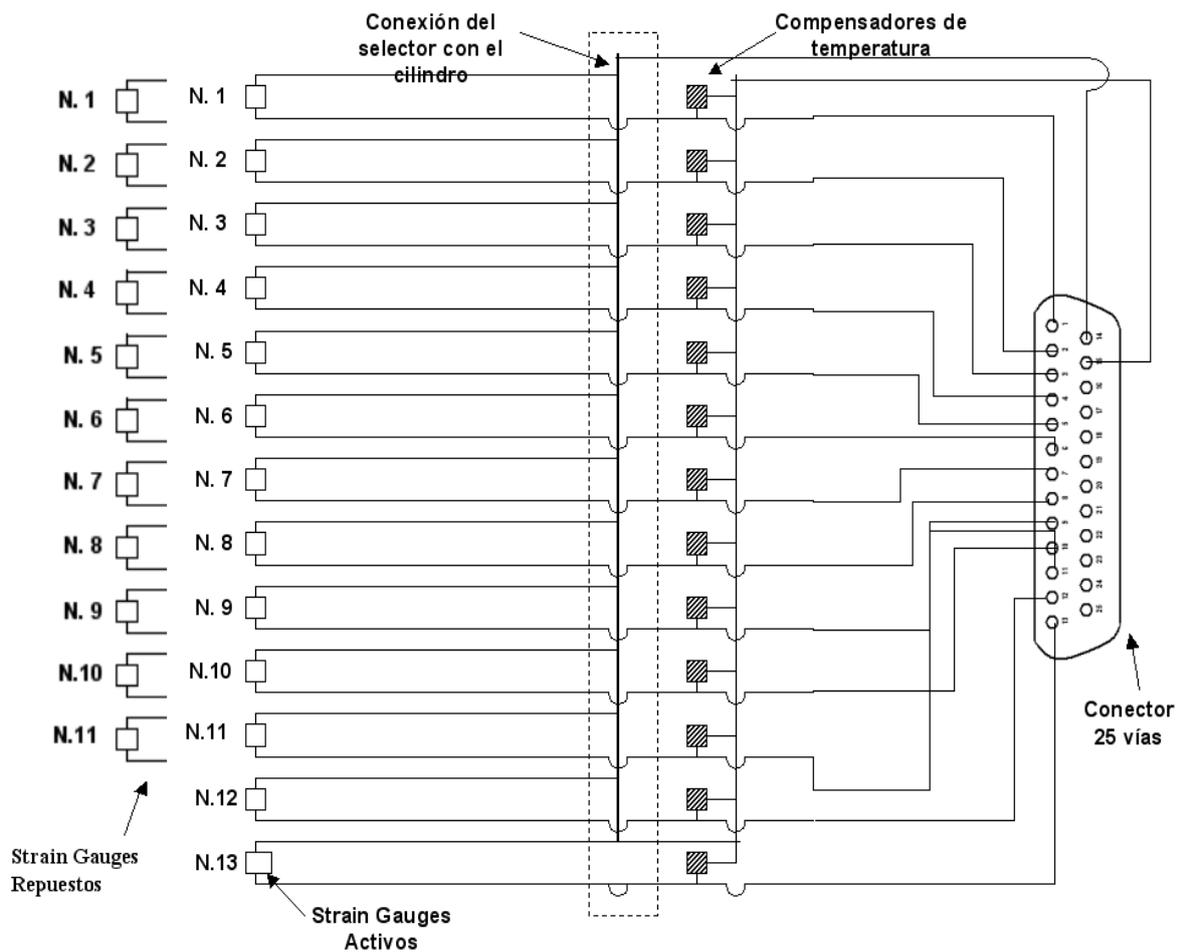


Fig. 6.4. Circuito Electrónico de la caja de Strain Gauges

El circuito de la caja de strain gauge es similar al inicial con la única excepción que el selector asido reemplazado por un puerto de 25 vías del cual a continuación se presenta en una figura con una tabla anexa con la descripción de cada pin.

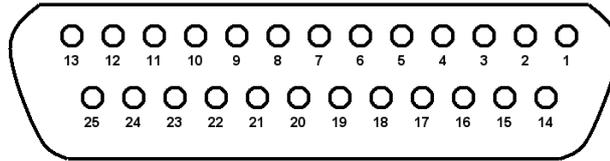


Fig. 6.6. Puerto de la tarjeta de Relés

Pin	Descripción	Pin	Descripción
1	Galga 1	15	Común Com.
2	Galga 2	16	GND
3	Galga 3	17	X
4	Galga 4	18	X
5	Galga 5	19	X
6	Galga 6	20	X
7	Galga 7	21	X
8	Galga 8	22	X
9	Galga 9	23	X
10	Galga 10	24	X
11	Galga 11	25	X
12	Galga 12		
13	Galga 13		
14	Común Act.		

Cuadro 6.1. Entradas Analógicas

6.2.1.2. Tarjeta de Relés

La tarjeta de relés esta basada en el siguiente circuito electrónico, como se puede ver en la siguiente figura:

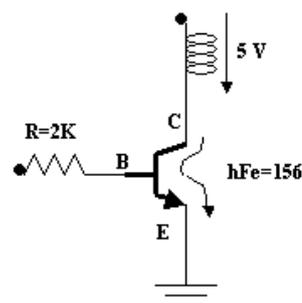


Fig. 6.6. Circuito Electrónico de un Relé

La tarjeta de relés es el cerebro fundamental del sistema automático de selección de galgas que se puede ver en la siguiente figura:

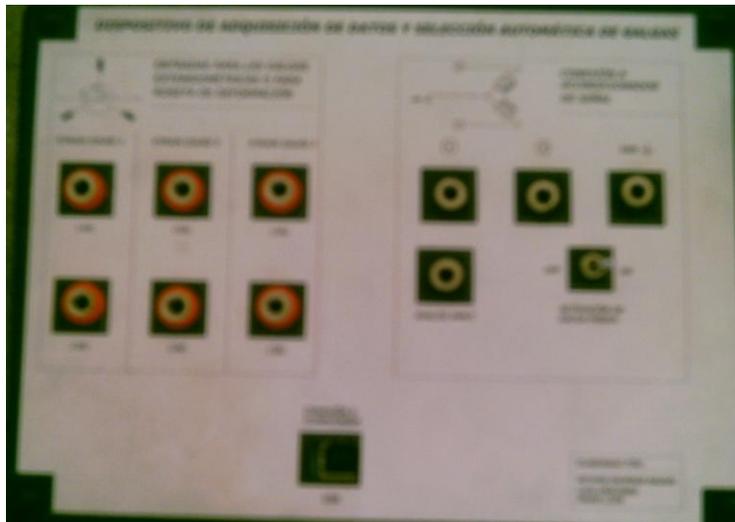


Fig. 6.7. Sistema automático de selección de galgas

6.2.1.3. Sistema de acondicionamiento de datos



Fig. 6.8. Sistema de acondicionamiento de datos.

Entre las principales características del sistema de adquisición de datos están:

- Lectura directa de deformación.
- Balance individual.
- Trabaja a puente y medio puente.
- Salida digital.
- Salida osciloscopio.

6.2.1.4. Tarjeta de adquisición de datos.

Para la tarjeta de adquisición de datos se selecciono la PMD –1206LS de la Measurement Computing. Por las siguientes características que ayudan al proyecto:

- La tarjeta es relativamente pequeña, con lo cual se puede hacer un sistema que ocupe muy poco espacio.
- El precio de la tarjeta es muy cómodo (120,00), en comparación con otros sistemas similares que llegan hasta costar 400 a 500 dólares.
- La tarjeta no necesita ninguna fuente externa, excepto la proporcionada por el USB de 10V.
- El poseer librerías para trabajar tanto en Visual Basic así como LabVIEW, además tiene características para ser manejada por un lenguaje como C, Pascal, etc.
- El tener 16 salidas y entradas digitales (dependiendo de cómo se configure en la tarjeta) la cantidad suficiente con

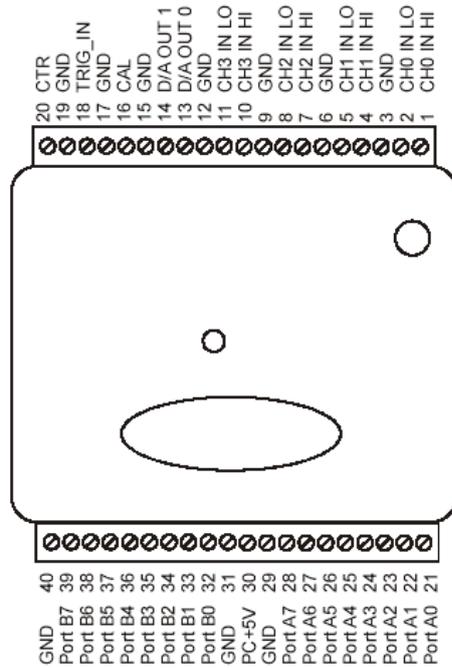
los cuales se pueden operar los relés sin necesidad de un circuito más complicado del necesario.

- El tener buena ganancia (5 en el presente caso), que es el factor por el cual automáticamente la tarjeta lo amplifica interiormente.

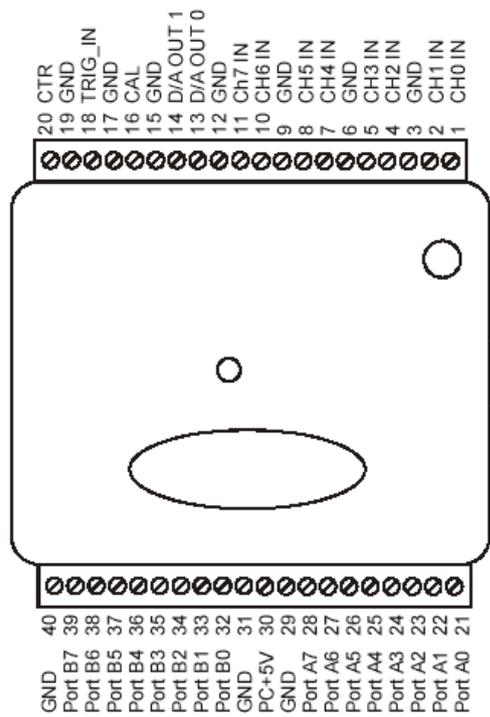


Fig. 6.9. Tarjeta de adquisición de Datos

Además la tarjeta consta de dos tipos de modalidades que pueden ser la diferencial y la simple, para la tesis se requiere la mejor apreciación posible por ende se ha optado por la configuración diferencial, a continuación presento esquemáticamente los dos tipos de configuraciones:



Configuración Diferencial



Configuración Simple

Fig. 6.10. Configuraciones de la tarjeta de adquisición de datos

A continuación se cita las especificaciones más importantes de la tarjeta:

Tabla 6.1. Entradas Analógicas

<i>Entradas Analógicas</i>		
Parámetro	Condición	Especificaciones
Convertidor tipo A/D		Tipo de aproximación sucesiva
Entrada del rango de salida de voltaje, configuración simple.	CHx to GND	±10V máx.
Entrada del rango de salida de voltaje, configuración diferencial.	CHx to GND	-10V min., +20V máx.
Rango absoluto de entrada de voltaje.	CHx to GND	±40V máx.
Corriente de Entrada	V _{in} = +10V	70µA typ
	V _{in} = 0V	-12µA typ
	V _{in} = -10V	-94µA typ
Número de Canales.		8 simples / 4 diferenciales, Selección por software
Rango de entrada, configuración simple.		±10V, G=2
Rangos de salida , configuración diferencial		±20V, G=1 ±10V, G=2 ±5V, G=4 ±4V, G=5 ±2.5V, G=8 ±2.0V, G=10 ±1.25V, G=16 ±1.0V, G=20 Selección por software
Zámpelo	Software	50 S/s
	Escaneo continuo	1.2 kS/s
	Zámpelo FIFO	8 kS/s
Canal Ganancia Queue	Arriba de 8 elementos	Configuración por Software
Resolución	Diferencial	12 bits
	Entrada Simple	11 bits
Parámetro	Condición	Especificaciones
CAL Accuracy	CAL = 2.5V	±0.05% typ, ±0.25% máx.
Error Lineal		±1 LSB typ
Error Diferencial		±0.5 LSB typ
Repetibilidad ±1 LSB typ		

CAL corriente	Fuente	5mA máx.
	Sink	20 μ A min., 200nA typ

Fuente: Manual de operaciones de la tarjeta PMD-1208LS

Tabla 6.2. Entradas y salidas digitales

<i>Entradas y Salidas Digitales</i>	
Tipo Digital	82C55
Número I/O	16 (Puerto A0 al A7, Puerto B0 al B7)
Configuración	2 bancos de 8
Configuración , prendido y apagado	Configuración por software
Entrada de alto Voltaje	2.0V min., 5.5V máx. absoluto
Entrada de bajo Voltaje	0.8V máx., -0.5V min. Absoluto
Salida de alto voltaje (IOH = -2.5mA)	3.0V min.
Salida de bajo Voltaje (IOL = 2.5mA)	0.4V máx.

Fuente: Manual de operaciones de la tarjeta PMD-1208LS

Tabla 6.3. Características Generales

<i>Características Generales</i>		
Parámetros	Condiciones	Especificaciones
USB Controlador de Error	25 °C	\pm 30 ppm máx.
	0 to 70 °C	\pm 50 ppm máx.
	-40 to 85 °C	\pm 100 ppm máx.
Tipo de Dispositivo		USB 1.1 baja velocidad
Compatibilidad del Dispositivo		USB 1.1, USB 2.0

Fuente: Manual de operaciones de la tarjeta PMD-1208LS

Dos circunstancias conflictivas presentaba la tarjeta que se pueden solucionar:

- La velocidad de la tarjeta es muy baja (1,2 KS/s), pero como es una aplicación que no requiere una alta velocidad de muestreo esto no influye en el proyecto actual.
- Es sensible a la corriente estática, pero esto se resuelve con una adecuada aislamiento de la tarjeta al medio y las debidas advertencias.

6.2.2. Desarrollo del software.

Para el desarrollo del software lo primero que se hizo fue seleccionar del amplio mercado del software dos programas en los cuales se tenga práctica y facilidades en el uso, en mi caso he seleccionado: Microsoft Visual Basic y LabVIEW de la Nacional instruments. Para lo cual primero hago una pequeña reseña de cada uno de los programas y de sus facilidades:

6.2.2.1. Visual Basic

El lenguaje de programación Visual Basic, es un programa muy bueno debido a la grandes posibilidades que da a los expertos en el desarrollo de difíciles programas que en otros tipos de lenguajes que demoraría demasiado tiempo, y en cambio para los novatos permite realizar muy buenos programas sin tener altos conocimientos de programación, para el proyecto en específico tiene las siguientes cualidades:

- Es fácil de programar, además el CD contiene, librerías para la tarjeta de adquisición de datos (aunque estas este en una versión inferior a las 6.0 lo cual representa un problema debido a la adaptación que esto requiere).
- El programa es fácil de usar debido a que el tipo de programación es un tanto grafica (aunque no tanto como es en el LabVIEW), y los comandos y sentencias me son familiares debido a que la programación en excel es parecida a la que se realiza aquí.
- El programa Visual Basic no posee librerías de manejo especializado de adquisición de datos, pero existen módulos gratuitos en Internet que sirven con ese fin.

- Visual Basic permite una excelente presentación de la información así como el almacenamiento de datos a través de base de datos.

6.2.2.2. LabVIEW

El LabVIEW (Laboratory Virtual Engineering workbench) es muy utilizado en lo que son los sistemas de adquisición de datos, porque es un programa enfocado a lo que es la instrumentación virtual, tanto así que es parte de la parte práctica del curso de PLC que se da en la facultad. Con referente a la tesis es importante recalcar los puntos en los que puede ayudar este programa:

- Es de fácil uso, debido a que incorpora un lenguaje denominado G, el cual permite realizar toda la programación de manera grafica.
- Es un programa que cuenta con librerías especializadas para el manejo de DAQ, Análisis, Redes , Comunicación, Gráficos, etc. (además el software de la tarjeta viene con librerías especializadas que permiten el rápido uso y que son perfectamente compatibles con la versión 6.1 que se propone utilizar para realizar la tesis).
- Cuenta con numerosas cosas preconstruidas (botones, diagramas, etc.) que con otros programas se demoraría mucho, con lo que el tiempo de trabajo se reduce considerablemente.
- Se pueden utilizar otras subrutinas antes elaboradas para desarrollar un aplicación con mayor facilidad y ahorro de tiempo.
- Permite el paso entre diferentes plataformas (tal como Macintosh) y poder seguir utilizando el mismo programa.

6.2.2.3. Selección del programa.

Para seleccionar entre uno de los dos programas se ha evaluado en diferentes categorías como se muestra en la siguiente tabla:

Característica	%	Visual Basic	LabVIEW
Manejo de datos	30	8	10
Programación	20	10	10
Compatibilidad	20	7	10
Soporte Técnico	20	9	7
Facilidad de uso	10	9	8
TOTAL	100	8,5	9,2

Cuadro. 6.2. Comparación entre programas

Como se puede ver en el cuadro anterior el programa elegido para realizar el software a sido el LabVIEW.

6.2.2.4. Introducción al LabVIEW

Antes de empezar con las partes principales del programa y como esta configurado he visto la necesidad imperante de hablar acerca del programa Laview y especificar en breves rasgos cuales son sus partes principales y como funciona. Para el presente trabajo se realizo en la versión 6.1 del programa.

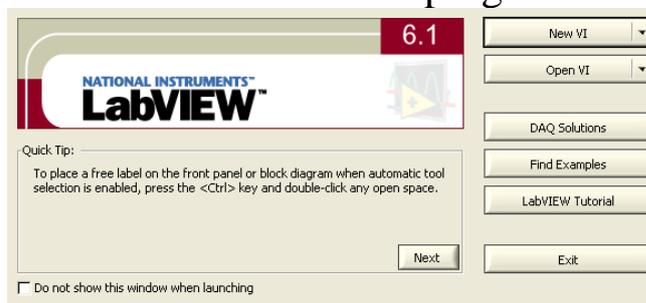
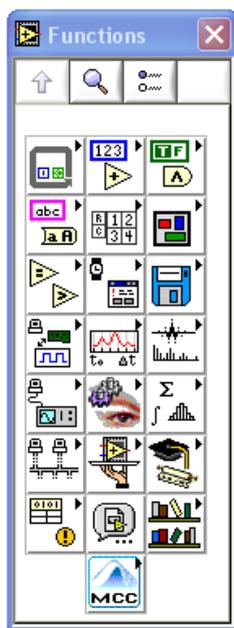


Fig. 6.11 Pantalla de inicio del LabVIEW 6.1.

