



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO-
INFORMÁTICO PARA APLICACIONES EN ENSAYOS EN LA
MÁQUINA UNIVERSAL”**

Juan Gabriel Colcha Díaz
Mariana Elizabeth Villa Orozco

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO

Riobamba – Ecuador
2010

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Septiembre, 30 del 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

MARIANA ELIZABETH VILLA OROZCO

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO-
INFORMÁTICO PARA APLICACIONES EN ENSAYOS EN LA MÁQUINA
UNIVERSAL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERA MECÁNICA

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Aníbal Viñán B.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Iván Cantos
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MARIANA ELIZABETH VILLA OROZCO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO-INFORMÁTICO PARA APLICACIONES EN ENSAYOS EN LA MÁQUINA UNIVERSAL”

Fecha de Examinación: Septiembre 30 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. EDUARDO VILLOTA M.			
ING. ANÍBAL VIÑAN B.			
ING. IVÁN CANTOS C.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Septiembre, 30 del 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JUAN GABRIEL COLCHA DÍAZ

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO-
INFORMÁTICO PARA APLICACIONES EN ENSAYOS EN LA MÁQUINA
UNIVERSAL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Aníbal Viñán B.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Iván Cantos
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JUAN GABRIEL COLCHA DÍAZ

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO-INFORMÁTICO PARA APLICACIONES EN ENSAYOS EN LA MÁQUINA UNIVERSAL”

Fecha de Examinación: Septiembre 30 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. EDUARDO VILLOTA M.			
ING. ANÍBAL VIÑAN B.			
ING. IVÁN CANTOS C.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) JUAN GABRIEL COLCHA DÍAZ

5165

f) MARIANA ELIZABETH VILLA OROZCO

5200

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial a Dios por darme la vida y la salud, a las dos personas más importantes en mi vida, mis padres Juan Colcha y Laura Díaz, a mis hermanas Jacqueline y Maribel y en especial a novia Patricia Núñez quienes me enseñaron a luchar en la vida y a esforzarme hasta alcanzar mis objetivos, que a pesar de todas las adversidades, siempre estuvieron para apoyarme.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirme las puertas de su conocimiento que mediante sus maestros me supieron formar profesionalmente.

Juan G. Colcha D.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer al ser más especial de mi vida que es Dios por darme el regalo más hermoso que es la vida y por ser siempre mi padre y mi amigo incondicional, por enseñarme el valor de cumplir mis metas, a mi madre Teresa Orozco que con el ejemplo me ha enseñado a luchar por mis sueños sin rendirme en el camino, a mi padre Manuel Villa por ser un buen amigo, a mis hermanos Ramiro, Rosa y Miguel, y a mi tío Marco Orozco por su apoyo incondicional y la confianza que han puesto en mí. A mis amigas Jenny Montenegro y Mayra Campoverde por estar siempre a mi lado.

También quiero agradecer a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente con la ayuda de todos los docentes y amigos.

Mariana E. Villa O.

DEDICATORIA

A Dios por guiarme por el buen camino y a mis padres Juan y Laura que nunca dejaron de apoyarme y guiarme con sus sabios consejos. También a mis abuelitos Ángel y Beatriz por su incondicional apoyo, hermanas y demás familiares, que siempre me brindaron su afecto y optimismo.

Juan G. Colcha D.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi papito Dios por su ayuda incondicional, a mis padres Teresa y Manuel por su ejemplo de lucha, a mis hermanos Ramiro, Rosa y Miguel, a mi tío Marco por su confianza y a mis amigos por la fe puesta.

Mariana E. Villa O.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el “Diseño e Implementación de un sistema electrónico-informático para aplicaciones en ensayos en la Máquina Universal”.

Se realizaron indagaciones y pruebas previas para tener un conocimiento claro del funcionamiento de la Máquina Universal Tinius Olsen y de los parámetros de medición, posteriormente un estudio de los sensores y el tipo de señal emitida por los mismos. Identificadas las señales se seleccionó una tarjeta de adquisición de datos para la transformación de las señales analógicas a digitales. Complementando con el diseño del software UniversalResistance.mj.vi utilizando el programa LabVIEW para la adquisición de datos y para la visualización de resultados.

Finalmente se evaluó el sistema electrónico-informático aplicando una calibración adecuada con probetas normalizadas.

SUMMARY

The present paper consists of a “Design and Implementation of a computer electronic system for applications on tests in the Universal Machine”.

Previous investigations and tests were made to have a clear knowledge of the operation of the Universal Machine “Tinius Olsen” and the measurement parameters, then a study of the sensors and the type of sign emitted by them. After the signals were identified, a card of data acquisition for the transformation of the analogical signals to digital ones, was selected. Complementing with the design of software UniversalResistance.mj.vi, using the LabVIEW program for data acquisition and the visualization of results.

Finally the electronic-computer system was evaluated applying a proper calibration with standardized test tubes.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. GENERALIDADES	
1.1. Introducción	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Metodología	3
1.5. Marco Teórico	4
1.5.1. Maquina Universal.....	4
1.5.2. Definición de Esfuerzo y Deformación	6
1.5.3. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria	7
1.5.4. Ensayo de Tracción.....	9
1.5.5. Ensayo de Compresión	10
1.5.6. Ensayo de Flexión.....	12
1.5.7. Ensayo de Corte Directo	13
2. ESTUDIO DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS Y TRANSFORMACIÓN A DIGITALES	
2.1. Diagnóstico del equipo.....	17
2.1.1. Funcionamiento actual del equipo	17
2.1.2. Identificación de parámetros de medición	17
2.1.2.1. Determinación analógica de fuerza	17
2.1.2.2. Determinación de la deformación	20
2.1.2.3. Determinación del desplazamiento	20
2.1.3. Ventajas y desventajas de las condiciones actuales del equipo	20
2.2. Sensores y Transductores	21
2.2.1. Sensores	21
2.2.1.1. Características de un sensor	21
2.2.1.2. Tipos de Sensores.....	22
2.2.2. Transductor	23
2.2.2.1. Puente de Wheatstone	24

2.2.2.2. Tipos de transductores de presión	25
2.2.2.3. Elementos electromecánicos electrónicos	27
2.2.3. Sensor de deformación.....	31
2.2.3.1. Reloj comparador analógico	32
2.2.3.2. Reloj comparador digital.....	32
2.2.3.3. Extensómetro eléctrico.....	33
2.2.4. Encoder	34
2.2.4.1. Tipos de encoders.....	34
2.2.4.2. Ventajas y desventajas del encoder incremental	36
2.3. Definición de las señales y su interpretación	36
2.3.1. Sistemas Numéricos	36
2.3.1.1. Sistema decimal o sistema en base diez	37
2.3.1.2. Sistema Binario	38
2.3.2. Compuertas Lógicas y Algebra Booleana	38
2.3.3. Algebra Booleana.....	40
2.3.3.1. Reglas del Algebra Booleana	40
2.3.3.2. Leyes de Morgan.....	41
2.3.4. Señal.....	41
2.3.4.1. Tipo de Señales	41
2.3.4.2. Ventajas y desventajas de la señal digital	43
2.4. Adquisición de datos	44
2.4.1. El Sistema de adquisición de datos	44
2.4.2. Estructura de un sistema de adquisición de datos	44
2.4.3. Acondicionamiento de señales.....	45
2.4.3.1. Amplificación.....	45
2.4.3.2. Aislamiento	47
2.4.3.3. Filtrado.....	47
2.4.3.4. Linealización.....	50
2.4.4. Conversión Analógico Digital.....	50
2.4.4.1. Muestreo de la señal analógica	50
2.4.4.2. Cuantización de la señal analógica.....	53
2.4.4.3. Codificación de la señal en código binario	54
2.4.4.4. Ventajas y desventajas de la conversión de la señal analógica a digital	56
2.4.5. Etapa de salida.....	57
2.4.5.1. Comunicación paralela.....	57
2.4.5.2. Comunicación serial.....	57

2.4.5.3. Puerto USB	58
2.5. Fuentes de alimentación	60
2.5.1. Componentes de una fuente de alimentación	61
3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ANALÓGICO – DIGITAL	
3.1. Adecuación e implementación de los sensores para el sistema de adquisición de datos	64
3.1.1. Selección e implementación del transductor de presión	64
3.1.2. Selección e implementación del sensor de deformación	68
3.1.3. Selección del sensor de desplazamiento	71
3.2. Diseño y selección del circuito electrónico que permita transformar las señales analógicas digitales	76
3.2.1. Requerimientos para la selección del circuito electrónico	76
3.2.2. Selección de la tarjeta de adquisición de datos	77
3.2.3. Conexiones de los sensores a la DAQ USB 6211	79
3.2.4. Alimentación de los sensores seleccionados	80
3.3. Diseño y construcción de un software para la visualización de los resultados en un ordenador	83
3.3.1. Parámetros de diseño y construcción de un software para la visualización de los resultados en un ordenador	83
3.3.1.1. Parámetros de diseño para el ensayo de tracción	83
3.3.1.2. Parámetros de diseño para el ensayo de compresión	87
3.3.1.3. Parámetros de diseño para el ensayo de flexión isoestático	90
3.3.1.4. Parámetros de diseño para el ensayo de flexión hiperestático	95
3.3.1.5. Parámetros de diseño para el ensayo de corte	96
3.3.2. Selección del programa para el diseño del software para la visualización de los resultados en un ordenador	97
3.3.3. Programación para la visualización de los resultados en un ordenador	98
3.3.3.1. Adquisición de datos del transductor de presión	98
3.3.3.2. Adquisición de datos del encoder incremental	101
3.3.3.3. Adquisición de datos del deformímetro	102
3.3.3.4. Programa para cargar la constante	103
3.3.3.5. Programa para la selección de los ensayos	104
3.3.3.6. Programa para la selección del tipo de sección	104
3.3.3.7. Programa para el ingreso de parámetros iniciales en los ensayos	105
3.3.3.8. Programa para visualizar los resultados	106
3.4. Implementación del hardware y software en el sistema de transformación de señales	109

4. PRUEBAS Y EVALUACIÓN DEL EQUIPO INSTALADO

4.1. Calibración del equipo instalado	111
5.1. Manual de usuario	
4.1.1. Calibración de la señal del transductor	111
4.1.2. Calibración del deformímetro	114
4.1.3. Calibración del encoder	116
4.2. Pruebas de los ensayos de tracción, compresión, flexión y corte en probetas normalizadas con el programa UniversalResistences.mj.exe	118

5. OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO INSTALADO

5.1. Manual de usuario	125
5.1.1. Manual de usuario para iniciar el software UniversalResistance.mj.vi	125
5.1.2. Manual de usuario para el ensayo de tracción	127
5.1.3. Manual de usuario para el ensayo de compresión.....	137
5.1.4. Manual de usuario para el ensayo de flexión isoestático	141
5.1.5. Manual de usuario para el ensayo de flexión hiperestático	144
5.1.6. Manual de usuario para el ensayo de corte	147
5.1.7. Manual para la calibración de la fuerza en el software.....	148
5.2. Manual de mantenimiento de la implementación del sistema informático-electrónico	151

6. ANÁLISIS DE COSTOS

6.1. Costos Directos	153
6.1.1. Costos de materiales	153
6.1.2. Costos de máquinas y herramientas	155
6.1.3. Costos de mano de obra	155
6.13. Costos por transporte	155
6.2. Costos indirectos	156
6.3. Costo total de la implementación del sistema electrónico-informático.....	156

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones	157
7.2. Recomendaciones	158

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA.