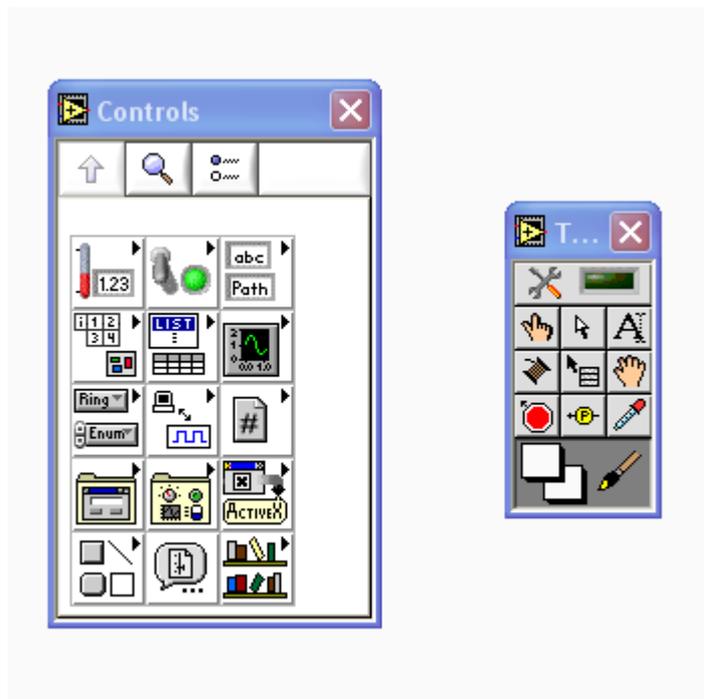
Empecemos por que tipos de datos maneja el LabVIEW, entre los principales datos que maneja el LabVIEW están:

- Enteros Simples
- Enteros sin signo
- De punto flotante
- De punto flotante complejo
- Booleano
- Cadenas de caracteres
- Arrays
- Etc.

El LabVIEW consta de un grupo de paletas las cuales son de controles, funciones y de herramientas como se puede ver en la siguiente figura:



(a)



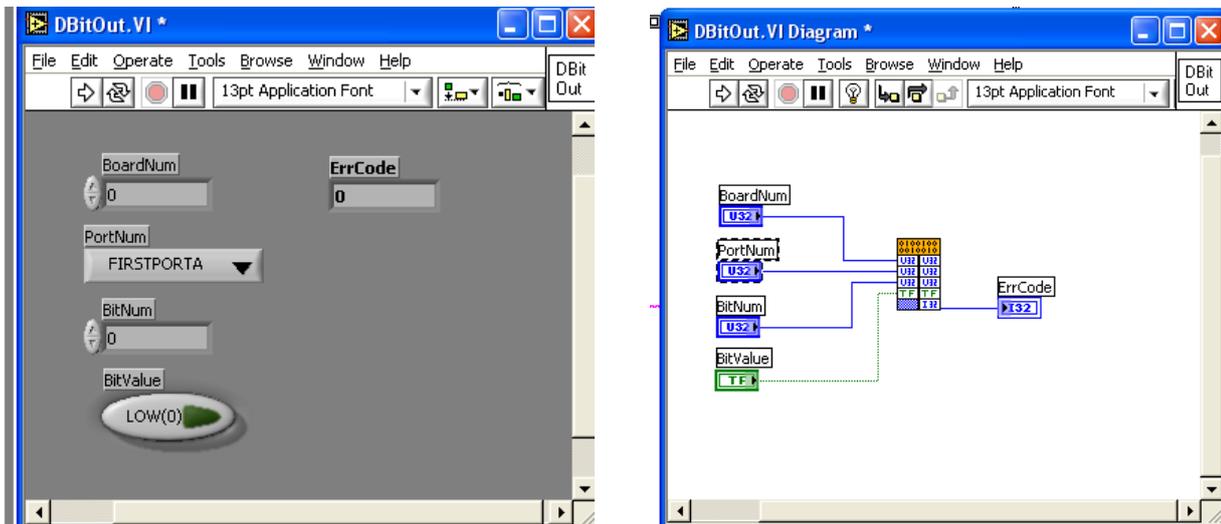
(b)



(c)

Fig. 6.12. a. Paleta de funciones, b. Controles y c. Herramientas.

En el LabVIEW existen dos tipos de vistas para el proyecto, la primera es panel que es en donde se muestran los botones, y la interfase que va ha estar en contacto con el usuario, y la segunda es la de gráficos en donde esta el “código” aunque este también se encuentre gráficamente, a continuación muestro los dos tipos de vistas.



(a)

(b)

Fig. 6.13. Los dos tipos de vista: a. Panel y b. Diagramas.

Como podemos ver el entorno de programación en LabVIEW es totalmente grafico lo cual permite una mayor comprensión y rapidez en la programación, hasta aquí la pequeña reseña de lo que es el LabVIEW a continuación sito lo que es el desarrollo del programa.

6.2.2.5. Desarrollo del programa.

En el desarrollo del programa se expondrá detalladamente el código de cada una de las partes del programa y como funciona en los dos tipos de vista.

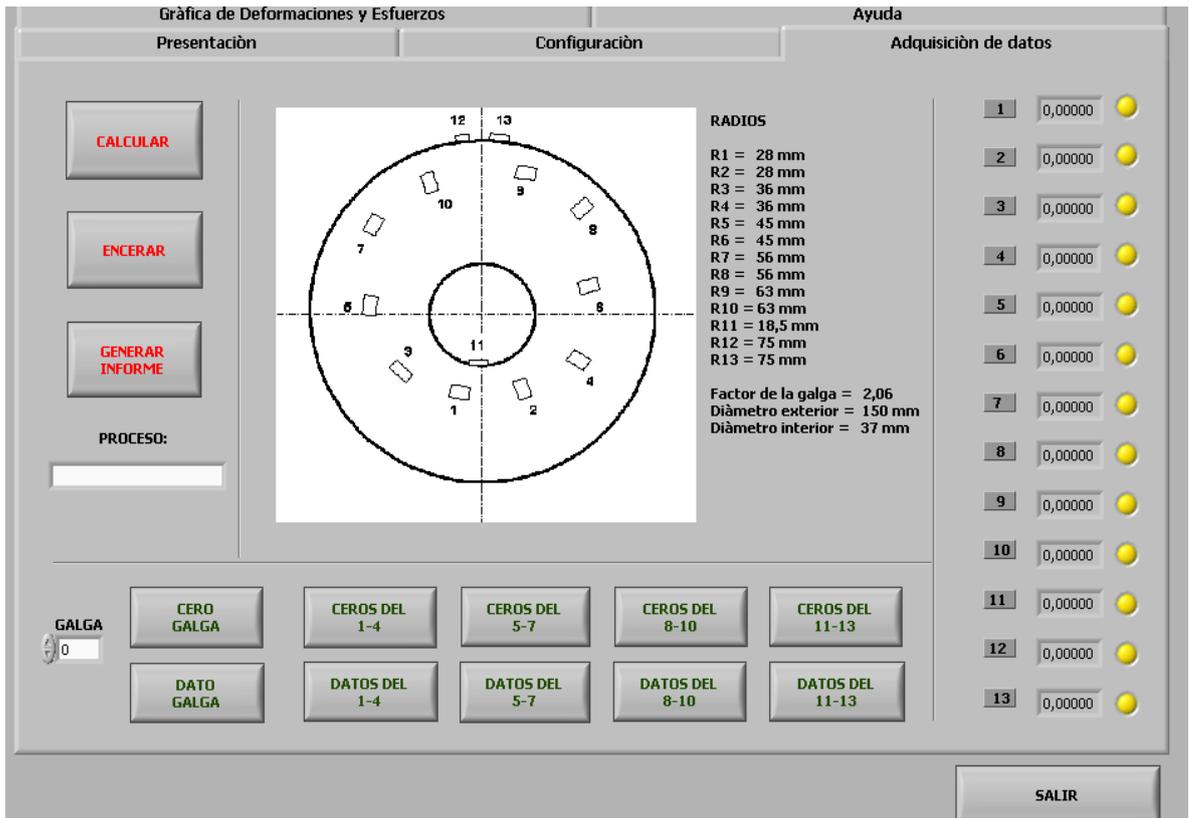
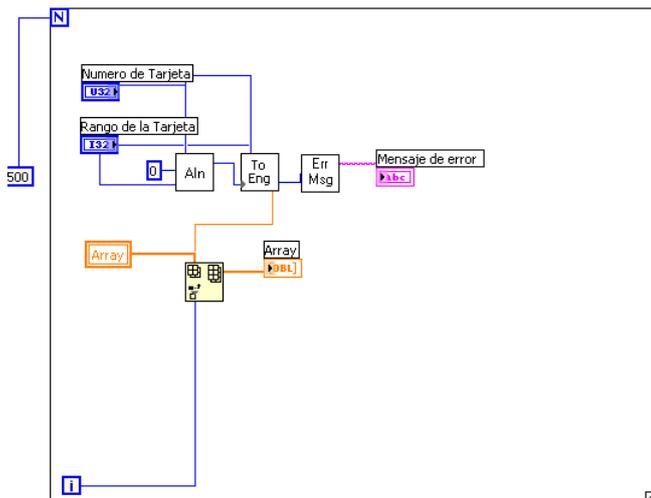
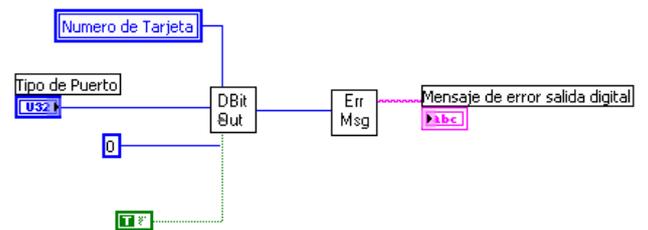
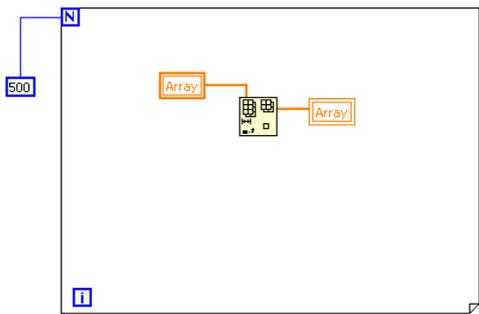


Fig. 6.14. Adquisición de Datos

El proceso para la adquisición de datos se especifica en los diagramas que a continuación se presentan.



(1)

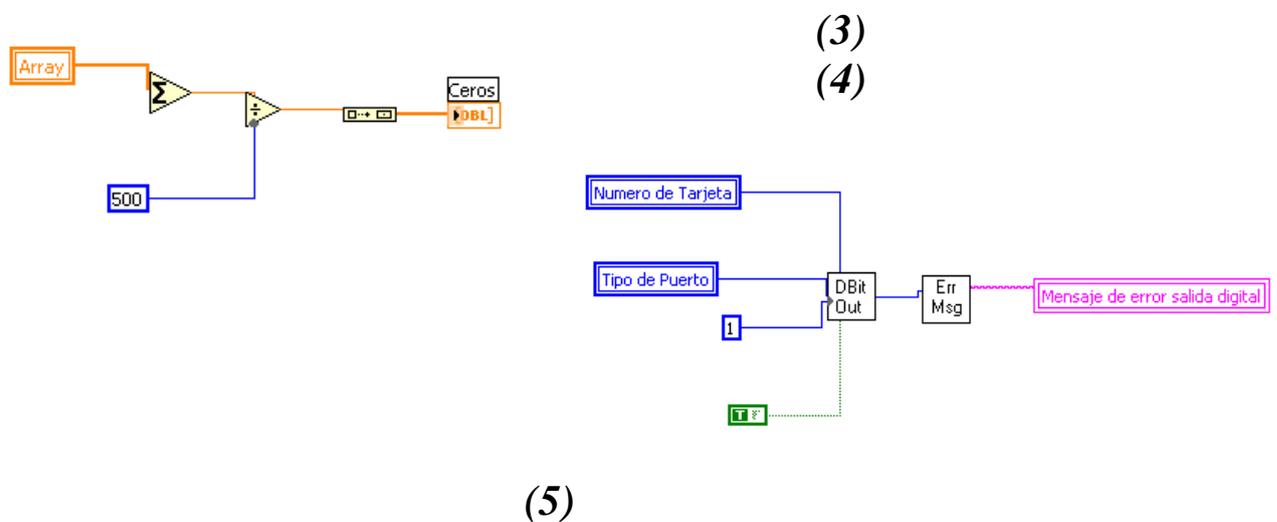


Fig. 6.15. Adquisición de Datos - Esquema

Se genera un arreglo de 500 datos vacíos (1), se enciende la salida digital⁶ cero (2), a continuación se leen 500 datos en la entrada analógica cero (3), se saca el promedio de los 500 datos y se los guarda en un arreglo (4) y por ultimo se apaga la salida digital cero (5).

Se repite el proceso para las siguientes galgas, en cada caso prendiendo una salida digital diferente, y guardándolo en la siguiente posición del arreglo. Este proceso se repite tanto para la lectura de ceros y para una presión dada.

A continuación el botón de calcular resta los arreglos tomados a una presión dada con el cero de referencia, con esto se obtiene la diferencia de voltaje entre los dos. Como se puede ver en la siguiente figura.

⁶ En realidad el relé se prende cuando recibe de la salida digital 0V. El procedimiento que se cita arriba es únicamente con fines explicativos.

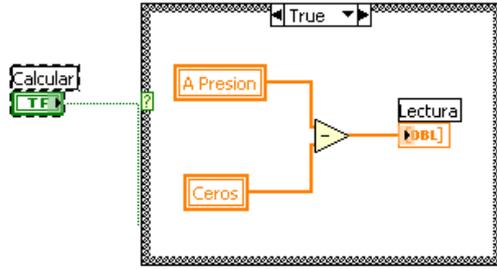


Fig. 6.16. Botón “CALCULAR”

El botón “PONER A CEROS” reinicia los arreglos como se puede ver en la siguiente figura:

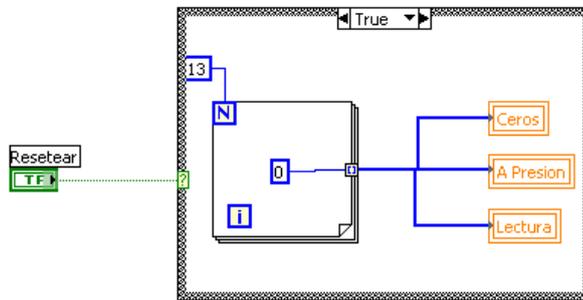
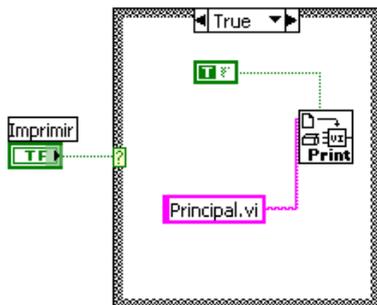
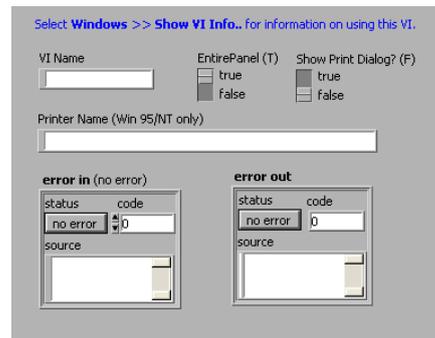


Fig. 6.17. Botón “PONER A CEROS”

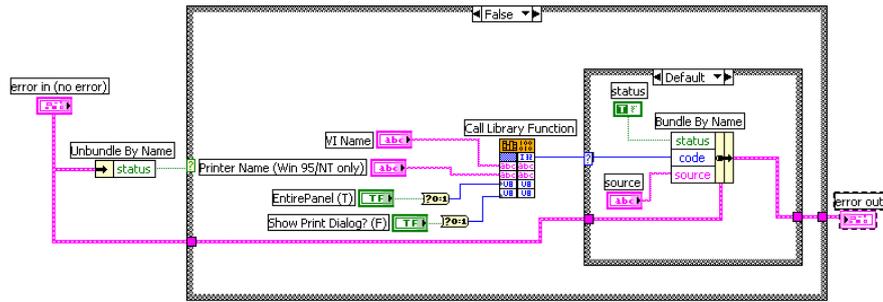
El botón “IMPRIMIR” es una subrutina la cual imprime lo que en ese momento se muestra en la ventana. A continuación presento el código de la subrutina así como se la ejecuta:



(1)



(2)



(3)

Fig. 6.18.. Botón “IMPRIMIR”

A continuación se describe la pestaña de “GRÁFICA DE DEFORMACIONES Y ESFUERZOS”

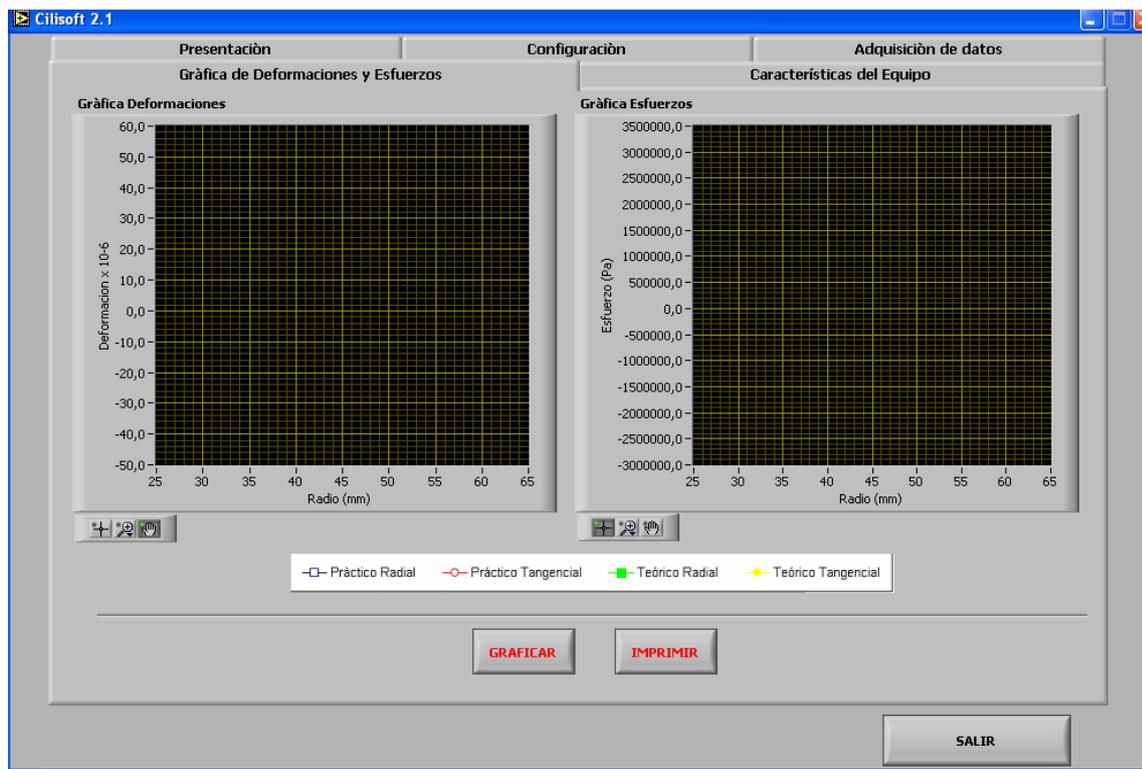


Fig. 6.19. Gráfica Deformación y Esfuerzos

El botón “IMPRIMIR” es idéntico al anterior únicamente que este imprime el contenido actual de la pantalla, el botón “GRAFICAR” lo que hace primeramente es separar en dos arreglos las deformaciones radiales de las tangenciales de las

medidas prácticas, por otra parte se calculan las deformaciones teóricas a partir de las fórmulas expresadas en el capítulo 2 .