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Tipos de sensores.....	23
2.2	Características de los elementos electromecánicos descritos	28
2.3	Compuertas lógicas.....	39
2.4	Reglas del algebra booleana	40
2.5	Tipos de filtros	49
2.6	Equivalencia del sistema decimal al binario.....	55
2.7	Equivalencia del sistema analógico al digital	55
3.1	Posibles conexiones del conector con el transductor.....	67
3.2	Propiedades mecánicas del Nylon	75
3.3	Resumen de las señales emitidas por los sensores.....	76
3.4	Características básicas y técnicas de la DAQ USB 6211	79
3.5	Conexión de los sensores a la DAQ USB 6211.....	80
3.6	Datos que deben ser visualizados en el ensayo de tracción	85
3.7	Datos que deben ser visualizados en el ensayo de compresión	89
3.8	Datos que deben ser visualizados en el ensayo de flexión isoestático.....	93
3.9	Valores de fuerza (tomados en el dial de la Máquina Universal) y voltaje	99
4.1	Valores tomados de fuerza.....	113
4.2	Valores tomados de deformación	116
4.3	Valores tomados de desplazamiento.....	118
4.4	Resultados obtenidos del ensayo de tracción en forma analógica	120
4.5	Resumen de resultados y porcentaje de error	123
5.1	Diagrama de ubicación del sistema de adquisición de datos	152
6.1	Costo de materiales para la instalación del transductor de presión.....	153
6.2	Costo de materiales para la instalación del encoder Vex Optical Shaft.....	153
6.3	Costo de materiales para la instalación de la Webcam Eye 312.....	154
6.4	Costo de materiales para la instalación del sistema de adquisición de datos.....	154
6.5	Resumen de costo total de materiales	155
6.6	Costo total de máquinas y herramientas	155
6.7	Costo total de mano de obra	155
6.8	Costo total de transporte	155
6.9	Costo total de ingeniería	156
6.10	Resumen de costos totales de la implementación del sistema	156

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
1.1	Representación gráfica de la Máquina Universal4
1.2	Esquema del sistema hidráulico de la Máquina Universal5
1.3	Representación gráfica de los controles de operación de la Máquina Universal6
1.4	Esquema del diagrama esfuerzo-deformación unitaria de materiales metálico.....7
1.5	Representación gráfica del montaje de una probeta estándar para el ensayo de tracción.....9
1.6	Representación gráfica del montaje de una probeta para el ensayo de compresión10
1.7	Esquema representativo de un sistema isoestático para el ensayo de flexión.....13
1.8	Esquema representativo de un sistema hiperestático para el ensayo de flexión14
1.9	Esquema de la herramienta Johnson de corte para el ensayo de corte doble de secciones redondas15
1.10	Representación gráfica de los tipos de probetas para el ensayo de corte16
2.1	Representación gráfica del Transductor de presión instalado en la Máquina Universal18
2.2	Esquema del puente de Wheatstone del transductor de presión18
2.3	Representación gráfica del dial de la Máquina Universal.....18
2.4	Representación gráfica del circuito electrónico analógico instalado en la
2.5	Máquina Universal.....19
2.6	Representación gráfica del switch selector de escala de la Máquina Universal19
2.7	Representación gráfica ajustadores de cero para encerrar la Máquina Universal19
2.8	Representación gráfica del deformímetro analógico y del reloj comparador20
2.9	Representación gráfica del diagrama de bloques de un transductor23
2.10	Esquema de la configuración del puente de Wheatstone.....24
2.11	Tipos de transductores de presión.....26
2.12	Representación gráfica del esquema de la galga cementada.....29
2.13	Representación gráfica del esquema de la galga sin cementar29
2.14	Esquema del transductor de presión de silicio difundido30
2.15	Representación gráfica del esquema del transductor piezoeléctrico.....31
2.16	Representación gráfica del reloj comparador analógico o mecánico.....32
2.17	Representación gráfica del reloj comparador digital33
2.18	Representación gráfica del extensómetro eléctrico.....33
2.19	Representación gráfica del encoder incremental34
2.20	Representación gráfica del encoder absoluto.....35
2.21	Representación de los dígitos y pesos del número 3281.....37
2.22	Cuadro sinóptico de los tipos de señales41
2.23	Representación gráfica de la señal analógica.....42

2.24	Representación gráfica de una señal digital integrada por valores discretos de ceros y unos	43
2.25	Esquema de bloques de un sistema de adquisición de datos	44
2.26	Representación gráfica de un amplificador	46
2.27	Esquema de un filtro pasa-banda	48
2.28	Esquema representativo del proceso de la conversión Analógica Digital	50
2.29	Representación gráfica de la señal analógica de medio ciclo positivo	51
2.30	Representación gráfica del muestreo de una señal analógica (Sampling)	51
2.31	Curva que representa el efecto Aliasing de una frecuencia de muestreo	52
2.32	Proceso de Cuantización (quantización) de la señal analógica para su conversión en señal digital	53
2.33	Representación gráfica de la codificación de la señal digital en código numérico binario	54
2.34	Representación gráfica del puerto paralelo	57
2.35	Representación gráfica del USB (<i>Bus de serie universal</i>) con sus respectivos conectores	59
2.36	Diagrama de bloques de los componentes de una fuente de alimentación	61
2.37	Representación gráfica de un adaptador de voltaje	62
2.38	Esquema representativo de una fuente de alimentación regulada	62
3.10	Representación grafica del transductor de presión PRESSURE TRANSDUCER BHL ELECTRONICS N° serie 48783	65
3.11	Representación gráfica de la instalación del transductor de presión	
3.12	PRESSURE TRANSDUCER BHL ELECTRONICS	65
3.13	Representación gráfica del conector de 6 pines hembras	66
3.14	Representación gráfica del de los pines machos del transductor	66
3.15	Esquema del puente de Wheatstone que se encuentra instalado en el transductor	67
3.16	Representación gráfica del reloj comparador	68
3.17	Representación gráfica del cable de transmisión de datos del reloj comparador	68
3.18	Representación gráfica del software Measurlink	69
3.19	Representación gráfica de la Webcam Genius Eye 312 USB	69
3.20	Representación gráfica de la de la estructura para la instalación de la Webcam	70
3.21	Representación gráfica de la adecuación física para mantener el nivel constante de luz	71
3.22	Representación gráfica del encoder Optical Shaft	72
3.23	Representación gráfica para calcular la circunferencia en una revolución	73
3.24	Representación gráfica para calcular la distancia	73
3.25	Representación gráfica del mecanismo de poleas(del encoder	75
3.26	Representación gráfica del voltaje de salida del transductor de presión incluida el voltaje de ruido	76
3.27	Representación gráfica del voltaje de salida del transductor de presión con un filtrado digital	77

3.28	Representación gráfica de la DAQ USB 6211 y la distribución de pines.....	78
3.29	Esquema del circuito eléctrico de la regulación de voltaje de 12Vcc a 10Vcc.....	80
3.30	Esquema del circuito eléctrico de la regulación de voltaje de 10Vcc a 5Vcc.....	81
3.31	Representación gráfica de los pulsos de entrada con respecto a los de salida utilizando el integrado 74LS14.....	82
3.32	Esquema del integrado 74LS14 con su respectiva conexión	82
3.33	Representación gráfica de probeta circular para el ensayo de tracción	83
3.34	Representación gráfica de probeta laminar para el ensayo de tracción	84
3.35	Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de tracción.....	85
3.36	Representación gráfica de probeta rectangular para el ensayo de compresión.....	88
3.37	Representación gráfica de probeta tubular para el ensayo de compresión	88
3.38	Representación gráfica de probeta circular para el ensayo de flexión isoestático	90
3.39	Representación gráfica de probeta rectangular para el ensayo de flexión isoestático	91
3.40	Representación gráfica de probeta tubular para el ensayo de flexión isoestático	92
3.41	Representación gráfica de probeta rectangular hueco para el ensayo de flexión isoestático..	93
3.42	Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de flexión isoestático.....	94
3.43	Representación gráfica de probeta circular para el ensayo de corte	96
3.44	Representación gráfica de la curva Fuerza vs Voltaje para la escala de 0 a 2000 kgf.....	99
3.45	Esquema de la configuración de la DAQ 6211 para la adquisición de datos de voltaje.....	100
3.46	Esquema de la programación en la adquisición de datos del transductor de presión en diagrama de bloques.....	101
3.47	Esquema de la configuración de la DAQ 6211 para conteo de pulsos	101
3.48	Esquema de la programación en la adquisición de datos del encoder en diagrama de bloques.....	102
3.49	Esquema de la programación en la adquisición de datos de la webcam en diagrama de bloques.....	103
3.50	Esquema de la programación en diagrama de bloques para la cargar la constante.....	103
3.51	Esquema de la programación en diagrama de bloques para selección de los diferentes tipos de ensayos	104
3.52	Esquema de la programación para la selección del tipo de sección para el ensayo de tracción.....	105
3.53	Esquema de la programación en diagrama de bloques para el ingreso de datos iniciales en probetas circulares para los ensayos de tracción y compresión	106
3.54	Esquema de la programación para la visualización de la curva esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de tracción.....	107
3.55	Esquema de la programación para la visualización de la curva esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de compresión.....	108

3.56	Esquema de la programación para la visualización de la curva esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de corte	108
3.57	Representación gráfica de la instalación del sistema de transformación de señales.....	109
3.58	Representación gráfica de la pantalla frontal de la caja metálica del sistema de adquisición de datos	109
3.59	Representación gráfica del puerto USB del computador	110
4.6	Representación gráfica del enceramiento del valor de la fuerza encerado en el dial de la Máquina Universal.....	111
4.7	Representación gráfica del enceramiento del valor de la fuerza encerado en el programa ..	112
4.8	Representación gráfica del valor de la fuerza de 1002 kgf tomado en el dial de la Máquina Universal.....	112
4.9	Representación gráfica del valor de la fuerza de 1003,63 tomado en el programa	112
4.10	Representación gráfica del enceramiento del valor de la deformación encerado en el display del deformímetro	114
4.11	Representación gráfica del enceramiento del valor de la deformación en el programa.....	115
4.12	Representación gráfica del valor de la deformación de 1.903mm en el display del deformímetro	115
4.13	Representación gráfica del valor de la deformación de 1.903mm en el programa.....	115
4.14	Representación gráfica del enceramiento del valor de desplazamiento encerado en el deformímetro de palanca.....	116
4.15	Representación gráfica del enceramiento del valor de desplazamiento encerado en el programa	117
4.16	Representación gráfica del valor del desplazamiento de 7 que corresponde a 0,35 mm en el del deformímetro de palanca.....	117
4.17	Representación gráfica del valor de la deformación de 0.34208mm en el programa	117
4.18	Representación gráfica de la probeta de acero de construcción para el ensayo de tracción .	118
4.19	Representación gráfica del montaje de la probeta en la Máquina Universal para el ensayo de tracción.....	119
4.20	Representación gráfica de la curva esfuerzo vs. deformación unitaria para el ensayo de tracción	121
4.21	Representación gráfica del programa UniversalResistences.mj.vi para el ensayo de tracción	122
5.2	Representación gráfica del escritorio del ordenador donde se encuentra ubicado el software UniversalResistance.mj.vi.exe	125
5.3	Representación gráfica de la ventana de inicio del software UniversalResistance.mj.vi para cargar la constante.....	126
5.4	Representación gráfica de la ventana de selección y mensaje de confirmación de	

	constante cargada.....	126
5.5	Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayos del software	127
5.6	Representación gráfica de la ventana de selección del tipo de sección de probetas del ensayo de tracción.....	127
5.7	Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de tracción.....	128
5.8	Ventana de aviso cuando se ingresa un valor de cero en los datos de ingreso del ensayo de tracción	128
5.9	Representación gráfica de la ventana PROBETAATRACCIÓN	128
5.10	Representación gráfica de la ventana ENSAYO DE TRACCIÓN	129
5.11	Representación gráfica del pulsador para calibrar el deformímetro	129
5.12	Representación gráfica de la ventana de inicio de calibración de dígitos del display del deformímetro	130
5.13	Representación gráfica de la ventana de búsqueda de dígitos del display del deformímetro	130
5.14	Representación gráfica del módulo de enceramamiento de los sensores al inicio del ensayo de tracción.....	131
5.15	Representación gráfica del módulo de dato final para el ingreso de la longitud final de la probeta del ensayo de tracción.....	132
5.16	Representación gráfica del módulo de resultados obtenidos del ensayo de tracción.....	132
5.17	Representación gráfica del pulsador que sirve para guardar el ensayo de tracción	132
5.18	Representación gráfica de la hoja de reporte 1 del ensayo de tracción.....	133
5.19	Representación gráfica de la hoja de reporte 2 del ensayo de tracción.....	134
5.20	Ventana que indica la opción imprimir el reporte	135
5.21	Ventana que indica la selección del VI a imprimir.....	135
5.22	Ventana que indica que se va imprimir todo el VI	135
5.23	Ventana que indica que se va imprimir en archivo RTF	136
5.24	Ventana de selección True Color (24 bit)	136
5.25	Ventana sobre la ubicación del reporte del ensayo guardado	136
5.26	Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta laminar del ensayo de tracción.....	137
5.27	Representación gráfica del pulsador que finaliza el ensayo de tracción.....	137
5.28	Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayo de compresión.....	138
5.29	Representación gráfica de la ventana de selección del tipo de sección de probetas del ensayo de compresión.....	138
5.30	Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de compresión.....	138

5.31	Representación gráfica de la ventana de aviso cuando se ingresa un valor de cero en los datos de ingreso del ensayo de compresión	139
5.32	Representación gráfica de la ventana ENSAYO DE COMPRESIÓN	139
5.33	Representación gráfica de la hoja de reporte 1 del ensayo de compresión.....	140
5.34	Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayo de flexión isoestático	141
5.35	Representación gráfica de la ventana de selección del tipo de sección de probetas del ensayo de flexión isoestático	141
5.36	Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de flexión isoestático	141
5.37	Representación gráfica de la ventana de aviso cuando se ingresa un valor de cero en los datos de ingreso del ensayo de flexión isoestático.....	142
5.38	Representación gráfica de la ventana del ENSAYO DE FLEXIÓN ISOESTÁTICO.....	142
5.39	Representación gráfica de la hoja de reporte 1 del ensayo de flexión isoestático	143
5.40	Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayo de flexión hiperestático....	144
5.41	Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de flexión hiperestático.....	144
5.42	Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayo de corte.....	145
5.43	Representación gráfica de la ventana de la sección circular del ensayo de corte	145
5.44	Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de corte.....	145
5.45	Representación gráfica de la ventana de aviso cuando se ingresa un valor de cero en los datos de ingreso del ensayo de flexión isoestático.....	146
5.46	Representación gráfica de la ventana del ENSAYO DE CORTE	146
5.47	Representación gráfica de la hoja de reporte 1 del ensayo de corte	147
5.48	Representación gráfica de la ventana de inicio del software UniversalResistance.mj.vi.	148
5.49	Representación gráfica de la ventana CLAVE2.vi del software UniversalResistance.mj.vi para el ingreso de la clave actual	148
5.50	Representación gráfica de la ventana CLAVE.vi del software UniversalResistance.mj.vi para el ingreso de la clave.....	149
5.51	Representación gráfica de la ventana TRANSDUCTOR.vi del software UniversalResistance.mj.vi para el ingreso de la constante	149
5.52	Representación gráfica de la ventana TRANSDUCTOR.vi del software UniversalResistance.mj.vi para comparar la fuerza a calibrar.....	150
5.53	Representación gráfica de la ventana TRANSDUCTOR.vi del software UniversalResistance.mj.vi para la selección de la constante calculada	150

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO

σ	[kgf/cm ²]	Esfuerzo
P	[kgf]	Fuerza aplicada
A	[cm ²]	Área
ϵ	[mm/mm]	Deformación unitaria
Δl	[mm]	Deformación
Δd	[mm]	Desplazamiento
l_o	[mm]	Longitud inicial
E	[kgf/cm ²]	Módulo de elasticidad
l_f	[mm]	Longitud final
R_a	[kgf]	Reacción en el punto a
L	[cm]	Longitud entre apoyos del sistema isoestático
a	[cm]	Longitud entre el apoyo exterior y el aplicador de carga del sistema hiperestático
b	[cm]	Longitud entre el aplicador de carga y el apoyo del medio del sistema hiperestático
R_c	[kgf]	Reacción en el punto c
R_e	[kgf]	Reacción en el punto e
P₁	[kgf]	Fuerza aplicada en el punto b
P₂	[kgf]	Fuerza aplicada en el punto d
R_x	[kgf]	Reacción en el eje de las x (abscisas)
R_y	[kgf]	Reacción en el eje de las y (ordenadas)
M_o	[kgf*cm]	Momento
M_f	[kgf*cm]	Momento flector
\bar{y}	[cm]	Distancia al eje neutro
I_x	[cm ⁴]	Momento de inercia respecto al eje x
τ	[kgf/cm ²]	Esfuerzo cortante
P_{máx}	[kgf]	Fuerza máxima de corte
V₀	[V]	Voltaje de salida
R₁	[Ω]	Resistencia entre A y B
R₂	[Ω]	Resistencia entre B y C
R₃	[Ω]	Resistencia entre A y D
R₄	[Ω]	Resistencia entre D y C
V_{AB}	[V]	Diferencial de potencial entre A y B

V_{AD}	[V]	Diferencial de potencial entre B y C
V_{BC}	[V]	Diferencial de potencial entre A y D
V_{DC}	[V]	Diferencial de potencial entre D y C
δV_0	[V]	Variación de voltaje
V_s	[V]	Voltaje de alimentación
Byte	[bits]	Conjunto de 8 bits
V_e	[V]	Voltaje de entrada al amplificador
V_x	[V]	Voltaje de entrada al amplificador
G		Ganancia de voltaje
f_1	[Hz]	Frecuencia de corte superior
f_2	[Hz]	Frecuencia de corte inferior
t	[s]	Tiempo
k	[kgf/V]	Pendiente de la curva fuerza vs voltaje
x_1	[mm]	Circunferencia del círculo
d	[mm]	Diámetro
π		Constante pi (3,1416)
n		Numero de revoluciones
D	[mm]	Distancia recorrida
S		Sensibilidad
n		Número de bits
$s+$		Señal positiva
$s-$		Señal negativa
C	[μ F]	Condensador
r		Resolución de medida
α	[$^\circ$]	Angulo de inclinación de la recta en la zona proporcional de la curva esfuerzo vs deformación
e	[cm]	Espesor
b	[cm]	Base
h	[cm]	Altura
de	[cm]	Diámetro exterior
di	[cm]	Diámetro interior
be	[cm]	Base exterior
bi	[cm]	Base interior
he	[cm]	Altura exterior
hi	[cm]	Altura interior

LISTA DE ABREVIATURAS

RC	Filtros activos
RLC	Filtros pasivos
ADC	Convertido analógico digital
ASTM	American Section of the International Association for Testing Materials
SUS	Segundos Universales de Saybolt
cc	Corriente continua
ca	Corriente alterna
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
TTL	Transistor-transistor logic
BIT	Binary digit
AO	Amplificador Operacional
ANSI	American National Standards Institute
USB	Bus de serie universal
GND	Ground (Tierra)

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A: Características de los transductores mecánicos y electrónicos.
- ANEXO B: Hoja de datos del transductor de presión PRESSURE TRANSDUCER BHL ELECTRONICS,
- ANEXO C: Hoja de datos del reloj comparador digital modelo: ID-112.
- ANEXO D: Hoja de datos del encoder Optical Shaft Vex.
- ANEXO E: Hoja de datos de la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6211.
- ANEXO F: Hoja de datos del regulador de voltaje LM317.
- ANEXO G: Hoja de datos del regulador de voltaje LM7805.
- ANEXO H: Hoja de datos del integrado 74LS14.
- ANEXO I: Cálculo del momento flector y el módulo de elasticidad en el ensayo isoestático.
- ANEXO J: Cálculo del momento flector y el módulo de elasticidad en el ensayo hiperestático.
- ANEXO K: Manual de instalación del software LabVIEW 2009.
- ANEXO L: Manual de instalación del software Eye 312.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

1.1.1. Antecedentes

El campo ocupacional del Ingeniero Mecánico es uno de los más amplios en el ámbito de la ingeniería, puesto que su participación en fábricas o industrias se manifiesta a través de un trabajo individual o en equipo.

Todos los procesos industriales trabajan bajo diversos sistemas, ya sean éstos informáticos, electrónicos, neumáticos, mecánicos, etc., dando a la industria moderna la necesidad del dominio de todos los bloques involucrados en la producción, con el objetivo común de solventar todas las carencias que se presenten.

En un mundo tan creciente como el nuestro es necesario llevar de la mano el desarrollo tecnológico lo cual se sabe, es una de las más grandes metas del hombre que involucran el avance de la Electrónica y la Automatización de procesos aplicados en Ingeniería. Es así que a más de conocer ciencia en Ingeniería Mecánica es importante conocer y manipular la electrónica que se está desarrollando a nuestro alrededor.

En el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica se dispone de la Máquina Universal que realiza ensayos de tracción, compresión, flexión y corte para identificar las propiedades mecánicas en los diferentes materiales utilizados en ingeniería.