Además se grafican los cuatro gráficos obtenidos (dos teóricos y dos prácticos) y se saca el error porcentual que se obtienen de las medidas anteriores como se puede ver en la figura de abajo:

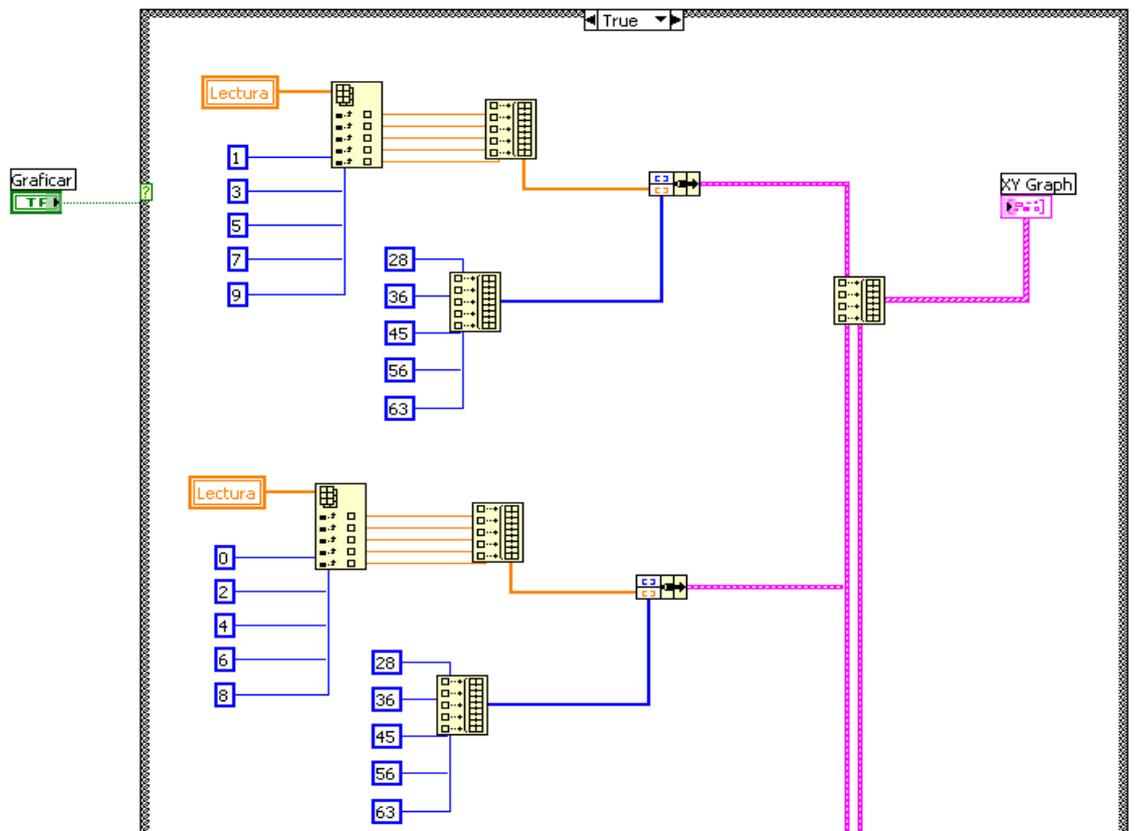
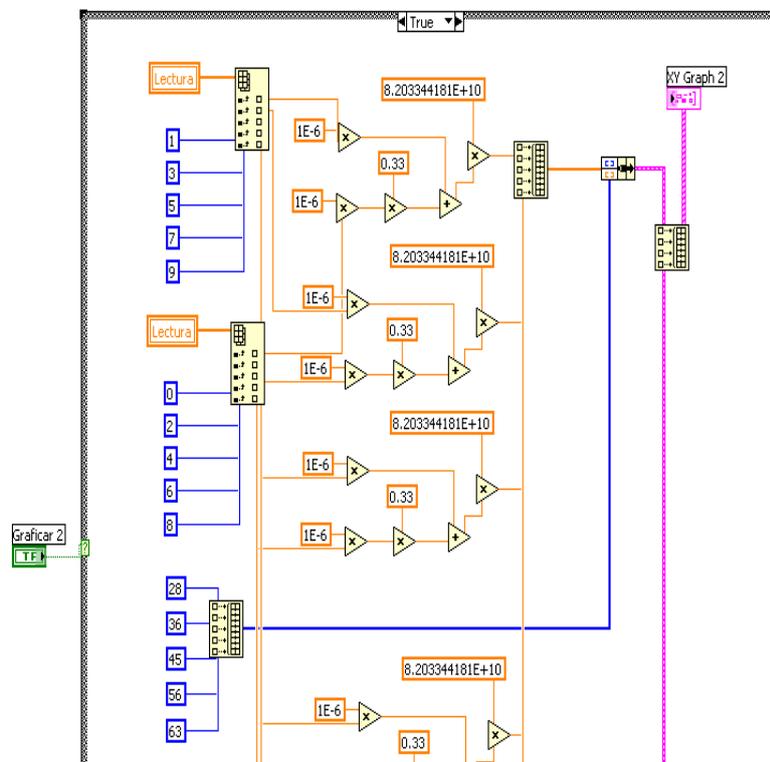
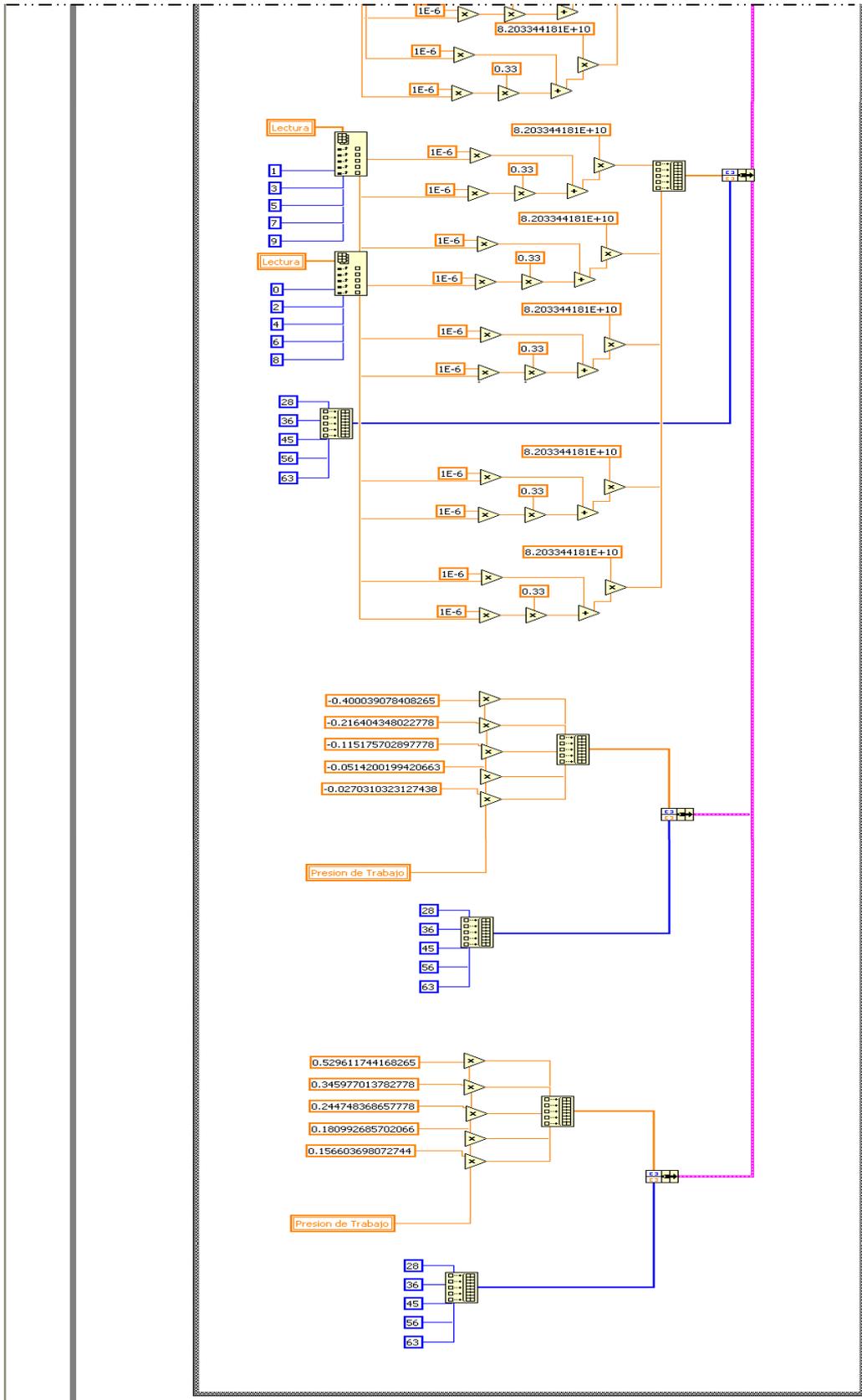


Fig. 6.20. Botón “GRAFICAR DEFORMACIONES”

El botón “IMPRIMIR” es idéntico a los dos anteriores, únicamente que este imprime el contenido actual de la pantalla, el botón “GRAFICAR” lo que hace primeramente es separar en dos arreglos las deformaciones radiales de las tangenciales de las medidas prácticas y calcula los esfuerzos radiales y tangenciales a partir de las fórmulas expresadas en el capítulo 3 . También se calculan a partir de las fórmulas del capítulo 3 los esfuerzos radiales y tangenciales teóricos.

Además se grafican los cuatro gráficos obtenidos (dos teóricos y dos prácticos) y se saca el error porcentual que se obtienen de las medidas anteriores como se puede ver en la figura de abajo:





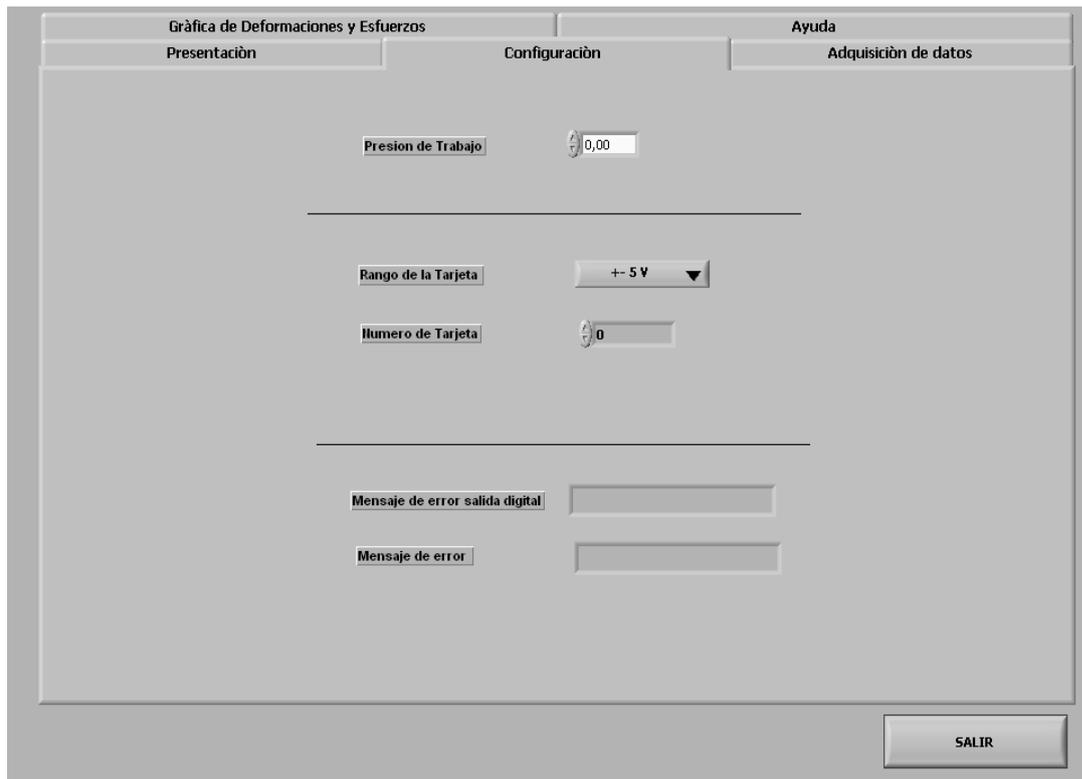


Fig. 6.22. Configuración

En la pestaña de “configuración” existen ciertos datos que se deben llenar antes de empezar el ensayo que describo a continuación:

Presión de Trabajo.- Este dato es sumamente importante que suministre el operador debido a que si este dato la computadora no puede realizar los cálculos en las respectivas pestañas.

La tarjeta posee ciertos rangos de voltaje que se pueden configurar por medio de software, como se muestra en la figura:

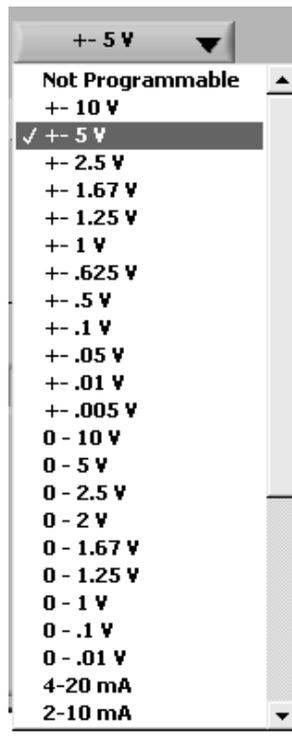


Fig. 6.23. Configuración de voltaje

Los rangos y ganancia de cada una de las configuraciones se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 6.4. Ganancia en modo diferencial

<i>MODO DIFERENCIAL</i>	
Rango	Ganancia
$\pm 20V$	G=1
$\pm 10V$	G=2
$\pm 5V$	G=4
$\pm 4V$	G=5
$\pm 2.5V$	G=8
$\pm 2.0V$	G=10
$\pm 1.25V$	G=16
$\pm 1.0V$	G=20

Fuente: Manual de operaciones de la tarjeta PMD-1208LS

En el modo simple trabaja en los rangos de $\pm 10V$ y $G = 2$, por eso es mejor trabajar en modo diferencial y el sistema trabaja

muy bien en el rango de $\pm 4V$ debido a que a un menor rango no se lee algunas galgas, y no se puede tomar los datos ya que exceden el rango.

Tipo de Puerto.- El tipo de puerto es una configuración para otro tipo de tarjeta, en la tarjeta que tenemos actualmente no es importante.

Número de Tarjeta.- El número de tarjeta es el que adjudica el programa InstalCal, generalmente es el uno en caso de tener únicamente esta tarjeta, porque el cero está dado para una tarjeta demo. En caso de tener más tarjetas conectadas hay que verificar que número es la tarjeta y adjudicarlo antes de empezar el ensayo.

Mensaje de error de salida digital.- Es los mensajes que presentan las salidas digitales en caso de que algo no funcione en cuanto al prendido de relés.

Mensaje de error de Tarjeta.- Este mensaje de error se presenta cuando la conexión con la tarjeta no se puede establecer por alguna razón.



Fig. 6.24. Presentación

En la pantalla “presentación” se da referencia del autor y de las personas que han ayudado al desarrollo del proyecto.



Fig. 6.25. Características del equipo

En la pantalla “ayuda” se da referencia un tanto de los cálculos que se deben realizar así como las diferentes partes del programa.