La realización de estos ensayos permite cuantificar los esfuerzos y deformaciones a los que está sometido el material, es decir la obtención de la curva esfuerzo-deformación, los cuales son realizados de manera analógica.

Por tanto, el desarrollo de la presente tesis comprende la implementación de un sistema electrónico-informático confiable y eficiente mediante la aplicación de un sistema de adquisición de datos.

1.2. Justificación

La importancia de la realización de esta tesis se fundamenta en el mejoramiento del grado de aproximación de la Máquina Universal que es de 2 kgf en la escala de 2 000 kgf, 10 kgf en la escala de 10 000 kgf, 50 kgf de la escala de 50 000 kgf y 100 kgf en la escala de 100 000 kgf, es decir que existe 1 000 divisiones en la escala analógica del dial de la máquina. Además se pretende mejorar la rapidez de obtención de las curvas esfuerzo-deformación, en la actualidad dichas curvas se realizan en forma manual.

Esta tesis beneficiará tanto a los estudiantes en la realización de los ensayos como a la sociedad en general ya que en un futuro se pueden acreditar estos laboratorios.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Implementar un sistema electrónico-informático para la adquisición de datos para aplicaciones de ensayos realizados en la Máquina Universal.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar los tipos de señales que la Máquina Universal actualmente posee.
- Estudiar el acondicionamiento de señales
- Diseñar y seleccionar el circuito electrónico que permita transformar las señales analógicas a digitales
- Diseñar y construir un software para la visualización de los resultados en un ordenador.
- Realizar los ensayos de tracción, compresión, flexión y corte en probetas normalizadas utilizando el sistema electrónico-informático instalado.
- Elaborar una guía de uso del equipo instalado

1.4. Metodología

Para la implementación del sistema electrónico-informático proyectado se aplicará el siguiente procedimiento: se realizará inicialmente un diagnóstico sobre el funcionamiento de la Máquina Universal y de los parámetros de medición, posteriormente un estudio de los sensores y el tipo de señal. Se diseñará y seleccionará un circuito de acondicionamiento de señal logrando en este punto la transformación de las señales analógicas a digitales. Respecto al diseño del software para la adquisición de datos se empleará el programa LabVIEW, debido a que presenta mejores opciones en aplicaciones mecánicas y facilidad de programación.

El software instalado permitirá la captación, almacenamiento y visualización de las señales digitales procedentes de las pruebas realizadas en la máquina, de ahí la necesidad de que el sistema de medición sea electrónico e informático, para que el proceso de toma de datos brinde diferentes ventajas, como: la recolección y procesamiento de gran cantidad de datos, obteniéndose mayor fiabilidad y precisión en los resultados. Se detallará un manual de usuario que permitirá un correcto funcionamiento del software.

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Máquina Universal [1]



Figura 1.1: Representación gráfica de la Máquina Universal

La Máquina Universal (ver fig. 1.1) constituye una prensa hidráulica, con la que es posible someter materiales a ensayos mecánicos. Esta máquina es ampliamente utilizada en la caracterización de nuevos materiales.

Principio de Operación

Todas las cargas de prueba son aplicadas por el movimiento hacia arriba del pistón impulsado hidráulicamente. Las válvulas de carga y descarga controlan el porcentaje de carga y descarga por la regulación del flujo de aceite desde la bomba montada en la unidad de potencia hidráulica al cilindro hidráulico bajo el tablero de peso. El tablero de peso está conformado por un cabezal superior y un cabezal inferior. (Ver fig. 1.2)

Mientras el aceite es medido a través de la válvula de carga y entra al cilindro hidráulico el pistón pulido se mueve con precisión hacia arriba aplicando una carga a la muestra.

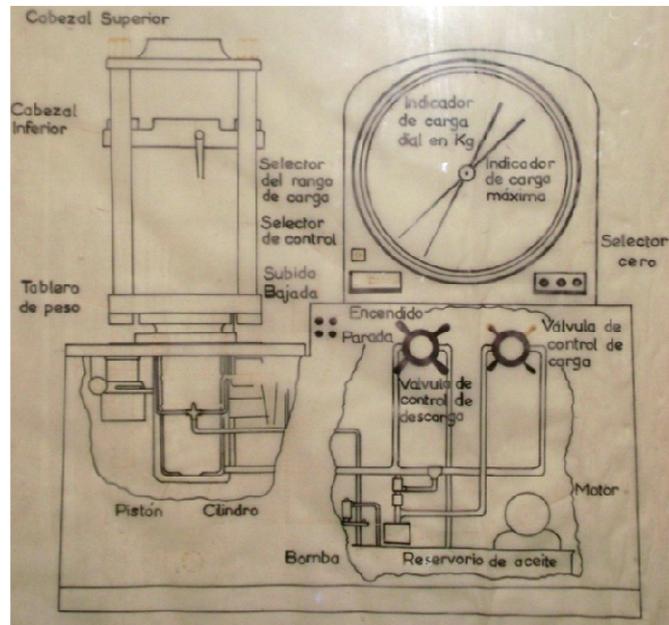


Figura 1.2: Esquema del sistema hidráulico de la Máquina Universal

- La prueba de compresión, flexión y corte se realiza en el área entre el cabezal inferior y el cabezal ajustable.
- La prueba de tensión se realiza en el área entre el cabezal superior y el cabezal ajustable.
- El cabezal ajustable, el cual es normalmente motorizado, permanece fijo durante la prueba. Su juego de ajuste es usado solamente para compensar cambios en la longitud de varias probetas, cambios de herramientas, etc., y no se usa para aplicar cargas.

El sistema hidráulico está equipado con una bomba la cual impulsa al cilindro. Un posicionador del pistón está provisto para parar el pistón aproximadamente a $\frac{1}{2}$ pulgada desde la base al cilindro así se mantiene el pistón flotando en aceite y listo para la próxima prueba.

Controles de Operación

1. *Switch selector de rango:* selecciona el rango de carga y expresa los valores apropiados de carga. Los rangos pueden ser cambiados durante una prueba sin embargo, no es recomendable cambiar a un rango que es inferior a la carga aplicada.
2. *Ajustadores de cero:* se proveen ajustadores individuales de rango cero para encerar el indicador de carga bajo condiciones de peso y carga variables. Es recomendable que todos los rangos para que sean usados deben estar encerados antes de arrancar una prueba.
3. *Botones de arranque y parada:* arrancan y paran el motor que impulsa la bomba hidráulica.
4. *Botones de subida y bajada:* controla el motor que impulsa el cabezal ajustable. Esto permite abrir el área de prueba entre el cabezal ajustable y el tablero de peso.
5. *Indicador de carga máxima:* conserva la máxima carga durante la prueba.
6. *Ruedas manuales de carga y descarga:* usadas para variar la velocidad de aplicación de carga.
(ver fig. 1.3).



Figura 1.3: Representación gráfica de los controles de operación de la Máquina Universal

1.5.2. Definición de Esfuerzo y Deformación [2]

Esfuerzo

El esfuerzo nominal en una probeta sometida a una fuerza axial P y que tiene una sección transversal A está definida por:

—

Deformación Unitaria

La deformación convencional (ingenieril o aritmética) se define por la razón entre la elongación y la longitud inicial de la probeta.

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

1.5.3. Diagrama Esfuerzo – deformación unitaria [2]

El diagrama de esfuerzos que se muestra fig. 1.4 es fundamental para determinar las propiedades físicas de los materiales metálicos.

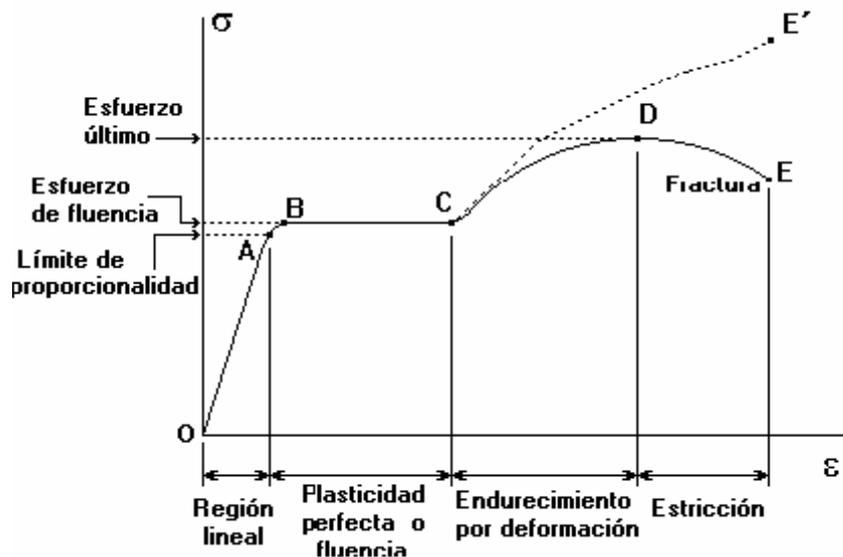


Figura 1.4: Esquema del diagrama esfuerzo-deformación unitaria de materiales metálicos

Se observa que el diagrama comienza con una línea recta desde O hasta A que indica que en esta zona las deformaciones son directamente proporcionales a las tensiones, se dice que el material tiene un comportamiento lineal. El punto A se denomina límite de proporcionalidad, en esta zona se cumple la denominada ley de Hooke.

Ley de Hooke

Su enunciado es: *las deformaciones unitarias lineales son proporcionales a las tensiones normales.*

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (3)$$

Donde:

σ = Esfuerzo axial

E = Módulo elástico del material o módulo de Young

ε = Deformación unitaria

Módulo de Elasticidad: El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young y es característico del material y está representado por la pendiente de la recta **OA**.

A partir del punto **A** y hasta llegar a **B** el comportamiento no es lineal y se observa que las deformaciones crecen rápidamente con pequeños incrementos de tensión. En la zona **AB** la curva toma cada vez una pendiente más pequeña hasta llegar a **B**, punto en el que la curva se vuelve prácticamente horizontal.

Entre **B** y **C** sin variar la tensión se producen notables incrementos de longitud. Este fenómeno se conoce con el nombre de fluencia y el valor de la tensión en **C** se denomina límite de fluencia. En la zona **BC** el material se vuelve perfectamente plástico. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente.

A partir de **C** aparece el denominado endurecimiento por deformación debido a que el material sufre cambios en su estructura cristalina. Así se observa hasta que llega al punto representado por **D** en el diagrama. El valor de la tensión en este punto se denomina esfuerzo último, máximo o admisible.

A partir de **D** el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga hasta que llega al punto **E** del diagrama denominado punto de fractura. En el punto **E** en la barra se aprecia una importante contracción lateral con notable disminución de la sección transversal. Este fenómeno se conoce con el nombre de estricción. La estricción es la responsable del descenso de la curva tensión-deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica.

1.5.4. Ensayo de Tracción [3]

El ensayo de tracción consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente por la Máquina Universal (ver fig. 1.5). Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión suelen ser muy pequeñas.