6.2.3. Ensamblado del sistema.

Para el ensamblado del sistema se puede ver en el esquema que se representa en la siguiente figura:

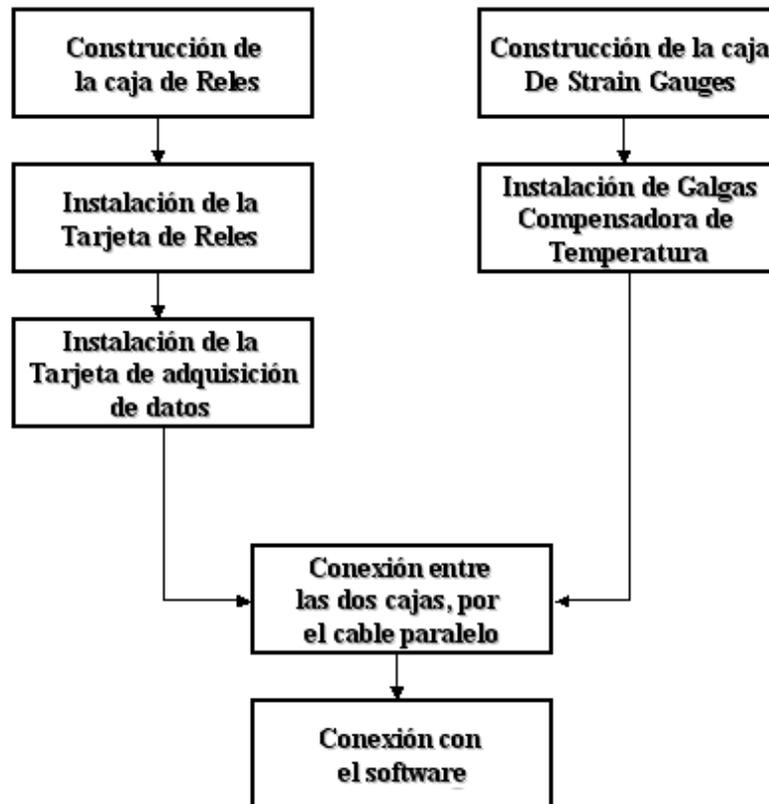


Fig. 6.26. Ensamblado del sistema.

6.2.4. Pruebas de conectividad y transferencia de datos.

6.2.4.1. Pruebas de Conectividad

En las pruebas de conectividad que se le hizo a la tarjeta esta fue detectada perfectamente por la computadora.

En todas las galgas se midió continuidad así como la resistencia, los resultados se muestra en la siguiente tabla.

Galga	Continuidad	Resistencia
1	✓	66.6 Ω
2	x	122.8 Ω
3	✓	66.6 Ω
4	✓	66.6 Ω

5	✓	66.6 Ω
6	✓	66.6 Ω
7	✓	66.6 Ω
8	✓	66.6 Ω
9	✓	66.6 Ω
10	✓	66.6 Ω
11	✓	66.6 Ω
12	✓	66.6 Ω
13	✓	66.6 Ω

Cuadro 6.3. Pruebas de Conectividad

Los cuales están de acuerdo a lo estipulado en los capítulos anteriores de este documento.

6.2.4.2. Pruebas de Transferencia de Datos

Las pruebas de transferencia de datos se realizaron a través del software Instalcal que es suministrado con la tarjeta en la cual recibe señal como se muestra en la siguiente figura:

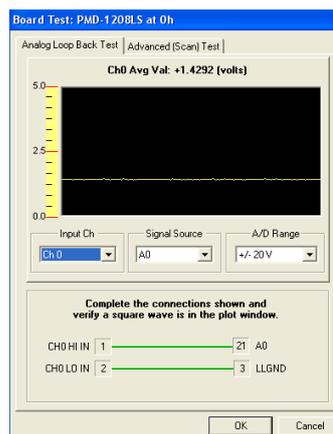


Fig. 6.27. Pruebas de transferencia de datos

Igualmente se hizo la prueba de continuidad a cada un de las galgas obteniendo un resultado satisfactorio en todas como se muestra en la tabla siguiente:

Galga	Continuidad
1	✓
2	x
3	✓
4	✓
5	✓
6	✓
7	✓
8	✓
9	✓
10	✓
11	✓
12	✓
13	✓

Cuadro 6.4. Continuidad

CAPÍTULO 7

PRUEBAS, PUESTA A PUNTO Y CALIBRACIÓN.

7.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

7.1.1. RESISTENCIAS

Medición de resistencia en los strainingauges

N	Selector- Común Activo	Selector – Común Pasivo	Común Activo – Común Pasivo
1	66.6 Ω	66.6 Ω	22.9 Ω
2	----- Ω	120.6 Ω	120.6 Ω
3	66.4 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
4	66.4 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
5	66.5 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
6	66.7 Ω	66.7 Ω	22.9 Ω
7	66.5 Ω	66.5 Ω	22.9 Ω
8	66.5 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
9	66.5 Ω	66.5 Ω	22.9 Ω
10	66.3 Ω	66.3 Ω	22.9 Ω
11	66.3 Ω	66.3 Ω	22.9 Ω
12	66.3 Ω	66.4 Ω	22.9 Ω
13	66.6 Ω	66.5 Ω	22.9 Ω

Cuadro 7.1. Resistencias de las galgas.

7.1.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Para calcular los diferentes valores dentro de las pruebas se han tomado las siguientes fórmulas explicadas ya en el capítulo 1.

ESFUERZOS TEÓRICOS

Se aplican las siguientes fórmulas

$$\sigma_r = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 - \frac{Re^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 + \frac{Re^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_l = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2}$$

ESFUERZOS PRÁCTICOS

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} (\nu \cdot \varepsilon_t + \varepsilon_r)$$

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} (\nu \cdot \varepsilon_r + \varepsilon_t)$$

$$\sigma_l = \frac{\varepsilon_l \cdot E}{-2\nu}$$

ERROR PORCENTUAL ENTRE LOS ESFUERZOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS.

$$E\% = \frac{VT - VR}{VT} \times 100$$

Comparación de medidas Teóricas en deformación con las prácticas.

Medidas Teóricas (m/m x 10 ⁻⁶)						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	9.05	18.10	27.15	36.20	45.25	54.31
2	-7.86	-15.73	-23.59	-31.45	-39.32	-47.18
3	5.71	11.42	17.13	22.84	28.55	34.26
4	-4.52	-9.04	-13.57	-18.09	-22.61	-27.13

5	3.87	7.74	11.60	15.47	19.34	23.21
6	-2.68	-5.36	-8.04	-10.72	-13.40	-16.08
7	2.71	5.42	8.12	10.83	13.54	16.25
8	-1.52	-3.04	-4.56	-6.08	-7.60	-9.12
9	2.26	4.53	6.79	9.06	11.32	13.59
10	-1.08	-2.15	-3.23	-4.31	-5.38	-6.46

Cuadro 7.2. Medidas Teóricas - deformación

Medidas Prácticas (m/m x 10⁻⁶)						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	11	22	29	39	53	64
2	sm	sm	Sm	Sm	sm	sm
3	7	11	17	22	30	34
4	-5	-9	-10	-12	-18	-20
5	4	8	9	11	21	24
6	-3	-4	-6	-7	-10	-14
7	2	5	5	8	14	17
8	-2	-4	-6	-7	-9	-11
9	2	3	6	8	10	15
10	-1	-2	-4	-5	-6	-8

Cuadro 7.3. Medidas Prácticas - deformación

Errores (%)						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	-21.53	-21.53	-6.80	-7.72	-17.11	-17.85
2	sm	sm	Sm	sm	sm	sm
3	-22.60	3.68	0.76	3.68	-5.08	0.76
4	-10.56	0.49	26.29	33.66	20.39	26.29
5	-3.41	-3.41	22.44	28.91	-8.58	-3.41
6	-11.92	25.39	25.39	34.71	25.39	12.95
7	26.15	7.68	38.46	26.15	-3.39	-4.62

8	-31.54	-31.54	-31.54	-15.09	-18.38	-20.58
9	11.67	33.76	11.67	11.67	11.67	-10.41
10	7.13	7.13	-23.83	-16.09	-11.45	-23.83

Cuadro 7.4. Errores entre la deformación teórica y la práctica.

Comparación de medidas teóricas en esfuerzo con las prácticas.

Medidas Teóricas (Pa)						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	5.30E+05	1.06E+06	1.59E+06	2.12E+06	2.65E+06	3.18E+06
2	-4.00E+05	-8.00E+05	-1.20E+06	-1.60E+06	-2.00E+06	-2.40E+06
3	3.46E+05	6.92E+05	1.04E+06	1.38E+06	1.73E+06	2.08E+06
4	-2.16E+05	-4.33E+05	-6.49E+05	-8.66E+05	-1.08E+06	-1.30E+06
5	2.45E+05	4.90E+05	7.34E+05	9.79E+05	1.22E+06	1.47E+06
6	-1.15E+05	-2.30E+05	-3.46E+05	-4.61E+05	-5.76E+05	-6.91E+05
7	1.81E+05	3.62E+05	5.43E+05	7.24E+05	9.05E+05	1.09E+06
8	-5.14E+04	-1.03E+05	-1.54E+05	-2.06E+05	-2.57E+05	-3.09E+05
9	1.57E+05	3.13E+05	4.70E+05	6.26E+05	7.83E+05	9.40E+05
10	-2.70E+04	-5.41E+04	-8.11E+04	-1.08E+05	-1.35E+05	-1.62E+05

Cuadro 7.5. Medidas Teóricas - esfuerzos

Medidas Prácticas (Pa)						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x
3	4.39E+05	6.59E+05	1.12E+06	1.48E+06	1.97E+06	2.25E+06
4	- 2.21E+05	-4.41E+05	-3.60E+05	-3.89E+05	-6.64E+05	-7.20E+05
5	2.47E+05	5.48E+05	5.76E+05	7.13E+05	1.45E+06	1.59E+06
6	- 1.38E+05	-1.12E+05	-2.49E+05	-2.76E+05	-2.52E+05	-4.99E+05
7	1.10E+05	3.02E+05	2.48E+05	4.67E+05	9.05E+05	1.10E+06
8	- 1.10E+05	-1.93E+05	-3.57E+05	-3.58E+05	-3.59E+05	-4.42E+05

9	1.37E+05	1.92E+05	3.84E+05	5.21E+05	6.58E+05	1.01E+06
10	- 2.79E+04	-8.29E+04	-1.66E+05	-1.94E+05	-2.21E+05	-2.50E+05

Cuadro 7.6. Medidas Prácticas – esfuerzos

Errores (%)						
N	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x
3	-26.84	4.81	-8.27	-6.93	-14.09	-8.27
4	-1.96	-1.77	44.53	25.08	18.59	24.53
5	-0.88	-11.94	21.57	27.19	-18.64	-8.25
6	-19.65	41.57	28.07	40.00	56.27	27.83
7	39.27	16.61	54.38	35.53	0.02	-0.99
8	-13.76	-57.44	-31.31	-43.88	-39.74	-23.31
9	12.53	38.72	18.29	16.85	15.98	-7.90
10	-3.18	-43.25	-14.33	-49.04	-33.87	-24.26

Cuadro 7.7. Errores entre el esfuerzo teórico y práctico.

7.1.3. GRAFICAS DE LAS PRUEBAS

1 MPa

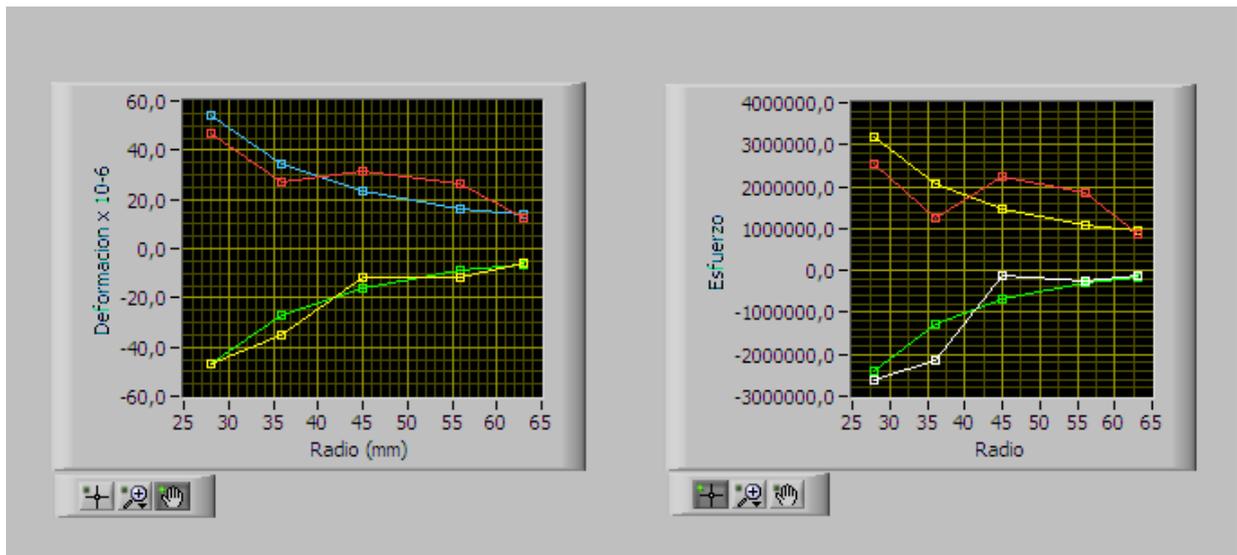


Fig. 7.1. Deformación a 1MPa

2 MPa

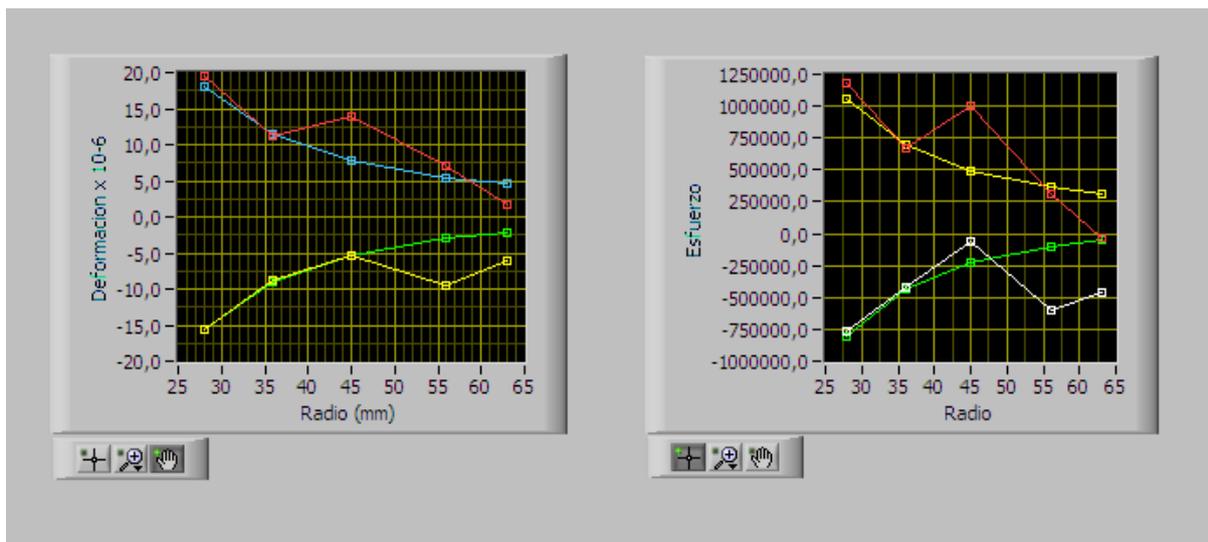
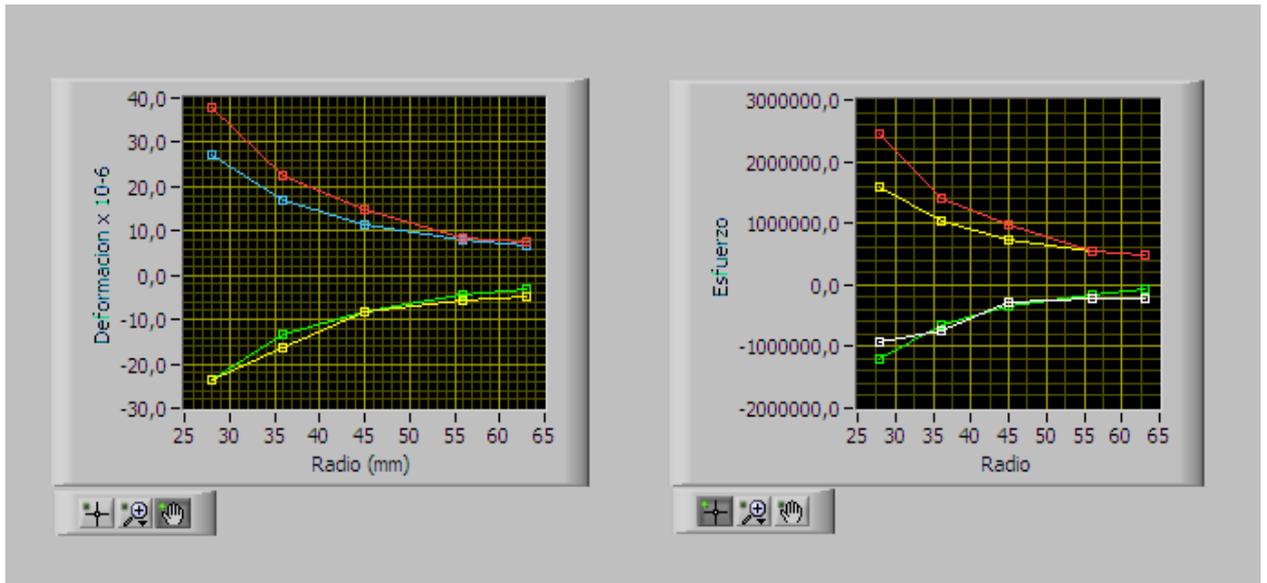


Fig. 7.2. Deformación a 2MPa

3 MPa



**Fig. 7.3. Deformación a 3MPa
4 MPa**

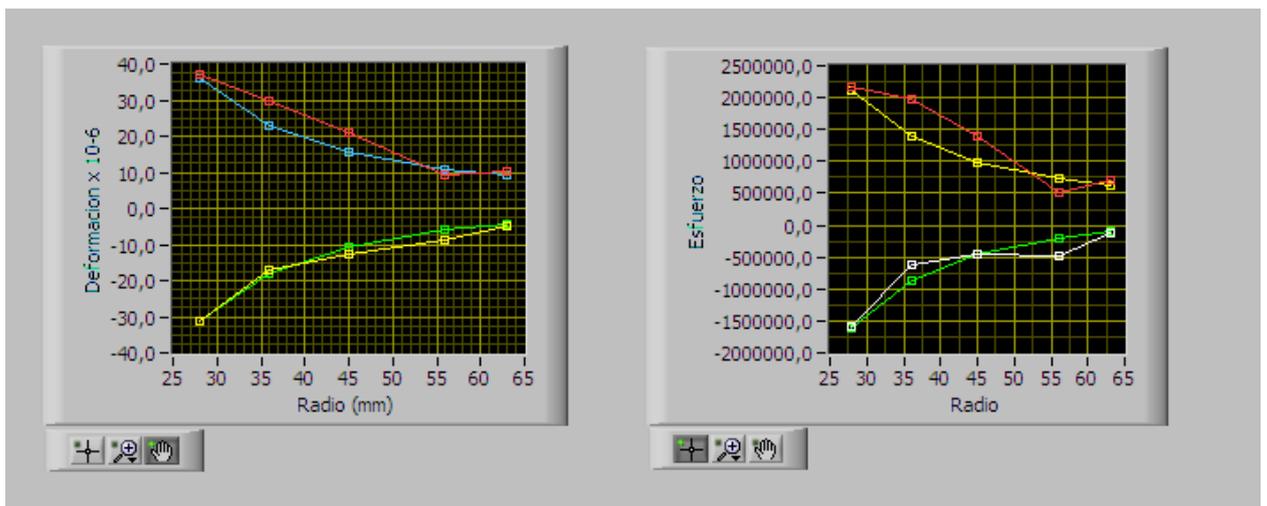


Fig. 7.4. Deformación a 4MPa

5 MPa

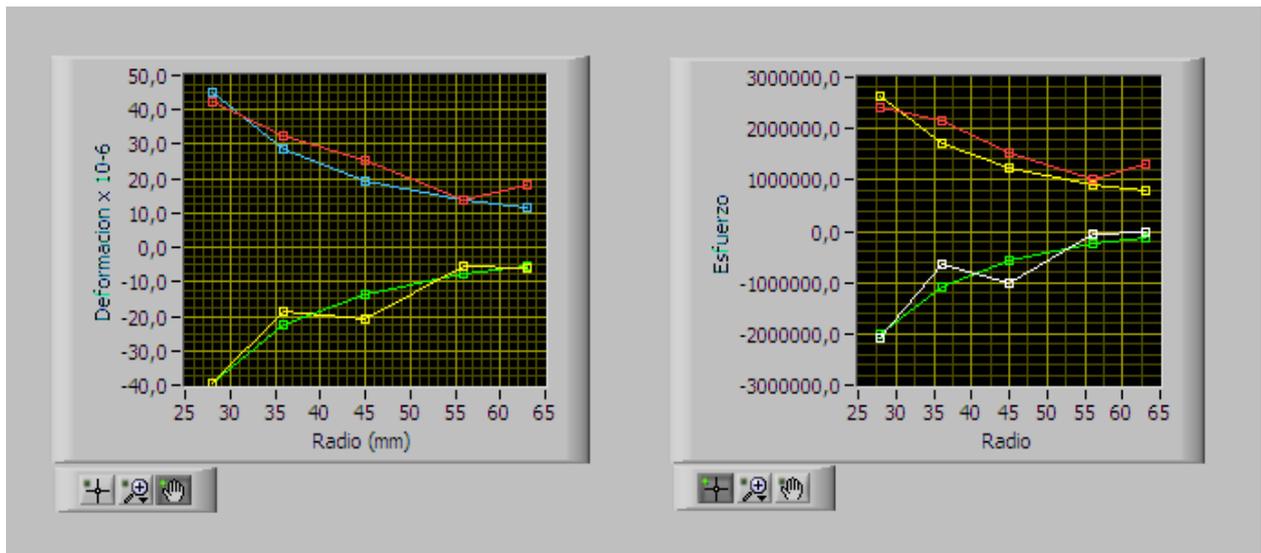


Fig. 7.5. Deformación a 5MPa

6 MPa

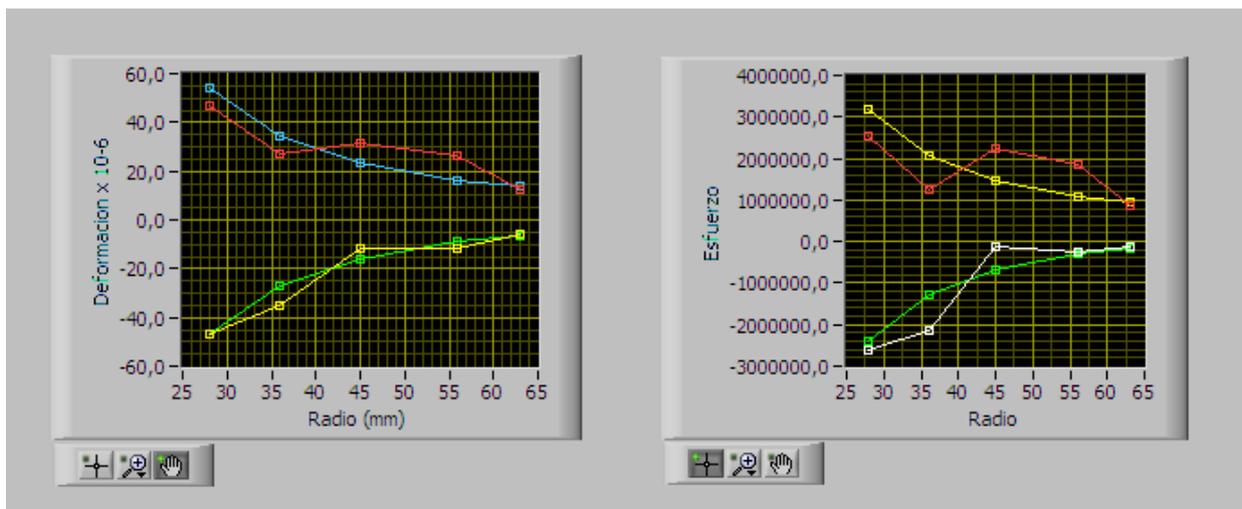


Fig. 7.6. Deformación a 6MPa

7.2. PUESTA A PUNTO.

Para la puesta a punto se realizaron muchas pruebas y ajustes en la caja y las soldas, así como correcciones en el programa.

Las pruebas de transferencia de datos se realizaron a través del software Instalcal que es suministrado con la tarjeta en la cual se recibe la señal como se muestra en la siguiente figura:



Fig. 7.7. Transferencia de Datos

Igualmente se hizo la prueba a cada un de las galgas obteniendo un resultado satisfactorio en todas como se muestra en la tabla siguiente:

Galga	Conectividad
1	✓
2	✓
3	✓
4	✓
5	✓
6	✓
7	✓
8	✓
9	✓
10	✓
11	✓
12	✓
13	✓

Cuadro 7.8. Conectividad

7.3. CALIBRACIÓN.

En todos se midió continuidad así como la resistencia, los resultados se muestra en la siguiente tabla.

Galga	Continuidad	Resistencia
1	✓	66.6 Ω
2	X	120.5 Ω
3	✓	66.6 Ω
4	✓	66.6 Ω
5	✓	66.6 Ω
6	✓	66.6 Ω
7	✓	66.6 Ω
8	✓	66.6 Ω
9	✓	66.6 Ω
10	✓	66.6 Ω
11	✓	66.6 Ω
12	✓	66.6 Ω
13	✓	66.6 Ω

Cuadro 7.9. Continuidad

Los cuales están de acuerdo a lo estipulado en los capítulos anteriores de este documento.

7.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Al analizar los resultados se han sacado las siguientes conclusiones:

- El acondicionamiento que se le realiza a las galgas no es el óptimo, debido a la poca precisión que este tiene con lo cual se obtienen errores grandes y más aun en el sistema automático del equipo.
- Los rangos ideales para que trabaje la máquina son de 3 a 6 MPa porque es donde menores errores se cometen y las galgas sensan mejor.

- Los resultados se pueden mejorar con un mejor acondicionador, con lo cual la diferencia de voltaje será mayor y la apreciación de la tarjeta se mejoraría.
- La estabilidad de las galgas es buena, por lo cual los resultados que se obtienen son fiables.

CAPÍTULO 8

ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO.

A continuación se detalla la inversión que se ha realizado en el proyecto, así como el desglose de los mismos.

8.1. ESTUDIO ECONÓMICO.

Para el estudio económico se detalla los egresos realizados por parte del egresado para el proyecto:

8.1.1. INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN

8.1.1.1. Personal

#	POSICIÓN	[h]	[USD/h]	TOTAL
1	Estudiante	450.00	5.00	2250.00
TOTAL 8.1.1.1.				2250.00

Cuadro 8.1. Gastos Personales

8.1.1.2. Transporte, Papelería y Varios

MATERIALES	[USD]
Suministros de oficina	50.00
Transportación	80.00
TOTAL 8.1.1.2.	130.00

Cuadro 8.2. Gastos Transporte, papelería y varios.

TOTAL 8.1.1.	2380.00
---------------------	----------------

8.1.2. COSTOS DIRECTOS

8.1.2.1. Honorarios a profesionales

#	POSICIÓN	[h]	[USD/h]	TOTAL
1	Director de Tesis	100.00	20.00	2000.00
1	Codirector de Tesis	50.00	20.00	1000.00
1	Ayudante de laboratorio de Resistencia de Materiales.	20.00	10.00	200.00
TOTAL 8.1.2.1.				3200.00

Cuadro 8.3. Honorarios Profesionales

8.1.2.2. Adquisición de materiales y equipos.

Cant	DESCRIPCIÓN	[USD/unidad]	TOTAL [USD]
1	Tarjeta de adquisición de datos	120.00	120.00
1	Quemada de Tarjeta	60.00	60.00
2	Cajas de acero	10.00	10.00
17	Plups	0.30	5.10
13	Reles	2.30	29.90
1	Cable de 25 tomas	1.50	2.70
1	Toma del Cilindro	10.50	15.50
SUB TOTAL			238.20
12% IVA			28.59
TOTAL 8.1.2.2.			266.79

Cuadro 8.4. Adquisición de materiales y equipo

TOTAL 8.1.2.	3466.79
---------------------	----------------

8.1.3. COSTOS TOTALES

El costo total es de 5846,80 dólares.

8.1.4. TIEMPO DE RECUPERACIÓN

Por ser un proyecto del tipo educativo no tiene tiempo de recuperación.

8.2. ESTUDIO FINANCIERO.

El costo del proyecto será financiado en su mayor parte por mi persona.

RUBROS	PRESU PUESTO.	RECURSOS PROPIOS (ESPE)	%	DIRECTOR Y CODIRECTOR	%	RECURSOS EXTERNOS	%
Ingeniería y administración	2380,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2380,00	100,00
Costos directos	3466,79	163,00	4,70	3200,00	92,30	266,79	7,70
Totales parciales	5846.80	163,00	2,79	3200,00	54,73	2646,00	45,25
TOTAL GENERAL							5846.80

Cuadro 8.5. Estudio Financiero.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. CONCLUSIONES.

- Se realizó el estudio de la máquina llegando a que el selector del equipo así como las galgas 2 , 6 y 7 estaban inestables, para lo cual se realizo un cambio del selector por un puerto y el reemplazo de las galgas 2, 6 y 7 después de este procedimiento la galga 2 fue imposible de arreglar.
- Se modifíco el sistema eléctrico del equipo, así como se agrego un mejor sistema para la adquisición de datos, que consta de una circuito de relés que son manejados por una tarjeta de adquisición de datos.
- Se diseño y construyo una caja en la cual se alberga el circuito de relés a si como la tarjeta de adquisición de datos, la cual no sirve únicamente para este proyecto si no presentara una utilidad para diferentes tesis que en el futuro se realicen en el laboratorio de resistencia de materiales.
- Se diseño y programo una interfase que permite el fácil uso, con el software se puede adquirir los datos automáticamente, calcular, graficar e imprimir los resultados que se obtengan de la práctica.

- Para un mejor desempeño del equipo se sugiere al operario que se trabaje entre los rangos de 3 MPa a 5 MPa, debido a que en este rango se tiene el menor error posible.
- Realizando las pruebas de funcionamiento, puesta a punto y calibración de la maquina cilindro se obtuvo resultados favorables por lo cual la máquina se halla en perfectas condiciones para su uso.

9.2. RECOMENDACIONES..

- Se recomienda de que se trabaje en el sistema automático de la maquina debido a que se ahorra tiempo en la misma, y el alumno tiene mas tiempos para realizar más ensayos y aprender de manera mas rápida.
- Que se realicen estudios por parte de lo que es tratamiento de señales, acondicionamiento y aplicación industrial para ayudar al país a desarrollar tecnología.
- Que se apoyen con recursos a tesis de este tipo debido a que los gasto en los que uno se embarcan son altos y el proceso de desarrollo pierde tiempo en su realización debido a la falta de presupuesto.
- A través de este proyecto se ha ayudado a que en la facultad se realicen más proyectos de automatización, y se tenga una mayor experiencia práctica para que futuros proyectos se realicen en menor tiempo y sean de mayor calidad.
- Se debe hacer el mantenimiento adecuado del equipo (cambio de aceite, calibración de la tarjeta de adquisición de datos, etc.) para se mantengan las características óptimas de funcionamiento que posee el equipo actualmente.

- Se puede mejorar la apreciación de las medidas adquiriendo un mejor sistema de acondicionamiento, con lo cual las medidas obtenidas reducirían errores que se podrían presentar en el sistema actual.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- **Mecánica de Materiales – Ferninand Beer , Russel Jhonston – 2da Edición.**
- **Prontuario Máquinas – N. Larburu – 13ra Edición**
- **Materiales y Procesos de manufactura para ingenieros - Doyle, Keyser, Leach, Schrader, y Singer – 3ra. Edición**
- **Electrónica: Teoría de Circuitos – Boylestad, Nashelsky – 6ta Edición**
- **Manual de operaciones de la PMD 1208 LS – Measuring Computing**
- **Universal Lybrary – Fuctions Referente – Measuring Computing**
- **Universal Lybrary – Users Guide for LabVIEW – Measuring Computing**
- **Experimental Stress Analysis - DALLY J.W. y Riley W.F.**

- **User's Manual – Multipoint Strain Measurement System**
- **Strain Measurements – John Vaughan**
- **SM – 1011 User's Manual – TQ Education an Training Ltd.**
- **SM – 111 User's Manual – TQ Education an Training Ltd.**

Web:

- <http://www.ni.com/sigcon>
- <http://www.electronicagratis.com>
- <http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/AnalisisExperimentalDeEsfuerzos/>
- <http://zone.ni.com>
- <http://www.mines.edu/academic/courses>
- <http://digital.ni.com/worldwide>
- <http://www.uantof.cl/facultades/csbasicas/fisica/fisica%20actual/fisica/ACADEMICOS/jkasaneva>
- <http://platea.cnice.mecd.es/~jalons3/4ESO/2elec/esquemaindice2.htm>
- <http://www.runnet.da.ru>
- <http://www.iit.edu/~labview/>

ANEXO A

GUÌA DE PRÁCTICA

TEMA: ESFUERZOS EN CILINDRO DE PARED GRUESA

OBJETIVOS:

- Que el alumno pueda calcular tanto las deformaciones como los esfuerzos que existen a presión interna en un cilindro de pared gruesa.

MARCO TEÓRICO:

La principal diferencia que se debe realizar en cuanto al análisis de cilindros de paredes gruesas con respecto al de paredes delgadas es que se toma en cuenta el esfuerzo radial debido a que este se hace apreciable a medida que el espesor de pared del cilindro es mayor. A continuación se explica la deducción de las fórmulas que rigen el comportamiento teórico de este caso.