El ensayo de tracción en ingeniería es ampliamente utilizado, pues suministra información sobre las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en el diseño y también para verificación de especificaciones de aceptación. El ensayo se llevará a cabo a temperatura ambiente comprendida entre + 10°C y + 35°C, a menos que se especifique de otra manera.

Dicho ensayo se puede aplicar a los aceros, aleaciones, maderas, hormigones, plásticos y materiales compuestos. También se puede aplicar este ensayo para medir otras propiedades, tales como: resistencia de soldaduras, uniones, adhesivos, etc.

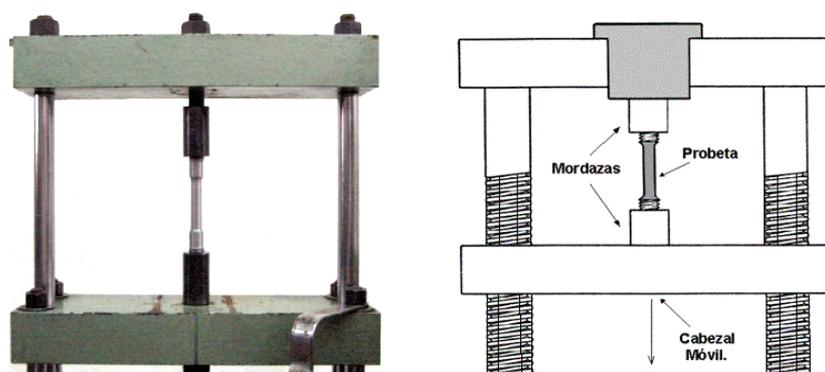


Figura 1.5: Representación gráfica del montaje de una probeta estándar para el ensayo de tracción

Porcentaje de Alargamiento: Es el incremento de longitud que ha sufrido la probeta luego de ser ensayada. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.

$$\% \text{ alargamiento} = \frac{l_f - l_o}{l_o} \quad (4)$$

Donde:

l_f = Longitud final de la probeta.

l_o = Longitud inicial de la probeta.

Probetas Estándares para el ensayo de Tracción

Las probetas para el ensayo de tracción están establecidas en la norma **INEN 109: 2009**

1.5.5. Ensayo de Compresión [4]

En ingeniería, el ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se realiza con hormigones, metales (sobre todo aceros) y madera, aunque puede realizarse sobre cualquier material.

Se realiza preparando probetas normalizadas que se someten a compresión en la máquina universal ver fig. 1.6.

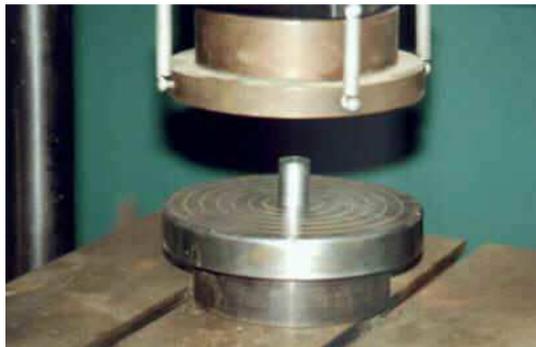


Figura 1.6: Representación gráfica del montaje de una probeta para el ensayo de compresión

Cuando menos en teoría, el ensayo de compresión es meramente lo contrario al de tensión con respecto a la dirección o el sentido de aplicación de la carga.

Existen varias limitaciones del ensayo estático de compresión:

1. La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.
2. La fricción entre los puentes de la máquina o los platos de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta,

Esto ocasiona esfuerzos flexionantes en la probeta y tienden a “pandear” o “flampear” a esta.

A medida que la longitud de la probeta disminuye el efecto de fricción entre los apoyos y la máquina se vuelve más significativo. Es importante que la probeta trabaje puramente a compresión y no como un miembro estructural tipo columna, de modo que la acción se limita aquí al bloque de compresión corto.

Porcentaje de acortamiento de rotura: Es el decremento de longitud que ha sufrido la probeta luego de ser ensayada. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.

$$\% \text{ acortamiento} = \frac{l_0 - l_f}{l_f} \quad (5)$$

Donde:

l_0 = Longitud inicial de la probeta.

l_f = Longitud final de la probeta.

Probetas Estándares para el Ensayo de Compresión

Las probetas para el ensayo de compresión están establecidas en la norma **ASTM E 9**.

1.5.6. Ensayo de Flexión [5]

La flexión es un esfuerzo compuesto o combinado, de tracción y compresión. Si las fuerzas actúan sobre una pieza de material de tal manera tiendan a inducir esfuerzos compresivos sobre una parte de una sección transversal de la probeta y los esfuerzos tensivos sobre la parte restante, se dice que la probeta está en flexión.

El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo una fuerza perpendicular a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos.

Sin embargo y por comodidad para realizar el ensayo de los distintos materiales bajo la acción de este esfuerzo se emplea generalmente a las mismas comportándose como vigas simplemente apoyadas, con la carga concentrada en un punto medio. Cualquier esfuerzo que provoca flexión se denomina momento flector.

En estas condiciones además de producirse el momento de flexión requerido, se superpone a un esfuerzo cortante, cuya influencia en el cálculo de la resistencia del material varía con la distancia entre apoyos, debido a que mientras los momentos flectores aumentan o disminuyen con esta, los esfuerzos cortantes se mantienen constantes, por lo que será tanto menor su influencia cuanto mayor sea la luz entre apoyos.

Es por esta razón que la distancia entre los soportes de la probeta se ha normalizado convenientemente en función de la altura o diámetro de la misma, pudiendo aceptar entonces que la acción del esfuerzo de corte resulta prácticamente despreciable.

Sistema Isoestático

Los sistemas tales que la sola aplicación de las ecuaciones de la estática permite calcular las reacciones de los vínculos reciben el nombre de sistemas isostáticos.

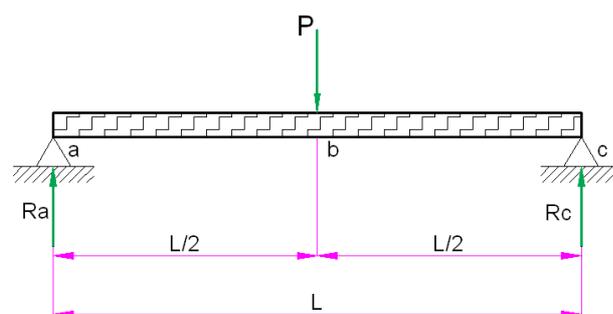


Figura 1.7: Esquema representativo de un sistema isostático para el ensayo de flexión

Habitualmente se reducen a tantas ecuaciones como incógnitas se puedan calcular. Generalmente la resolución de estos sistemas se reduce a las tres ecuaciones fundamentales del equilibrio. Sumatorias con respecto a: $R_x = 0$; $R_y = 0$; $M_o = 0$. Cuando se consideran a los elementos estructurales que poseen la cantidad estrictamente necesaria de apoyos para garantizar la inmovilidad externa de la misma, estamos en presencia de sistemas isostáticos. (Ver fig. 1.7).

Sistema Hiperestático

Una viga o una estructura se dice que es hiperestática cuando:

$$\text{número de ecuaciones de equilibrio} < \text{número de incógnitas de las reacciones}$$

Estos casos suelen presentarse cuando la viga o la estructura tiene apoyos demás.

Se denomina “grado de hiperestaticidad”: a la diferencia entre el número de incógnitas de las reacciones y el número de ecuaciones de equilibrio de la estática. Para resolver la hiperestaticidad es necesario añadir ecuaciones de deformación, tantas como sea el grado de hiperestaticidad de tal forma que:

$$\text{n}^\circ \text{ ecuaciones de equilibrio} + \text{n}^\circ \text{ ecuaciones de deformación} = \text{n}^\circ \text{ incógnitas}$$

El método de resolución será el transformar la viga hiperestática en dos vigas isoestáticas equivalentes, liberándola de un apoyo redundante, se calcula la deformación en el punto donde se ha quitado el apoyo redundante en las dos vigas isoestáticas, se aplica la condición de compatibilidad por deformación por consiguiente se obtendrá las reacciones. (Ver fig. 1.8)

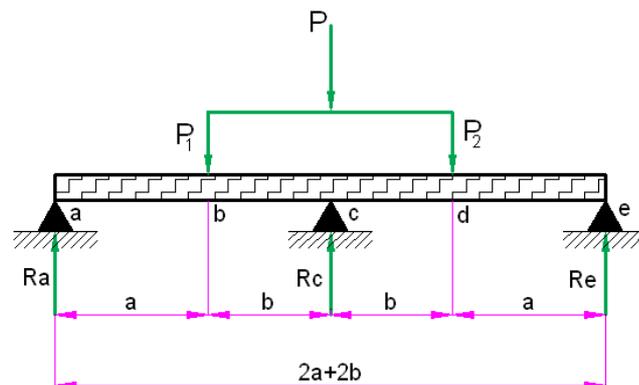


Figura 1.8: Esquema representativo de un sistema hiperestático para el ensayo de flexión

Definición de Esfuerzo y Deformación de Flexión

El esfuerzo en una probeta sometida a flexión esta dado por:

$$\sigma = \frac{Mf * \bar{y}}{Ix} \quad (6)$$

Donde:

Mf = es el momento flector que se determina mediante el diagrama de momento flector.

\bar{y} = es la máxima distancia al eje neutro.

Ix = es el momento de inercia de la sección alrededor del eje neutro que depende de la geometría de la sección transversal.

Diagrama de esfuerzo deformación para el ensayo de flexión

El diagrama de esfuerzos que se obtiene en el ensayo de flexión es similar al diagrama que se obtiene en le ensayos de tracción y compresión el cual está descrito en la sección 1.5.3 con la diferencia que se grafica esfuerzo de flexión vs deformación de la viga conocida también como flecha.

Probetas Estándares para el ensayo de Flexión

Las probetas para el ensayo deflexión están establecidas en la norma **ASTM A 48**.

1.5.7. Ensayo de Corte Directo [6]

Un esfuerzo de corte es un esfuerzo que actúa paralelamente a la sección transversal, a diferencia de los esfuerzos de compresión y tensión que actúan perpendicularmente. El ensayo de corte directo es llamado corte transversal. Dicho método consiste en colocar un prisma y aplicar la carga, hasta que llega a la ruptura, esta prueba es útil solamente para determinar el esfuerzo de corte. Para el ensayo de corte directo en metales, usualmente se corta una barra en algún dispositivo que apriete una porción de la probeta mientras que la restante es sometida a carga por medio de dados adecuados. En la herramienta cortante del tipo Johnson, se usa una barra de sección rectangular aproximadamente de 1

por 2 plg., o una varilla cilíndrica de aproximadamente 1 plg. de diámetro. Como se muestra en la fig. 1.9 la probeta A se sujeta a la base C.