Caso General (cilindro con presión interna y externa)

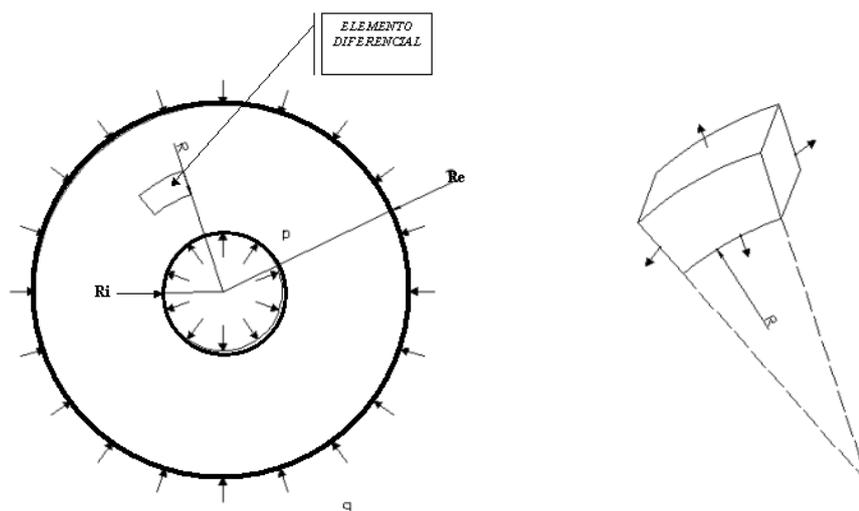


Fig. A.1. Análisis en el cilindro de pared gruesa

Por el elemento diferencial de la figura se deduce que:

$$\frac{d(r\sigma_r)}{dr} d\theta.dr - 2.\theta.dr.\text{sen}\frac{d\theta}{2} = 0$$

Si se conoce que $\text{sen } x = x$ para ángulos pequeños en radianes

$$\theta_t = \frac{d(r\theta_r)}{dr}$$

El desplazamiento radial u , las relaciones deformación desplazamiento son:

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr} \quad \text{y} \quad \varepsilon_t = \frac{u}{r}$$

Por ende tenemos:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \nu.\sigma_t)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E}(\sigma_\theta - \nu.\sigma_r)$$

Donde se desprecia el esfuerzo radial. Se obtiene la solución mediante las condiciones de límite que es la presión interna y la presión externa de la siguiente manera:

$$\frac{du}{dr} = \frac{1}{E}(\sigma_r - \nu\sigma_t)$$

$$u = \frac{r}{E}(\sigma_t - \nu\sigma_r)$$

Las dos ecuaciones se combinan para eliminar u y se obtiene:

$$r \frac{d\sigma_\theta}{dr} - \nu r \frac{d\sigma_r}{dr} + (1 + \nu)(\sigma_t - \sigma_r) = 0$$

Combinando esta ecuación con la ecuación anterior se obtiene:

$$\frac{d^2\sigma_r}{dr^2} + \frac{3}{r} \frac{d\sigma_r}{dr} = 0$$

Solucionando la ecuación diferencial se obtiene:

$$\sigma_r = C_1 + \frac{C_2}{r^2}$$

Poniendo las condiciones de borde se obtiene las fórmulas de los esfuerzos y desplazamiento las cuales son:

$$\sigma_r = \frac{-Ri^2 p \left(\frac{Re^2}{r^2} - 1 \right) - Re^2 q \left(1 - \frac{Ri^2}{r^2} \right)}{Re^2 - Ri^2} \quad \text{(A.1)}$$

$$\sigma_t = \frac{Ri^2 p \left(\frac{Re^2}{r^2} + 1 \right) - Re^2 q \left(1 + \frac{Ri^2}{r^2} \right)}{Re^2 - Ri^2} \quad \text{(A.2)}$$

$$u = \frac{r(1-\nu)(Ri^2 p - Re^2 q) + (1+\nu)(p-q) \frac{Ri^2 Re^2}{r}}{E(Re^2 - Ri^2)} \quad \text{(A.3)}$$

Caso específico (cilindros únicamente con presión interna)

Si la presión externa es cero podemos reducir las ecuaciones anteriores a lo siguiente:

$$\sigma_r = \frac{Ri^2 p}{Re^2 - Ri^2} \left(1 - \frac{Re^2}{r^2} \right) \quad (\text{A.4})$$

$$\sigma_t = \frac{Ri^2 p}{Re^2 - Ri^2} \left(1 + \frac{Re^2}{r^2} \right) \quad (\text{A.5})$$

Esfuerzo longitudinal

En este momento se considera en cambio la sección transversal del cilindro:

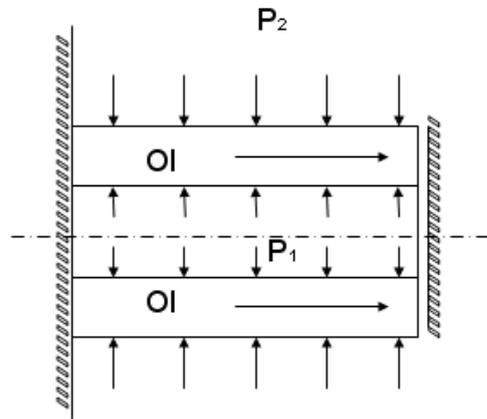


Fig. A.2. Análisis del esfuerzo longitudinal en el cilindro de pared gruesa

Se realiza el equilibrio de fuerzas por ende tenemos:

$$P_1 x \pi Ri^2 - P_2 x \pi Re^2 = O_1 x \pi (Re^2 - Ri^2)$$

Agrupando tenemos:

$$O_1 = \frac{P_1 Ri^2 - P_2 Re^2}{Re^2 - Ri^2} \quad (\text{A.6})$$

En el caso específico de solo haber Presión interna se tiene lo siguiente:

$$\sigma_l = \frac{PRi^2}{Re^2 - Ri^2} \quad (A.7)$$

TABULACIÓN DE DATOS:

Presión del ensayo: MN/m²

Radio (mm)	28		36		45		56		63		75		18.5
N. de Galga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	11
Naturaleza	ϵ_h	ϵ_r	ϵ_h										
<i>Medida Tomada</i>													
<i>Medida Calculada</i>													
<i>Error</i>													

Cuadro A.1. Tabulación de datos.

CALCULOS:

Para realizar los cálculos ya sean prácticos o teóricos se utilizarán las siguientes fórmulas.

ESFUERZOS TEÓRICOS

Se aplican las siguientes fórmulas

$$\sigma_r = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 - \frac{Re^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2} \left(1 + \frac{Re^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_l = \frac{P.Ri^2}{Re^2 - Ri^2}$$

ESFUERZOS PRÁCTICOS

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} (\nu \cdot \varepsilon_t + \varepsilon_r)$$

$$\sigma_t = \frac{E}{1-\nu^2} (\nu \cdot \varepsilon_r + \varepsilon_t)$$

$$\sigma_l = \frac{\varepsilon_l \cdot E}{-2\nu}$$

ERROR PORCENTUAL ENTRE ESFUERZOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

$$E\% = \frac{VT - VR}{VT} \times 100$$

Presión del ensayo: MN/m²

Radio (mm)	28		36		45		56		63		75	
	σ_h	σ_r										
Medida Práctica												
Medida Teórica												
Error												

Cuadro A.2. Datos.

PREGUNTAS:

1. Qué es el diagrama de Láme y para que se aplica?
2. Porqué la deformación longitudinal es constante?
3. Grafique las deformaciones y esfuerzos obtenidos, comente acerca de lo obtenido en las gráficas?
4. Explique que cambios se deberían hacer a la máquina para que funciones con presión externa?

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Emita 3 conclusiones y dos recomendaciones sobre la práctica realizada:

ANEXO B

MANUAL DE OPERACIÓN

B.1. INTRODUCCIÓN AL TQ-SM111.



Fig. B.1. Fotografía de la máquina

El estudio de los cilindros de pared gruesa en la ingeniería mecánica es de suma importancia en vista de ello el laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela Politécnica del Ejército ha visto la necesidad de reparar y modernizar el equipo y es por ello el hecho de este presente manual, para aprender el uso correcto del equipo TQ-SM111.

Es indispensable que el alumno verifique lo estudiado, a través del equipo TQ-SM111 se puede hacer esto y con la adecuada rehabilitación hecha se lo puede hacer más rápido. Las diferentes posiciones de los strain gauge en el interior del cilindro permiten un adecuado estudio de todo el cilindro, obteniendo resultados fiables y verificables.

Además la actualización del TQ-SM111 permite el uso de la computadora, el cual contiene un software que permite la adquisición rápida de los datos del cilindro. Diseñado en el programa LabVIEW permite con gran facilidad el manejo y la adquisición de datos automáticamente.

Una vez que los datos se han obtenidos el programa los puede tabular y graficar sacando las deformaciones teóricas y esfuerzos teóricos, comparándolos con los obtenidos prácticamente, este es un gran ahorro de tiempo, por lo cual el operario se tendrá que concentrar únicamente en lo esencial en el análisis de los datos y el sacar conclusiones.

Es conveniente la lectura del presente manual antes del uso del equipo, en el cual se explican detalles tales como: el uso del equipo, cuidados y restricciones del equipo, instalación del software, etc.

Para más referencias e instrucciones específicas del equipo que no estén citadas en este manual refiérase a la tesis elaborada del mismo.

B.2. INFORMACIÓN DEL TQ-SM111.

B.2.1. DESCRIPCIÓN.

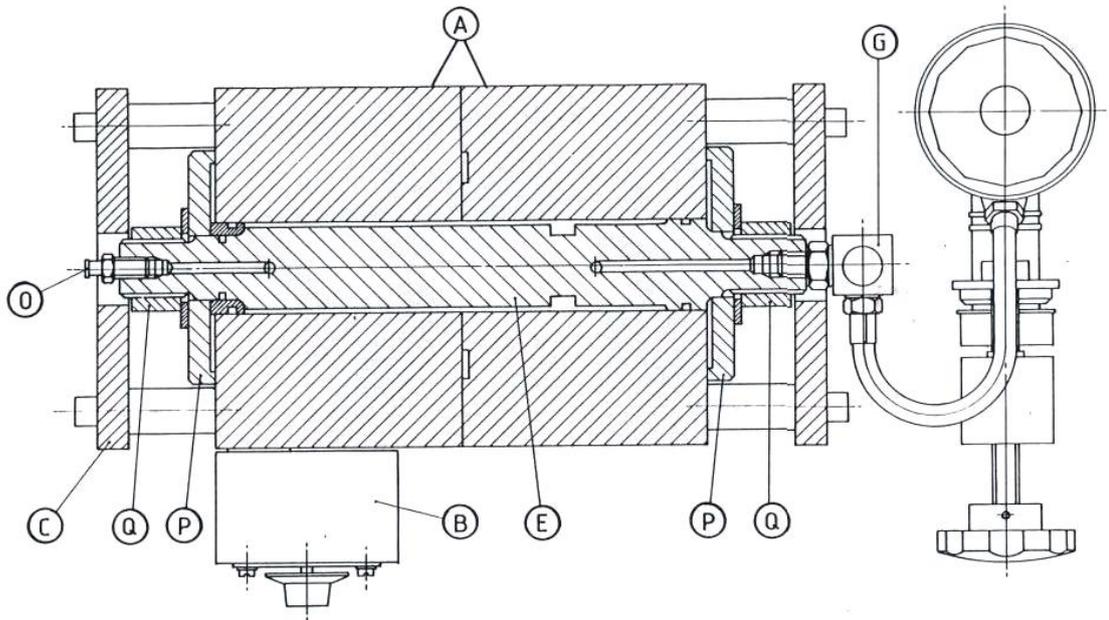


Fig. B.2. Esquema de la máquina

En la figura anterior se puede apreciar un plano seccional del TQ-SM111, en el cual esta compuesto por dos cilindro unidos por una goma especial que resiste altas presiones, en el cual se halla en su interior 13 galgas que están distribuidas como se muestra en la figura B.3, con lo cual se puede realizar un exhaustivo análisis de las deformaciones y esfuerzos que acontecen al interior del cilindro.

El sistema consta de 13 galgas en total, 10 están repartidas al interior del cilindro uniformemente como se puede apreciar en la figura B.3 las tres galgas siguientes están colocadas en puntos de máximos esfuerzos. El resto del circuito es acondicionado por el medidor de deformaciones unitarias, después de lo cual la señal de las galgas es digitalizada y enviada a la computadora para el tratamiento de datos.

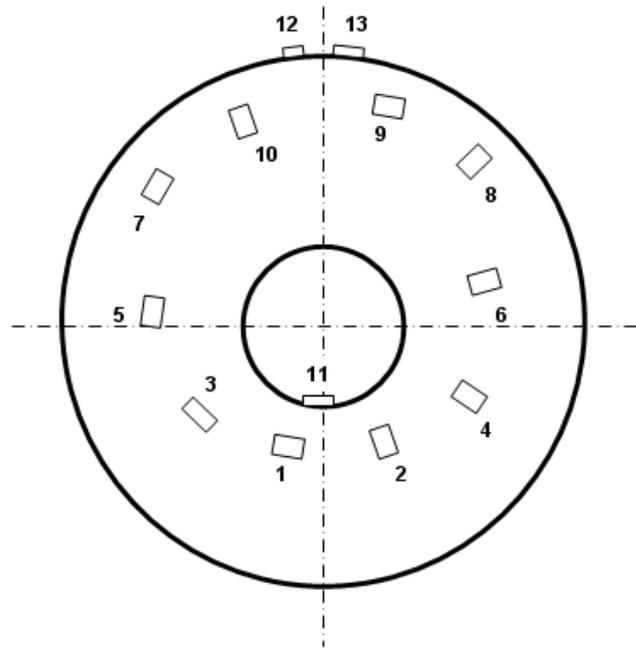


Fig. B.3. Disposición de los Strain Gauges

Tabla B.1. Disposición de Strain Gauges en el cilindro

Orden	Radio (mm.)	Tipo
1	28	Tangencial
2	28	Radial
3	36	Tangencial
4	36	Radial
5	45	Tangencial
6	45	Radial
7	56	Tangencial
8	56	Radial
9	63	Tangencial
10	63	Radial
11	18.5	Circunferencial
12	75	Longitudinal
13	75	Circunferencial

Fuente: Manual de operaciones del equipo TQ-SM111

Es sistema está constituido por un eje hueco de acero principal, por el cual introduce al interior del cilindro el aceite.

El equipo tiene una bomba de aceite, un reservorio, y un manómetro tipo bourdoun con una mascarilla para ver que presión se está aplicandose.

B.2.2. INFORMACIÓN TÉCNICA DEL TQ-SM111.

A continuación se da la información técnica pertinente.

Tabla B.2. Características del Cilindro

Espacio Requerido Aproximado	1m x 2m
Peso	40 Kg. Aprox.
Capacidad de la comba	0.57 litro Aprox.
Aceite Recomendado	Castor Oil
Rango de Presión	0 – 7 MPa
Presión Máxima	7.58 MPa
Dimensiones del cilindro	
Longitud	203 mm
Diámetro externo	150 mm
Diámetro interno	37 mm
Material del cilindro	Aleación de Aluminio
Módulo de Young	73.1 GN/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33
Presión Máxima de Prueba	6,8 Mpa
Tipo de Strain Gauges	Resistencia Eléctrica

Fuente: Manual de operaciones del equipo TQ-SM111

Seguidamente se dan los rangos de trabajo para la máquina, y las condiciones ideales para su mejor uso:

Tabla B.3. Características del Cilindro

Condiciones Ambientales	Rango de Temperatura	-25 a 55°C
	Rango de Temperatura Operativo	+5 a 40°C
	Humedad	30 a 95 % no condensado
	Ambiente Operativo	Ambiente de Laboratorio.
Características Eléctricas	Voltaje (nominal)	110V ~
	Corriente (máxima)	0.62 A
	Frecuencia	60 Hz

Fuente: Manual de operaciones del equipo TQ-SM111

B.3. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA MÁQUINA TQ-SM111.

Para el correcto uso del equipo se deben seguir los siguientes pasos que a continuación se detallan.

1. Instalación del software.
2. Conexión del equipo.
3. Operación del equipo.

B.3.1. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE EN LA COMPUTADORA.

Primeramente se necesita que la computadora detecte el hardware, a continuación se necesita instalar dos programas, el InstalCAL y el PGSM111. Seguidamente se dan los debidos pasos para su correcta instalación.

B.3.1.1. Detección de la tarjeta PMD-1208LS.

Para la detección de la tarjeta PMD-1208LS se necesita seguir los siguientes pasos:

- Cuando por primera vez se conecta el cable USB, el dispositivo empieza a recibir la señal de la computadora, después de un cuanto segundos la computadora despliegue un mensaje de nuevo hardware encontrado:



Fig. B.4. Detección de Hardware

- Seguidamente aparece después de haberse cerrado la primera una segunda que a continuación muestro.

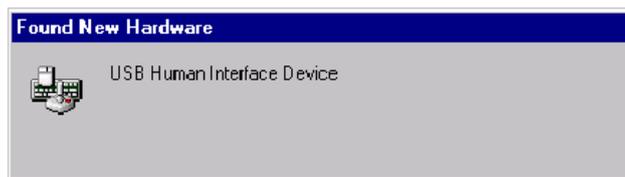


Fig. B.5. Instalación de Hardware

- Después de que se instale el dispositivo, y desaparezca de la pantalla, la comunicación esta establecida entre el dispositivo y la computadora.



Como precaución importante nunca desconecte el cable USB mientras este proceso se realice.

B.3.1.2. Instalación del Instalcal y la Universal Library.

Este software es suministrado en el CD de la tarjeta, para la instalación del mismo siga los siguientes pasos:

- Al inserta el CD en la computadora aparecerá el siguiente cuadro de dialogo:

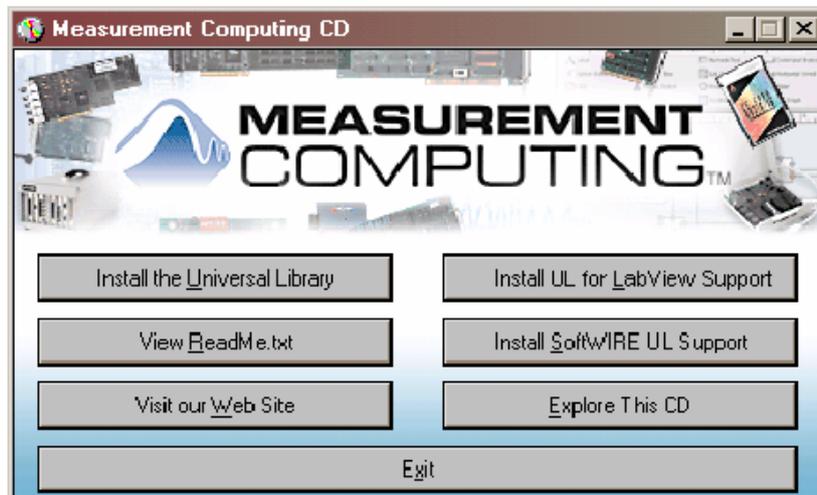


Fig. B.6. Cuadro de dialogo

- Haga clic en la instalación de la Universal Library y siga los pasos que se requieran, el programa instalación automáticamente instala el programa InstalCal.
- A continuación cuando pida la reiniciación diga que no y seguidamente instale las librerías para manejar con Labview el botón es “Install the UL for LabVIEW Support”.
- Siga los pasos que ahí se indican.
- Al terminar el proceso reinicie su computador.

B.3.1.3. Instalación del Cilisoft

Este software es suministrado en el CD de la Tesis, y ha sido desarrollado bajo el programa LabView 6.1. para la instalación del mismo siga los siguientes pasos:

- Copie del directorio de la unidad CD (en nuestro caso la unidad lectora, por ejemplo es D:) “D:\PROGRAMAS\CILISOFT” al escritorio.
- Habrá el LabVIEW 6.1 apriete el botón abrir y seleccione el instrumento virtual “Principal” dentro de la carpeta.
- Cree un acceso directo que le permita ejecutar el instrumento virtual desde el directorio.

B.3.1.4. Configuración de la PMD 1208LS

Toda la configuración de la tarjeta PMD 1208LS es vía software, se puede configura ciertas opciones tales como el tipo de entradas analógicas. A continuación se describe el procedimiento requerido:

- Haga clic en menú **inicio** ⇒ **Measurement Computing** ⇒ **InstaCal** , lo cual ejecutara InstaCal.
- A continuación un dialogo de autodetección aparece de haber encontrado (este dialogo únicamente aparece la primera vez de haber instalado), selecciónelo y apriete OK.



Fig. B.7. Detección de Hardware

- A continuación en la lista de tarjeta una nueva tarjeta es adherida a la nueva lista en la pantalla principal del Instacal.