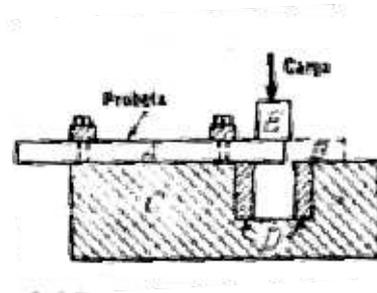


Figura 1.9: Esquema de la herramienta Johnson de corte para el ensayo de corte doble de secciones redondas

El ensayo de corte tiene poca aplicación práctica, pues no permite deducir de él algunas de las características mecánicas de importancia del material que se ensaya; es por ello que rara vez lo solicitan las especificaciones. El esfuerzo de corte es:

$$\tau = \frac{P_{m\acute{a}x}}{2.A} \quad (7)$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = es la fuerza máxima de corte

A = es la sección transversal de la probeta

Probetas para Ensayo de Corte directo

Las probetas para el ensayo de corte directo están establecidas en la norma **ASTM D 143**, las cuales son probetas circulares de 20cm de longitud y el diámetro puede ser de 9, 12, 19 ó 25 mm. (Ver fig. 1.10).



Figura 1.10: Representación gráfica de los tipos de probetas para el ensayo de corte.

CAPÍTULO II

2. ESTUDIO DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS Y TRANSFORMACIÓN A DIGITALES

2.1. Diagnóstico del equipo

2.1.1. Funcionamiento actual del equipo

La adquisición de datos en la Máquina Universal se realiza analógicamente mediante dos operarios, posteriormente se procesan en forma manual obteniéndose de esta manera las propiedades mecánicas del material.

2.1.2. Identificación de parámetros de medición

Los parámetros de medición son:

- La fuerza aplicada por la Máquina Universal,
- La deformación que sufre el material ensayado
- El desplazamiento del pistón del sistema hidráulico

2.1.2.1. Determinación analógica de fuerza

La Máquina Universal para medir la fuerza, consta de un sistema electrónico analógico el cual posee:

- Para medir la presión del sistema hidráulico tiene un transductor de presión de membrana PRESSURE TRANSDUCER BHL ELECTRONICS (ver fig. 2.1) con un rango de 0 a 1 500 psi, con una excitación de 10 Vcc, instalado en su interior un puente de Wheastone, el cual da un voltaje de salida 0 a 30 mVcc. El circuito se muestra en fig. 2.2.



Figura 2.1: Representación gráfica del Transductor de presión instalado en la Máquina Universal

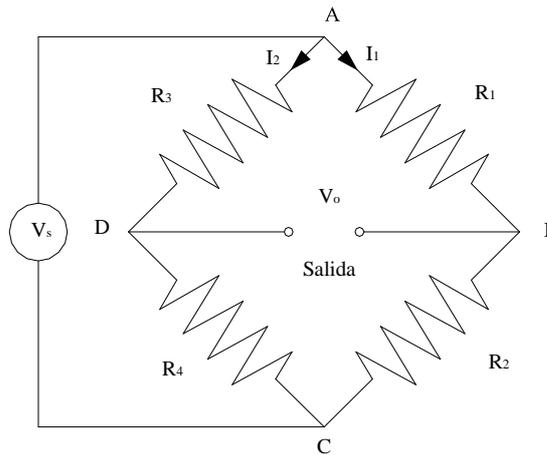


Figura 2.2: Esquema del puente de Wheatstone del transductor de presión

- Para que el dato de fuerza sea visualizado en el dial que se muestra en la fig. 2.3, el sistema consta de un circuito electrónico el cual posee un amplificador de tubos de vacío, un servomotor y un encoder como elementos principales que se muestran en la fig. 2.4, permitiendo que las señales emitidas por el transductor que son variaciones de voltaje puedan ver visualizadas en el dial como valores de fuerza.



Figura 2.3: Representación gráfica del dial de la Máquina Universal



Figura 2.4: Representación gráfica del circuito electrónico analógico instalado en la Máquina Universal

- La Máquina Universal tiene un switch selector de escala que se muestra en la fig. 2.5 el cual está compuesto de un potenciómetro de 10 vueltas tipo alambre de $1K\Omega$. En la máquina se puede trabajar con 4 escalas que son de: 0-2000, 0-10000, 0-50000 y 0-100000 kgf dependiendo del requerimiento.



Figura 2.5: Representación gráfica del switch selector de escala de la Máquina Universal

- Para encerrar la carga en el dial se tiene cuatro ajustadores de cero (ver fig. 2.6), uno para cada escala, que son potenciómetros del mismo tipo que anteriormente se describió.



Figura 2.6: Representación gráfica ajustadores de cero para encerrar la Máquina Universal.

2.1.2.2. Determinación de la deformación

Para medir la deformación se utiliza un deformímetro analógico y un reloj comparador digital (ver fig. 2.7). No existe un sistema que permita que los datos de deformación puedan ser procesados en forma digital.



Figura 2.7: Representación gráfica del deformímetro analógico y del reloj comparador

2.1.2.3. Determinación del desplazamiento

Para medir el desplazamiento del pistón no existe ningún sensor o instrumento que pueda medir esta variable

2.1.3. Ventajas y desventajas de las condiciones actuales del equipo

Ventajas

- Tanto la Máquina Universal, el deformímetro y el reloj comparador están en buenas condiciones de funcionamiento obteniéndose datos reales.
- Los diferentes ensayos se están realizando con normalidad en una forma adecuada.
- Se dispone de manuales de utilización los cuales proveen gran cantidad de información.

- Actualmente la Máquina Universal está calibrada por técnicos de la NTE INEN hasta el 2010.

Desventajas

- Para obtener la curva esfuerzo - deformación se está obteniendo datos hasta el límite de fluencia, por protección del deformímetro, debido a que estos ensayos son destructivos.
- No existe en la Máquina Universal un sensor para tomar medidas de desplazamiento del cilindro hidráulico. Por lo cual no es posible obtener toda la curva.
- Los datos de fuerza y de deformación son visualizados analógicamente.
- Para obtener las propiedades mecánicas de los materiales mediante los ensayos, se debe realizar un procesamiento de datos, luego de efectuar el ensayo correspondiente. Para lo cual se requiere de mayor tiempo.
- Existen materiales que requieren bajas escalas de lectura por lo cual no pueden ser ensayados en la Máquina Universal debido a que demanda de una mayor precisión.

2.2. Sensores y transductores

2.2.1. Sensores [7]

Un sensor no es más que un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior llamadas variables de instrumentación y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que refleja el valor de una propiedad capaz de ser cuantificada y manipulada. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, [pH](#), etc.

2.2.1.1. Características de un sensor

Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

- **Rango de medida:** dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- **Precisión:** es el error de medida máximo esperado.
- **Offset o desviación de cero:** valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el *offset*.
- **Linealidad o correlación lineales:** Es cuando el valor de la variable de entrada es directamente proporcional al valor de la variable de salida.
- **Sensibilidad:** relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- **Resolución:** mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- **Rapidez de respuesta:** puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- **Derivas:** son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuito.

2.2.1.2. Tipos de sensores

En la tabla 2.1 se indican algunos tipos y ejemplos de sensores electrónicos.

Tabla 2.1: TIPOS DE SENSORES

Magnitud	Transductor	Característica
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
Desplazamiento y deformación	Transformador diferencial de variación lineal	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica
Fuerza y par (deformación)	Galga extensiométrica	Analógico
	Triaxiales	A/D
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros Digitales	Digital
Visión artificial	Cámaras de video	Procesamiento digital
	Cámaras imagen	Procesamiento digital

2.2.2. Transductor [8]

Un transductor es un tipo de sensor que transforma de una señal mecánica (presión, velocidad, posición, fuerza etc.) a una señal eléctrica (tensión, corriente o impedancia), (ver fig. 2.8).

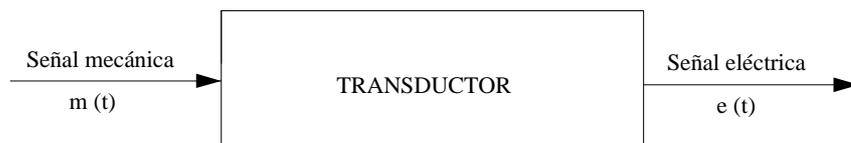


Figura 2.8: Representación gráfica del diagrama de bloques de un transductor

Generalmente se desearía que la señal que nos provea el transductor corresponda a una señal de tensión, ya que su tratamiento directo se lo realiza por medio de osciloscopios, registradores, etc., las señales de corriente también son comunes y pueden incluso ser elegidas sobre las señales de tensión en caso de haber problemas de interferencia, y las señales de impedancia comúnmente suelen convertirse en cualquiera de las dos anteriores bajo un proceso denominado “acondicionamiento” de la señal.

2.2.2.1. Puente de Wheatstone [9]

Teniendo en cuenta que las mediciones de carga requieren detectar cambios muy pequeños en la resistencia, se usa en forma predominante un circuito de puente de Wheatstone (fig. 2.9) que consiste en la unión de cuatro elementos resistivos con excitación de voltaje aplicado en las puntas del puente. A continuación se describe el funcionamiento del puente de Wheatstone:

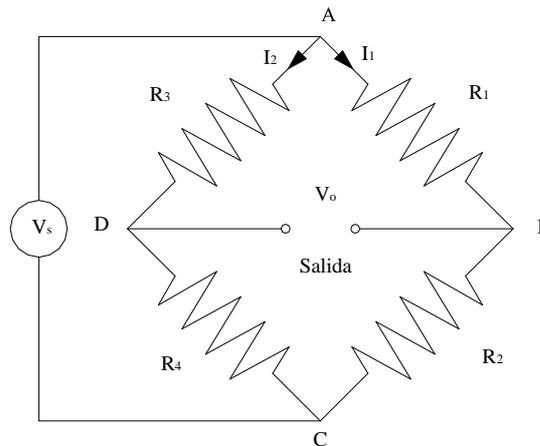


Figura 2.9: Esquema de la configuración del puente de Wheatstone

Cuando el voltaje de salida V_0 es cero, el potencial en B deberá ser igual al potencial en D. La diferencia de potencial en R_1 , es decir, V_{AB} , deberá ser igual a la diferencia en R_3 , o sea, V_{AD} , por tanto $I_1 R_1 = I_2 R_3$. También significa que la diferencia de potencial en R_2 , es decir, V_{BC} , debe ser igual a la de R_4 , es decir V_{DC} . Dado que en BD no hay corriente, la de R_2 debe ser igual a la que hay en R_1 y la corriente en R_4 debe ser la misma de R_3 . Por consiguiente $I_1 R_2 = I_2 R_4$. Dividiendo las dos ecuaciones se obtiene:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (8)$$

Cuando se da esta condición se dice que el puente está balanceado.

Si una de las resistencias cambia su condición de balance, el voltaje de alimentación V_s se conecta entre los puntos A y C, y por eso la caída de potencial en la resistencia R_1 es la fracción $\frac{R_1}{R_1+R_2}$, por tanto:

$$V_{AB} = \frac{V_s R_1}{R_1 + R_2} \quad (9)$$

De igual manera, la diferencia de potencial en R_3 es:

$$V_{AD} = \frac{V_s R_3}{R_3 + R_4} \quad (10)$$

Así la diferencia de potencial entre B y D, es decir la diferencia de potencial a la salida V_0 es:

$$V_0 = V_{AB} - V_{AD} = V_s \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \quad (11)$$

La ecuación expresa la condición de balance cuando $V_0=0$

2.2.2.2. Tipos de transductores de presión [10]

Los sistemas de control de procesos industriales precisan de lecturas de presión, por lo que existen diversos tipos de sensores y medidores de presión. Existiendo los siguientes tipos de presiones:

La *presión absoluta* de un fluido es la diferencia entre la presión de un fluido y el cero absoluto de presión, mientras que la *presión de dispositivo* indica la diferencia entre la presión del fluido y la

presión atmosférica. Por tanto, la presión absoluta y la mostrada por el dispositivo están relacionadas por la expresión:

$$\text{Presión absoluta} = \text{Presión de dispositivo} + \text{Presión atmosférica} \quad (12)$$

El término presión diferencial se usa para describir la diferencia entre dos presiones absolutas, tales como las medidas en dos puntos de un fluido (a menudo entre los dos lados de un limitador de flujo en un sistema de medida de caudal). Dependiendo de la presión que requiera medir existen los diferentes tipos de transductores como se muestra en la fig. 2.10.

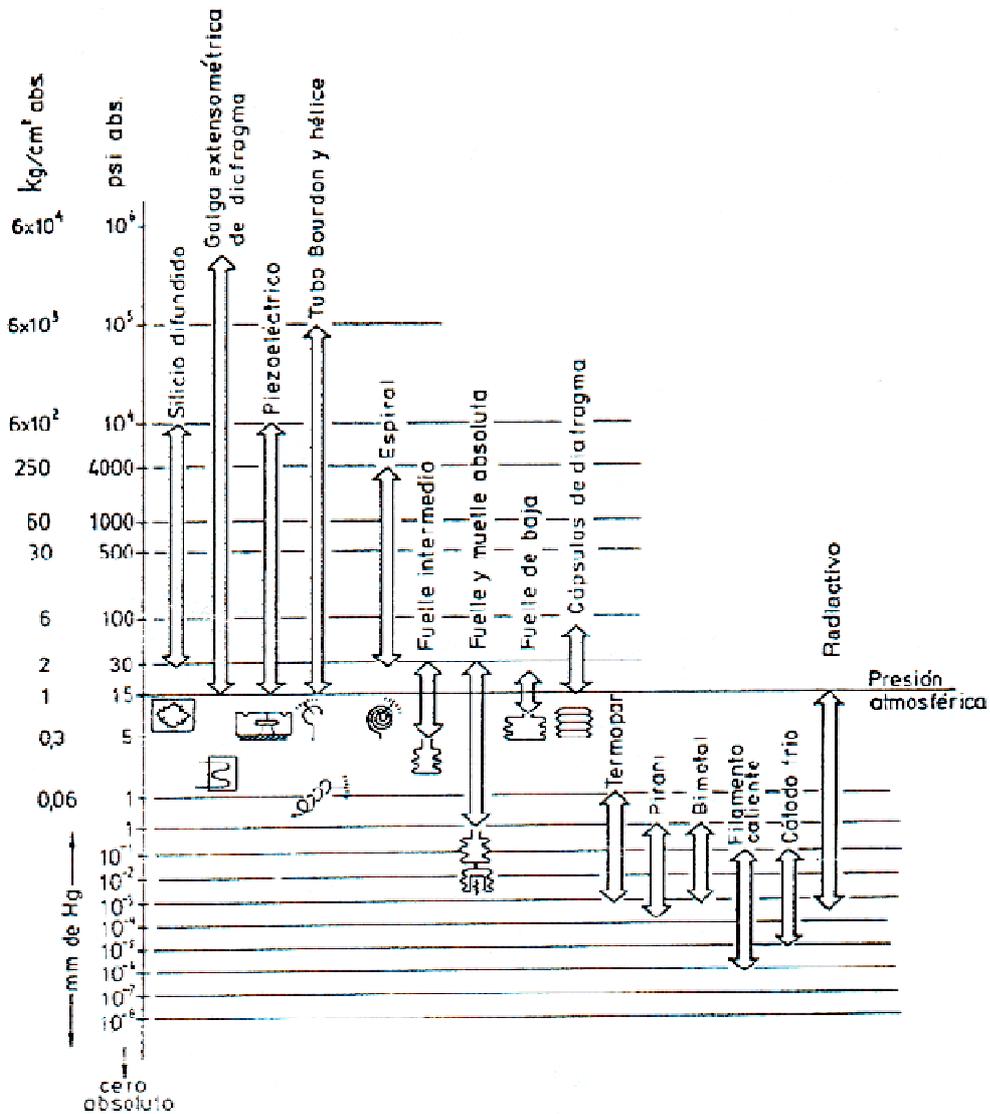


Figura 2.10: Tipos de transductores de presión

Los sensores de presión se clasifican en tres grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos (**ANEXO A**).

Debido a que la capacidad máxima de trabajo de la Máquina Universal es de 100 000 kgf la misma que es equivalente en el sistema hidráulico a 1 200 psi. Como se observa en la fig. 2.10 los transductores que cumplen con la presión requerida son los transductores electromecánicos.

2.2.2.3. Elementos Electromecánicos Electrónicos

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos.

Los elementos electromecánicos de presión se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos:

- Equilibrio de fuerzas
- Resistivos.
- Magnéticos
- Capacitivos
- Extensiométricos.
- Piezoeléctricos.

Tabla 2.2: CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS DESCRITOS

	Margen en bar	Precisión en % de toda la escala	Estabilidad en el tiempo	Sobrecarga	Temp. máx. de servicio °C	Nivel señal salida	Impedancia salida	Error de cero por influencia temperatur. ambiente	Resolución	Sensibilidad a vibraciones	
Equilibrio de fuerzas	2-6000	0,5	Media a mala	150 %	65	10 V	600 Ω	0,9-2,3 %	Continua	Alta	
Resistivos	0-0,1 a 0-300	1	Mala	150 %	80	Variac. res.	0-Res. total	0,7-3 %	0,25 %	↓	
Magnéticos	Inductancia variable	0,5	Media	150 %	↓	0-5 V	2 kΩ	0,9-2,3 %	Continua	↓	
		↓	Media	150 %	↓	0-5 V	2 kΩ	0,6-2,4 %	↓	↓	
Capacitivos	0,05-5 a 0,05-600	1	Media a buena	150 %	150	↓	5 kΩ	0,5-1,9 %	↓	Media	
Galgas extensiométricas	Cementadas	0-0,5 a 0-3000	0,5	Mala	↓	120	35 mV	350 Ω	0,5-2,4 %	↓	Alta
		Sin cementar	0-0,01 a 0-600	1	Mala	200 %	↓	350 Ω	↓	↓	↓
			Silicio difundido	0-2 a 0-600	0,3	Muy buena	200 %	107	2-10 V	600 Ω	0,4-1 %
Piezoelectrónicos	0,1-600	1	Mala	↓	90	600 mV/bar	1000 MΩ	1-4,8 %	1/5000	Baja	

El sistema hidráulico trabaja con un sistema de bombeo de alta potencia que genera la presencia de un alto grado de vibración.

Se demanda de un transductor que tenga una baja sensibilidad a la vibración y un bajo error porcentual de cero por influencia de la temperatura ambiente. Como se observa en la tabla 2.2 los transductores que cumplen lo antes mencionado son las galgas extensiométricas y los transductores piezoeléctricos.

Galgas extensiométricas

Se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

Existen dos tipos de galgas extensiométricas: galgas cementadas fig. 2.11 y fig. 2.12 formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico, y galgas sin cementar en las que los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.

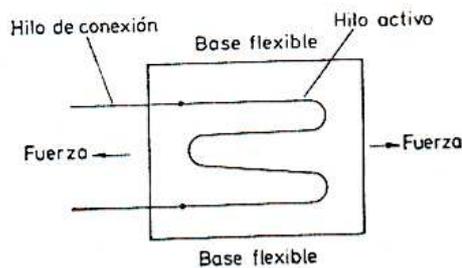


Figura 2.11: Representación gráfica del esquema de la galga cementada

La galga forma parte de un puente de Wheatstone y cuando está sin tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Se aplica al circuito una tensión nominal tal que la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en la misma y el puente se equilibra para estas condiciones.

Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente.

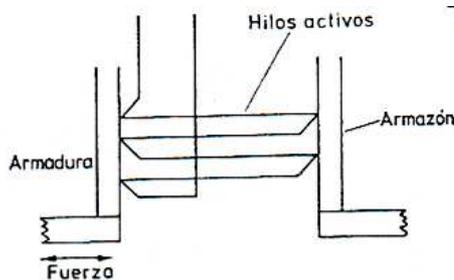


Figura 2.12: Representación gráfica del esquema de la galga sin cementar.

Una innovación de la galga extensiométrica la constituyen los transductores de presión de silicio difundido. Consisten en un elemento de silicio situado dentro de una cámara conteniendo silicona que está en contacto con el proceso a través de un diafragma flexible. El sensor está fabricado a partir de un monocristal de silicio en cuyo seno se difunde boro para formar varios puentes de Wheatstone constituyendo así una galga extensiométrica autocontenida. El espesor del sensor determina el intervalo de medida del instrumento. El sensor con su puente Wheatstone incorporado forma parte del circuito (ver fig. 2.13).

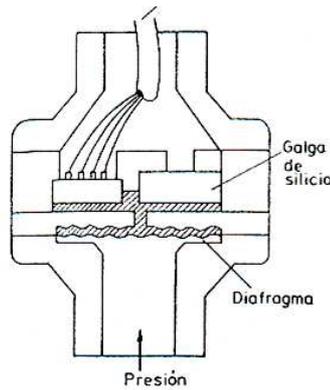


Figura 2.13: Esquema del transductor de presión de silicio difundido

Las galgas extensométricas pueden alimentarse con c.c. o c.a. Tienen una respuesta frecuencial excelente y pueden utilizarse en medidas estáticas y dinámicas. Presentan una compensación de temperatura relativamente fácil y generalmente no son influidas por campos magnéticos. Con excepción de las galgas de silicio difundido poseen las siguientes desventajas: señal de salida débil, pequeño movimiento de la galga, alta sensibilidad a vibraciones y estabilidad dudosa a lo largo del tiempo de funcionamiento. La galga de silicio difundido tiene la ventaja adicional de estar en contacto directo con el proceso sin mecanismos intermedios de medición de la presión pudiendo así trabajar correctamente aunque el fluido se deposite parcialmente sobre el diafragma del elemento ya que mide directamente la presión del fluido y no la fuerza que éste hace sobre el diafragma.