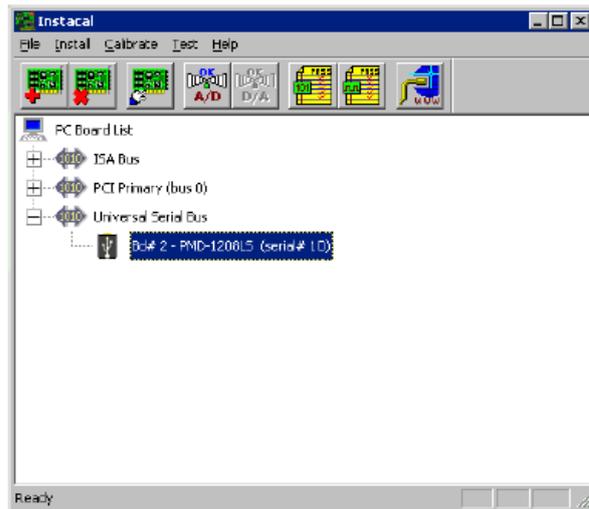


Fig. B.8. Número de Tarjeta

- Haga doble clic sobre la tarjeta PMD–1208 LS, el dialogo de configuración aparecerá como se muestra en la siguiente figura:

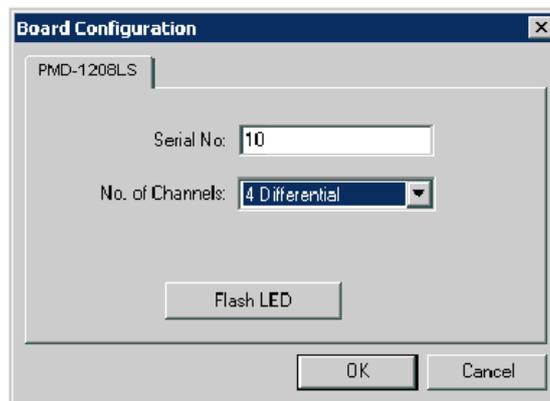


Fig. B.9. Configuración de la tarjeta.

- El serial N. es el número de asignación que se le quiere dar en el USB a la tarjeta, no cambie nada en esta opción.
- Seleccione la configuración diferencial, cierre el diálogo, fíjese en el número de tarjeta y salga del programa.



Asegúrese siempre antes de iniciar cada practica de que la configuración de la tarjeta este en modo diferencial.

B.3.2. CONEXIÓN DEL TQ-SM111

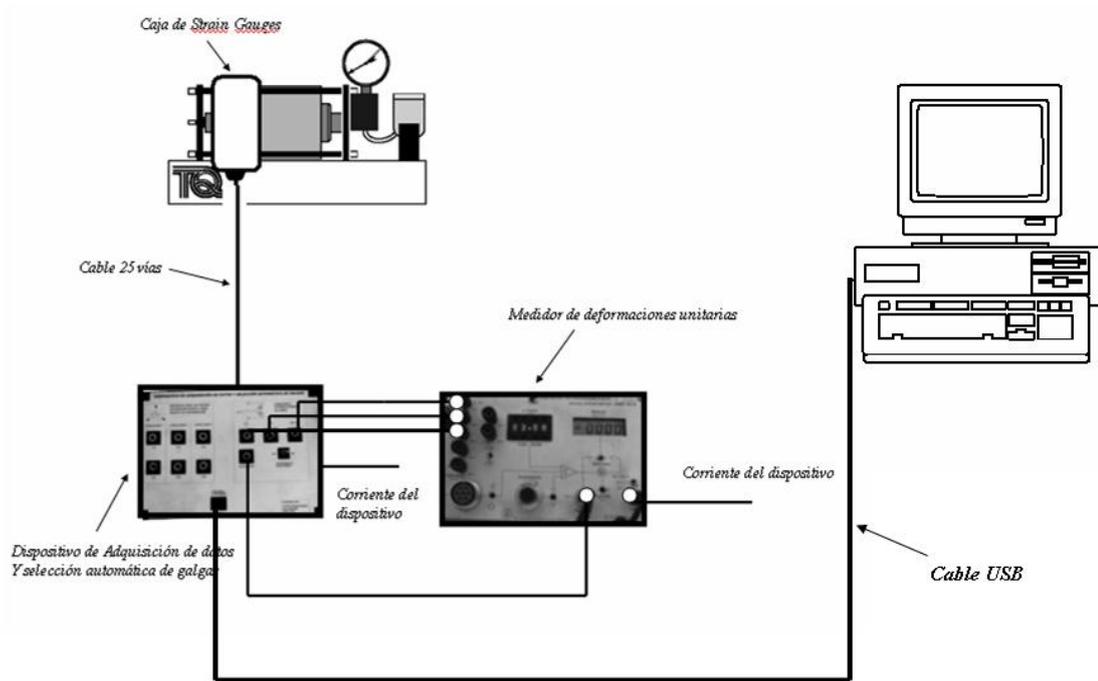


Fig. B.10. Conexión del Sistema

Los pasos a seguir para la correcta conexión son:

1. Se conecta el cilindro TQ-SM111 por medio del cable de 25 vías a la caja de relés.
2. Se conectan los cables a los respectivos terminales (como se indica en la figura) entre el dispositivo de selección automática de galgas y el medidor de deformaciones unitarias.
3. Se enciende el indicador de deformaciones unitarias, en conexión en $\frac{1}{2}$ puente, factor de galga 2,06. Para una mejor visualización a continuación se presenta una foto con la configuración correcta del dispositivo:



Fig. B.11. Medidor de deformaciones unitarias – configuración correcta

4. Se conecta la fuente del dispositivo de selección automática de galgas, asegúrese de que este activado la compensación de medio puente.
5. Se conecta la computadora con el sistema automático de adquisición de galgas, por medio del cable USB.
6. Ejecute el software de la máquina.



No ejecute el programa antes de que las conexiones del equipo estén realizadas.

B.3.3. OPERACIÓN DEL EQUIPO.

Antes de empezar con la práctica es importante que configure la tarjeta en modo diferencial en el InstalCal, al ejecutar el cilisoft le saldrá el siguiente cuadro de dialogo:

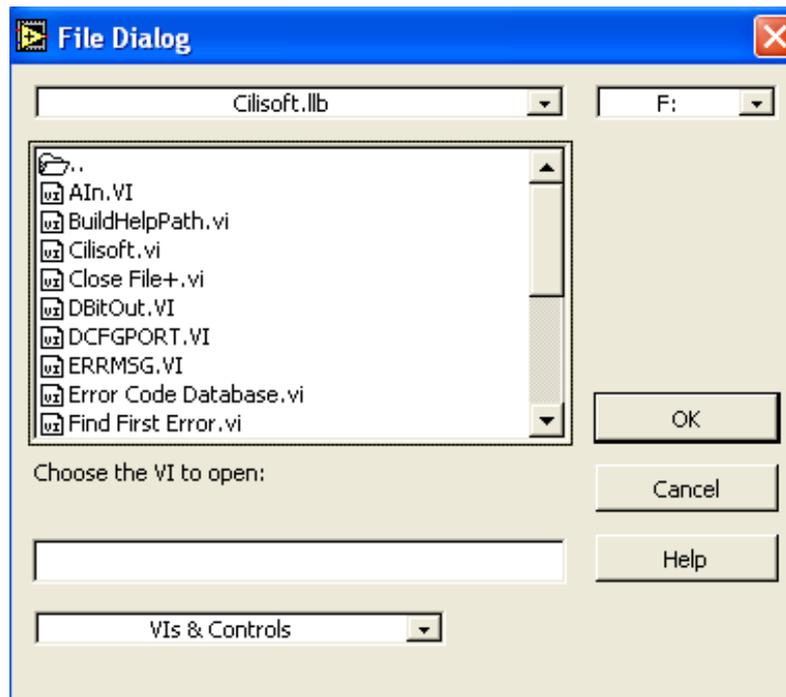


Fig. B.12. Inicio del Cilisoft.

Selecciones Cilisoft.vi, a continuación siga con los pasos siguientes para el uso del software:

1. Configuración del programa.
2. Adquisición de datos.
3. Resultados de los datos obtenidos.

B.3.3.1. Configuración del programa.



Fig. B.13. Configuración del programa.

En la pestaña de “configuración” existen ciertos datos que se deben llenar antes de empezar el ensayo que se describe a continuación:

Presión de Trabajo.- Este dato es sumamente importante que se suministre por el operador debido a que sin este dato la computadora no puede realizar los cálculos necesarios para la verificación de los resultados en el resto del programa.



Como precaución importante nunca sobrepase los 6 MPa en la máquina

Rango de la Tarjeta.- Es un dato extremadamente importante debido a que el programa esta configurado para funcionar a una determinada escala, para el caso del cilindro de pared gruesa se recomienda trabajar en un rango de +- 4 V.



La tarjeta de adquisición de datos debe estar configurada en modo diferencial, y trabajar en un rango de +-4V.

Número de la Tarjeta.- Es un dato importante que se debe ver en el programa InstalCal con este el programa reconoce y adquiere los datos de la tarjeta de adquisición de datos.

Mensaje de error y error salida digital.- Estos parámetros aparecerán si se produce algún error el momento de tomar las medidas con el equipo.

B.3.3.2. Adquisición de datos.

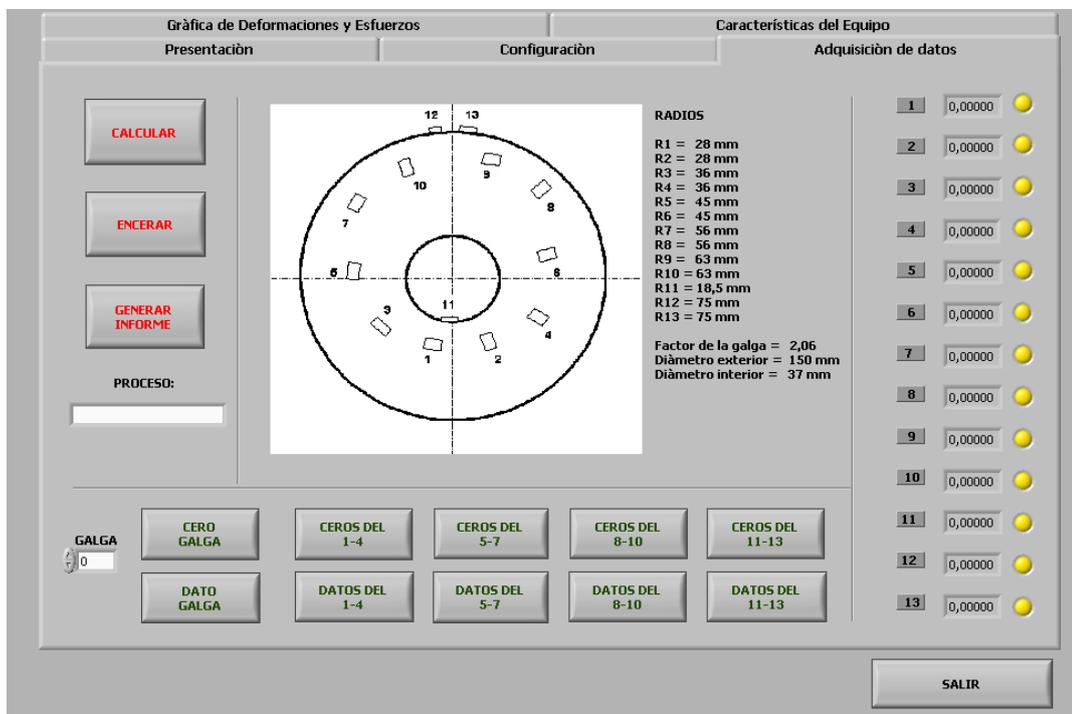


Fig. B.14. Adquisición de Datos

Para la adquisición de datos por medio del software se deben seguir los siguientes pasos:

- Oprima el botón “ceros del 1-4” cuando la máquina este descargada.
- Cargue la máquina a la presión requerida para el ensayo.
- Oprima el botón “datos del 1-4” mantenga la presión estable

- Descargue la máquina y repita el procedimiento para el resto de galgas.



El orden es algo importante en el procedimiento en el caso de que no se siga tal orden,

- Oprime el botón “CALCULAR” para sacar las deformaciones unitarias prácticas obtenidas del ensayo, algunas de las galgas no han de tener el valor correcto así que deberá retomar los datos de las mismas, las galgas con datos erróneos estarán marcadas en rojo, como se muestra en la figura.

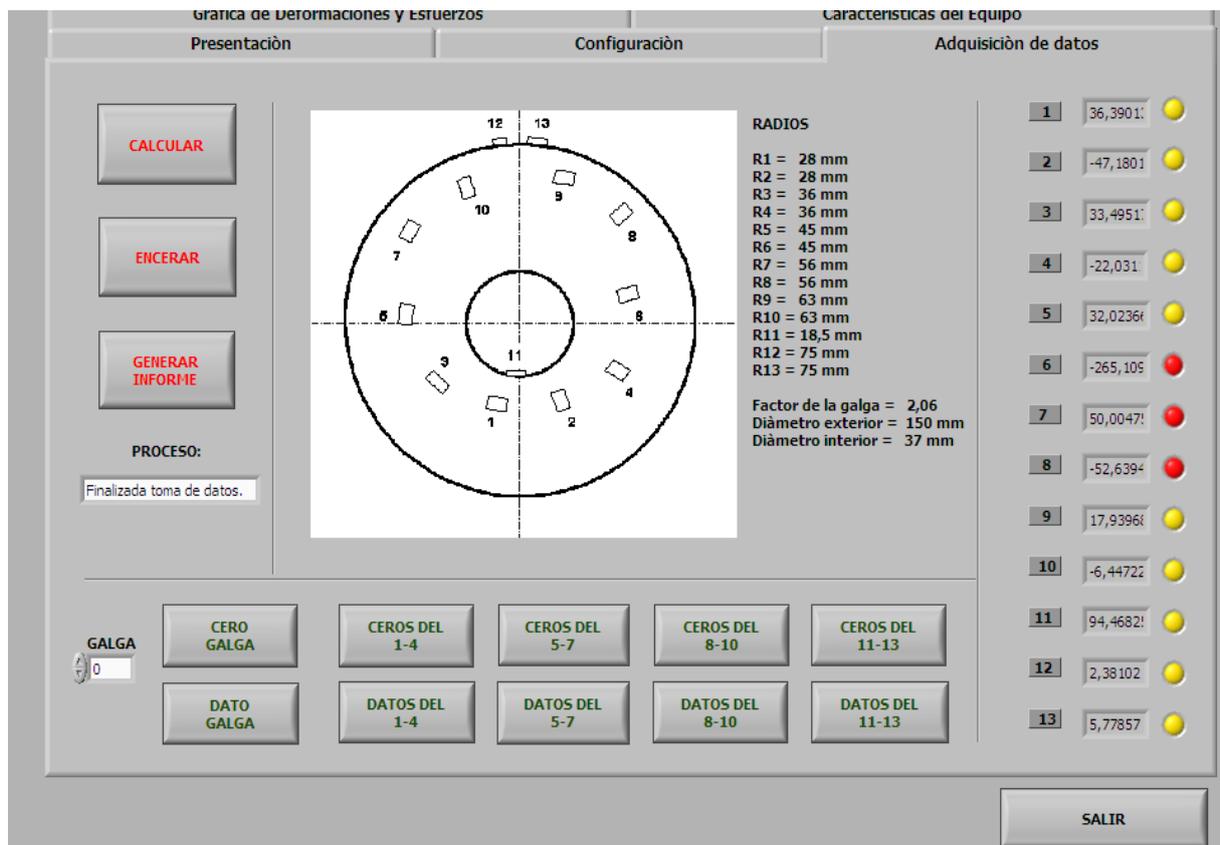


Fig. B.15. Adquisición de Datos

- En el ejemplo las galgas 6,7y 8 no tienen el valor correcto, para la nueva toma de datos en las galgas marque el número de la galga en el recuadro “GALGA”, descargue el equipo tome el cero de referencia con el botón “CERO GALGA”, cargue el equipo nuevamente y apriete el botón “DATO GALGA”, repita el proceso con el resto de galgas que no han tenido un valor correcto y pulse calcular nuevamente.

B.3.3.3. Resultados de datos obtenidos

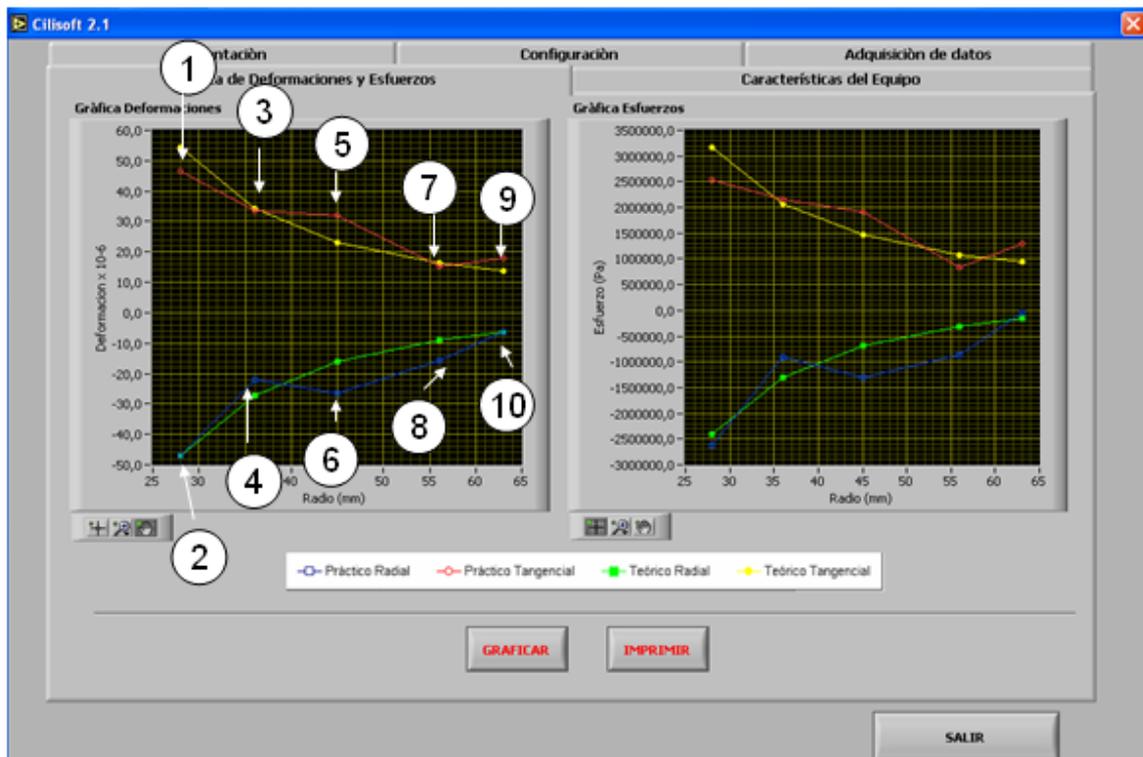


Fig. B.16. Resultados – Deformación y Esfuerzos

Para ver los resultados únicamente es necesario apretar el botón “GRAFICAR”, con el cual los datos de la prueba serán graficados y los esfuerzos serán calculados y expuestos en otro gráfico, en la gráfica B.15. se

muestra los resultados y su punto respectivo en la gráfica. La simbología de colores es la siguiente:

 Deformaciones y Esfuerzos Radiales Práctico.

 Deformaciones y Esfuerzos Tangenciales Práctico.

 Deformaciones y Esfuerzos Radiales Teórico.

 Deformaciones y Esfuerzos Tangenciales Teórico.

El botón “IMPRIMIR” permite imprimir el contenido actual de la ventana en el programa.

B.4. TEORÍA DEL CILINDRO DE PARED GRUESA.

B.4.1. CASO GENERAL (CILINDRO CON PRESIÓN INTERNA Y EXTERNA)

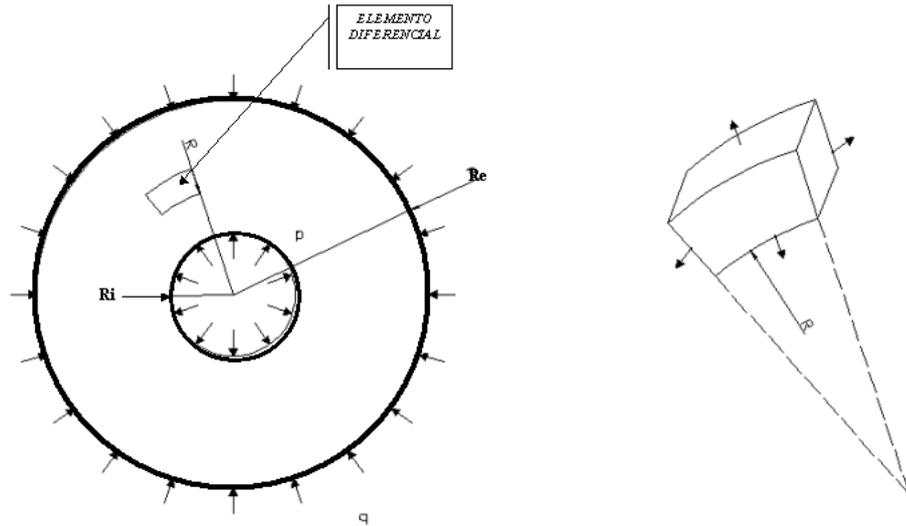


Fig. B.17. Análisis en el cilindro de pared gruesa

Por el elemento diferencial de la figura se deduce que:

$$\frac{d(r\sigma_r)}{dr} d\theta \cdot dr - 2\theta_0 dr \cdot \text{sen} \frac{d\theta}{2} = 0$$

Si se conoce que $\text{sen } x = x$ para ángulos pequeños en radianes

$$\theta_i = \frac{d(r\theta r)}{dr}$$

El desplazamiento radial u , las relaciones deformación desplazamiento son:

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr} \quad \text{y} \quad \varepsilon_t = \frac{u}{r}$$

Por ende tenemos:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} (\sigma_r - \nu \cdot \sigma_t)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} (\sigma_\theta - \nu \sigma_r)$$

Donde se desprecia el esfuerzo radial. Se obtiene la solución mediante las condiciones de límite que es la presión interna y la presión externa de la siguiente manera:

$$\frac{du}{dr} = \frac{1}{E} (\sigma_r - \nu \sigma_t)$$

$$u = \frac{r}{E} (\sigma_t - \nu \sigma_r)$$

Las dos ecuaciones se combinan para eliminar u y se obtiene:

$$r \frac{d\sigma_\theta}{dr} - \nu r \frac{d\sigma_r}{dr} + (1 + \nu)(\sigma_t - \sigma_r) = 0$$

Combinando esta ecuación con la ecuación anterior se obtiene:

$$\frac{d^2 \sigma_r}{dr^2} + \frac{3}{r} \frac{d\sigma_r}{dr} = 0$$

Solucionando la ecuación diferencial se obtiene:

$$\sigma_r = C_1 + \frac{C_2}{r^2}$$

Poniendo las condiciones de borde se obtiene las fórmulas de los esfuerzos y desplazamiento las cuales son:

$$\sigma_r = \frac{-Ri^2 p \left(\frac{Re^2}{r^2} - 1 \right) - Re^2 q \left(1 - \frac{Ri^2}{r^2} \right)}{Re^2 - Ri^2} \quad \text{(B.1.)}$$

$$\sigma_t = \frac{Ri^2 p \left(\frac{Re^2}{r^2} + 1 \right) - Re^2 q \left(1 + \frac{Ri^2}{r^2} \right)}{Re^2 - Ri^2} \quad (\text{B.2.})$$

$$u = \frac{r(1-\nu)(Ri^2 p - Re^2 q) + (1+\nu)(p-q) \frac{Ri^2 Re^2}{r}}{E(Re^2 - Ri^2)} \quad (\text{B.3.})$$

B.4.2 CASO ESPECÍFICO (CILINDROS ÚNICAMENTE CON PRESIÓN INTERNA)

Si la presión externa es cero podemos reducir las ecuaciones anteriores a lo siguiente:

$$\sigma_r = \frac{Ri^2 p}{Re^2 - Ri^2} \left(1 - \frac{Re^2}{r^2} \right) \quad (\text{B.4.})$$

$$\sigma_t = \frac{Ri^2 p}{Re^2 - Ri^2} \left(1 + \frac{Re^2}{r^2} \right) \quad (\text{B.5.})$$

B.4.3 ESFUERZO LONGITUDINAL

En este momento se considera en cambio la sección transversal del cilindro:

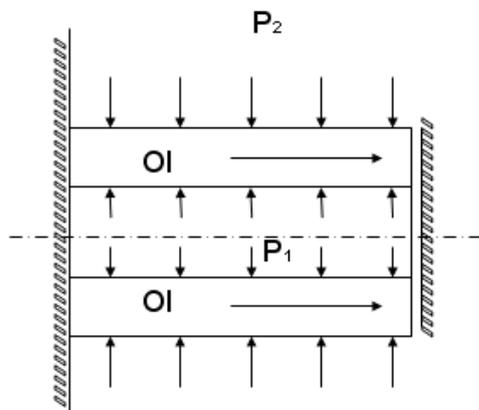


Fig. B.18. Análisis del esfuerzo longitudinal en el cilindro de pared gruesa

Se realiza el equilibrio de fuerzas por ende tenemos:

$$P_1 x \pi R_i^2 - P_2 x \pi R_e^2 = O_l x \pi (R_e^2 - R_i^2)$$

Agrupando tenemos:

$$O_l = \frac{P_1 a^2 - P_2 b^2}{b^2 - a^2} \quad \text{(B.6.)}$$

En el caso específico de solo haber Presión interna se tiene lo siguiente:

$$O_l = \frac{P a^2}{b^2 - a^2} \quad \text{(B.7.)}$$

B.5. TABULACIÓN DE RESULTADOS

B.5.1. RESULTADOS – DEFORMACIONES.

Presión del ensayo: MN/m²

Radio (mm)	28		36		45		56		63		75		18.5
N. de Galga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	11
Naturaleza	ϵ_h	ϵ_r	ϵ_h										
<i>Medida Tomada</i>													
<i>Medida Calculada</i>													
<i>Error</i>													

Cuadro B.1. Deformaciones.

B.5.2. RESULTADOS – ESFUERZOS.

Presión del ensayo: MN/m²

Radio (mm)	28		36		45		56		63		75		18.5
	σ_h	σ_r	σ_h										
<i>Medida Práctica</i>													
<i>Medida Teórica</i>													
<i>Error</i>													

Cuadro B.2. Resultados.

B.6. FORMATO DE LOS RESULTADOS.

Para el guardar los datos obtenidos por el equipo, en la pestaña de adquisición de datos apriete el botón generar informe, se genera un archivo *.txt el cual se puede abrir también en Excel.

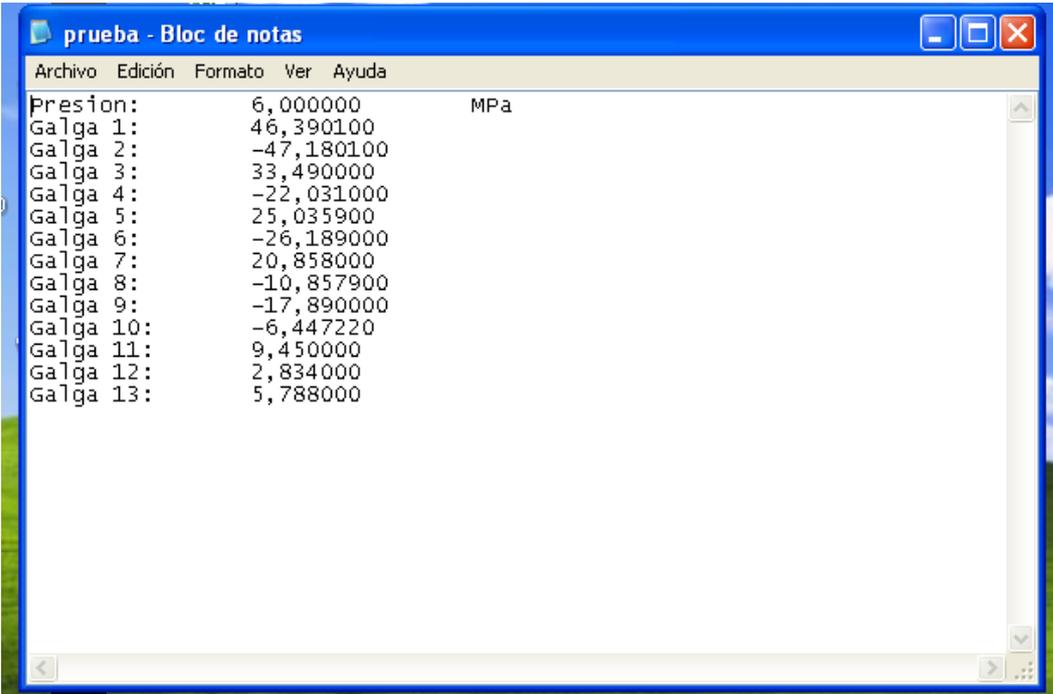


Fig. B.19. Archivo ejemplo.

ANEXO C

MANUAL DE MANTENIMIENTO

C.1. CALIBRACIÓN Y TESTEO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

C.1.1. CALIBRACIÓN DE LA TARJETA PMD-1208LS

El proceso de calibración se lo realiza a través del programa Insta-Cal, la calibración recomendada del equipo es cada seis meses. El proceso de calibración se enumera a continuación:

1. Haga clic en inicio – Measurement Computing – Insta Cal para inicializar el programa instal cal. La pantalla principal del programa aparecerá.
2. Presione el menú calibrate y seleccione A/D. El siguiente cuadro de dialogo aparecerá.



Fig. C.1. Calibración de la tarjeta

3. A continuación el programa le pedirá que conecte los pines 1,2,4,5,7,8,y 11 a tierra (GND) y presione OK.

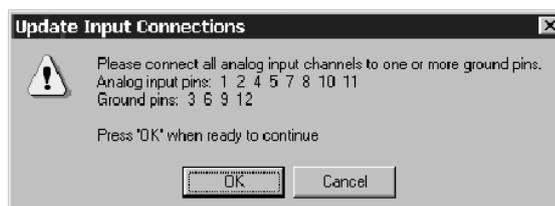


Fig. C.2. Conexión de pines a GND

- Después de que la tarjeta automáticamente las corrija ha y que unir los pines 1,2,4,5,7,8,10 y 11 al pin 16 para setear el voltaje de 5V.

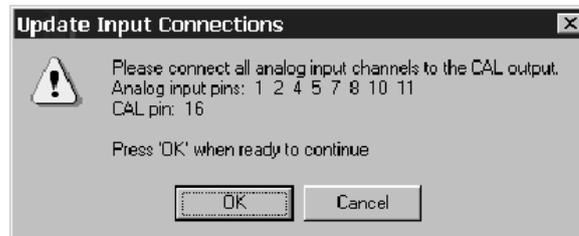


Fig. C.3. Conexión de pines a 5V.

- Después de que la tarjeta sea seteada , se procederá a configura las entradas altas 1,4,7 y 10 con el pin 16 y la entradas baja los pines 2,5,8 y 11 a los pines de tierra 3,6,9,12 y presione OK.

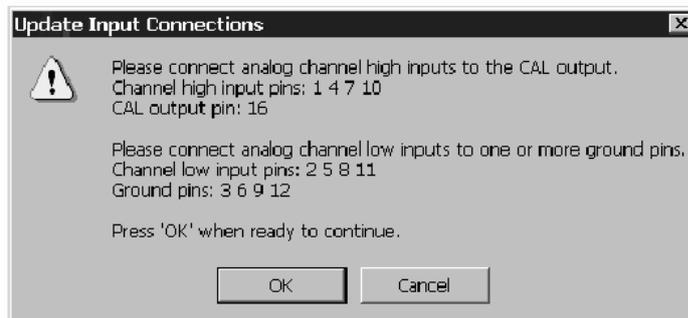


Fig. C.4. Conexión de entradas analógicas diferenciales

- Aparecerá un dialogo de que la tarjeta esta perfectamente calibrada.

C.1.2. Testeo de la Tarjeta PMD-1208LS

Para testear la tarjeta en su totalidad primero se va iniciar por las entradas digitales y después las analógicas.

1. Del menú del instalcal seleccione el menú Test, y de ahí la opción digital.



2. Seleccione los pines correspondientes y únalos pulse el botón OK.

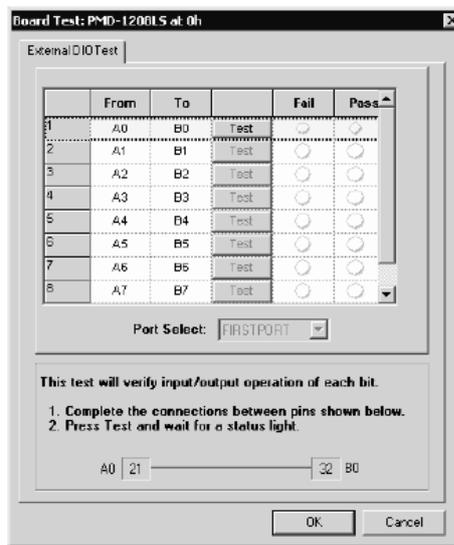


Fig. C.5. Selección de pines.

3. Aparecerá como en la figura de abajo en caso de que la comunicación se ha correcta, y se pondrá en Fail en caso de que este dañado o mal conectado.

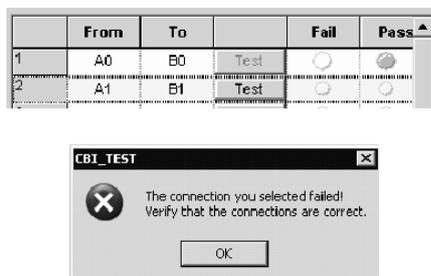


Fig. C.6. Mensaje de Error

4. Después de repetir en todas las entrada digitales aparecerá un cuadro como el siguiente:

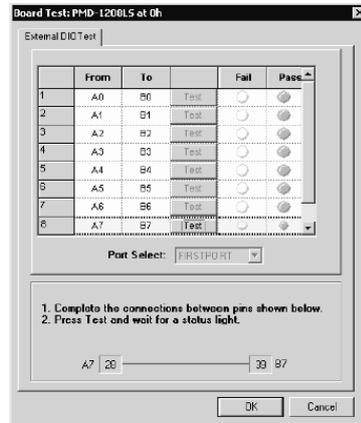


Fig. C.7. Resultados de conexión de pines

5. A continuación se procederá con las entradas y salidas analógicas



Fig. C.8. Entradas Analógicas

6. Conecte los canales indicados y seleccione de los diferentes casos de voltaje el que quiera probar.

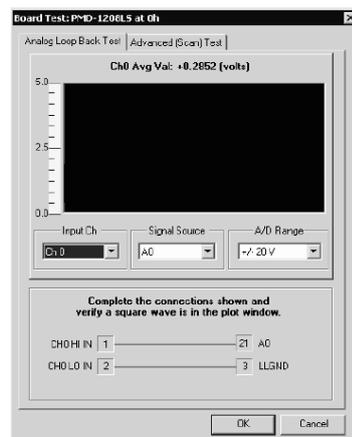


Fig. C.9. Voltajes de prueba.

7. Pruebe los diferentes pines hasta que todos queden testeados y verificados en su correcta media, caso contrario vuelva a calibrarlos y vuelva a probarlos.

C.2. Cuidados Generales del equipo.

Entre los principales cuidados que se deben tener en el equipo son:

- Cuando se cambie el aceite al equipo asegúrese que se ha aceite de castor, este aceite se puede hallar en tiendas de aeromodelismos con nuevos aditivos que lo mejoran y lo hacen de una mejor calidad.
- Con la tarjeta de adquisición de datos hay que tener cuidado con la corriente estática, antes de empezar a manipular la tarjeta cerciórese de tocar algo metálico para descargarse.
- Asegúrese al momento de hacer la práctica seguir todas los pasos para la precisa obtención de datos exactos.
- Cuide que el equipo quede descargado el momento de acabar la práctica, el dejar cargado al equipo puede causar daños en el sistema hidráulico del mismo.
- Tenga el cuidado de tener el equipo en un lugar seco y libre de humedad debido a las partes electrónico del mismo.