Transductores piezoeléctricos

Los elementos piezoeléctricos (ver fig. 2.14) son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de 150° C en servicio continuo y de 230° C en servicio intermitente.

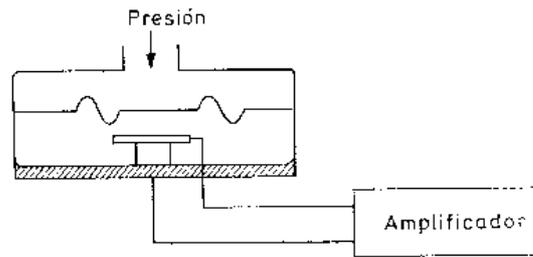


Figura 2.14: Representación gráfica del esquema del transductor piezoeléctrico

Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios en la temperatura y de experimentar deriva en el cero y precisar ajuste de impedancias en caso de fuerte choque. Asimismo, su señal de salida es relativamente débil por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores en la medición.

2.2.3. Sensor de deformación [11]

Es un dispositivo que se utiliza para medir pequeños y/o grandes cambios en la longitud de un objeto.

Entre los diferentes tipos de sensores de deformación tenemos:

- Reloj comparador analógico
- Reloj comparador digital
- Extensómetro

2.2.3.1. Reloj comparador analógico [12]

El reloj comparador es un instrumento de medición que su mecanismo se basa en transformar el movimiento lineal de la barra deslizante de contacto en movimiento circular que describe la aguja del reloj (ver fig. 2.15). La capacidad para detectar la diferencia de medidas es posible gracias a un mecanismo de engranajes y palancas, dentro de una caja metálica de forma circular.

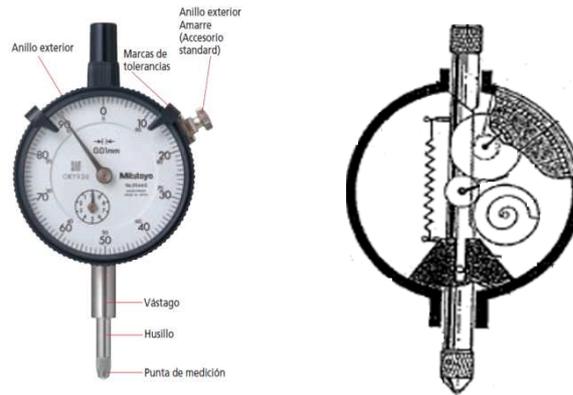


Figura 2.15: Representación gráfica del reloj comparador analógico o mecánico

2.2.3.2. Reloj comparador digital

El reloj comparador digital (ver fig. 2.16), es un instrumento para medir longitudes y formas, mediante medida diferencial. Los pequeños desplazamientos de la punta de palpación son amplificados mecánicamente y se transmiten a un display (lectura digital). Los relojes comparadores con salida de datos permiten al usuario procesar la información resultante de la medida de manera más rápida e interactuar con otros dispositivos.

El reloj comparador digital suele tener un campo de medida de 10 mm aunque existen relojes comparadores desde 10 micras hasta 100 mm. La resolución de los relojes comparadores digitales suele ser de 0,01mm aunque resoluciones de 0,001 ó 0,0001 mm están disponibles. El reloj de comparación digital tiene la gran ventaja de poder convertir entre escalas, o sea, de pasar el valor de milímetros a pulgadas y viceversa.



Figura 2.16: Representación gráfica del reloj comparador digital

2.2.2.3. Extensómetro eléctrico

Un extensómetro (ver **fig. 2.17**), a veces también llamado **medidor de deformación** , es un dispositivo que mide las variaciones de longitud de un objeto. Estas variaciones pueden ser tan pequeñas que no son identificables a simple vista, o lo suficientemente claro que alguien los puede visualizar.

La extensometría, se utiliza ampliamente en materiales de prueba. La prueba de tensión por lo general requiere un extensómetro, y estos dispositivos también se utilizan en la investigación científica, para hacer y registrar las observaciones importantes.

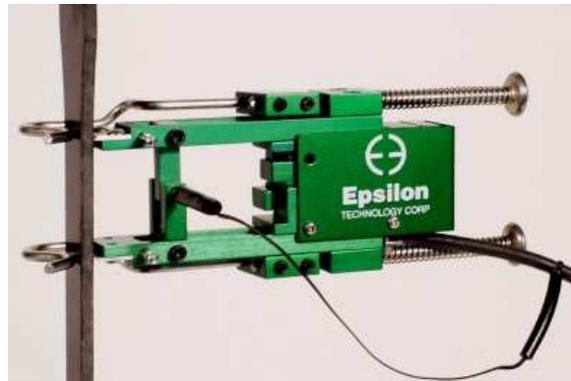


Figura 2.17 : Representación gráfica del extensómetro eléctrico

2.2.4. Encoder [13]

Un encoder es un sensor electro-opto-mecánico que mediante una señal eléctrica (normalmente un pulso o una señal senoidal) que unido a un eje, proporciona información del ángulo girado. El cual también permite medir distancias lineales.

2.2.4.1 Tipos de encoders

Encoder incremental (Incremental Encoder)

Este tipo de encoder (ver fig. 2.18) se caracteriza porque determina su posición, contando el número de pulsos que se generan cuando un rayo de luz, es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje.

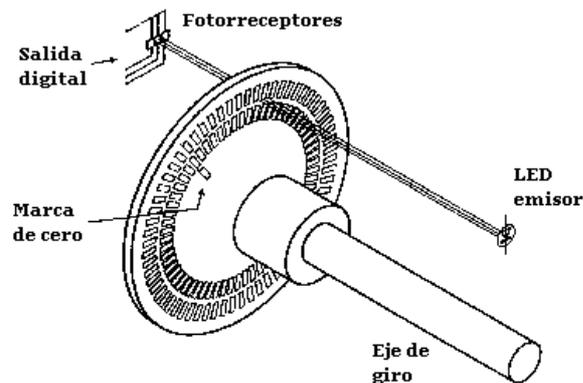


Figura 2.18: Representación gráfica del encoder incremental

Características encoder incremental

Las características básicas de un encoder incremental óptico son:

- **Tensión de alimentación:** Nos indica a que tensión puede trabajar el encoder. A veces es fija (5v, 12v, etc.).
- **Resolución:** La resolución del encoder depende del número de pulsos por revolución.
- **Tipo de salida:** Las salidas de los canales pueden ser de varios tipos; TTL, colector abierto, etc, por lo que habrá que utilizar el circuito adecuado para adaptar estas salidas.
- **Número de canales:** Suelen ser 1 o 2, más un canal adicional de índice (I) que de un pulso por vuelta. Con los encoders de un solo canal podemos saber el ángulo girado pero no la dirección de giro, por lo que la mayoría de los encoders llevan dos canales que generan señales cuadradas desplazadas 90°.

Encoder absoluto (Absolute Encoder)

En el encoder absoluto (ver fig. 2.19), el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, ubicadas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en sectores, con marcas opacas y transparentes codificadas en código Gray.

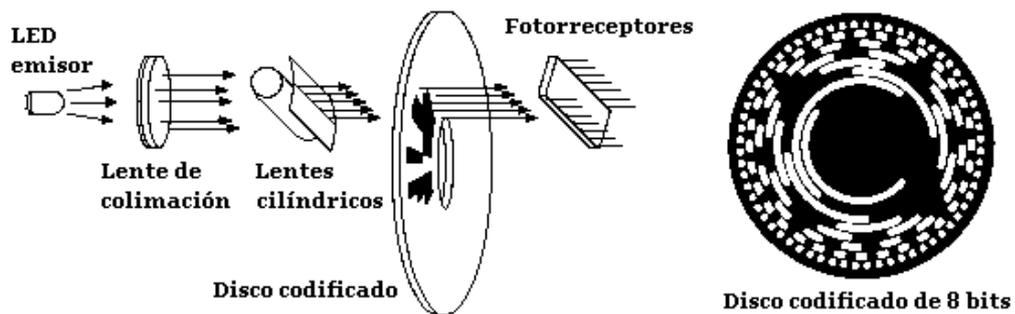


Figura 2.19: Representación gráfica del encoder absoluto

El código Gray es una forma especial del código binario en donde de una combinación a la siguiente cambia tan solo un bit, esto permite mayores velocidades en la transmisión de datos y más seguridad, ya que en el caso de los códigos binarios cambian n bits en un incremento.

El estator tiene un fotorreceptor por cada bit representado en el disco. El valor binario obtenido de los fotorreceptores es único para cada posición del rotor y representa su posición absoluta. Se utiliza el código Gray en lugar de un binario clásico porque en cada cambio de sector sólo cambia el estado de una de las bandas, evitando errores por falta de alineación de los captadores.

2.2.4.2. Ventajas y desventajas del encoder incremental

- El inconveniente de los encoders absolutos es la cantidad de líneas que necesitamos leer y conectar y debido a la complejidad del disco óptico que codifica las posiciones la resolución no suele ser muy elevada.

- Generalmente, los encoders incrementales proporcionan mayor resolución a un costo más bajo que los encoders absolutos. Además, su electrónica es más simple ya que tienen menos líneas de salida.
- Típicamente un encoder incremental solo tiene cuatro líneas: 2 de cuadratura, una de poder y una tierra. Un encoder absoluto tiene una línea de salida por cada bit, una línea de poder y la tierra.

2.3. Definición de las señales y su interpretación

2.3.1. Sistemas Numéricos [14]

El concepto de número todos lo tenemos, pero un mismo número se puede representar de muchas maneras. Por ejemplo, el número 10, lo representamos mediante dos *dígitos*, el '1' y el '0'.

Si se utiliza numeración romana, este mismo número se lo representaría sólo con un único dígito 'X'. Pero está claro que ambas representaciones, "10" y "X" hacen referencia al mismo número diez.

2.3.1.1. Sistema decimal o sistema en base diez

Se representa los números en el sistema decimal, que consta de diez dígitos diferentes (0, 1, 2, ..., 9) asignándoles un peso que es una potencia de diez, y que será mayor cuanto más a la izquierda se encuentre el dígito. A continuación se representa el número "tres mil doscientos ochenta y uno":

3281

Se observa que cada dígito está *multiplicando* una potencia de 10. Cuanto más a la izquierda se sitúe el dígito, mayor será la potencia de diez por la que se multiplica.

En la fig. 2.20 se muestra el número 3281 descompuesto en dígitos y pesos, y se indica cuál es el dígito de mayor peso y cuál es el de menor.

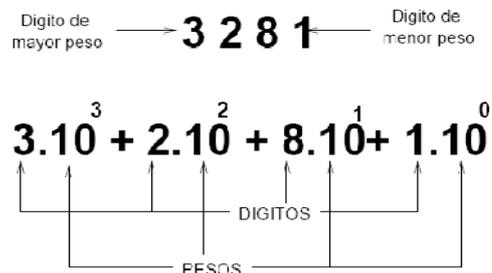


Figura 2.20: Representación de los dígitos y pesos del número 3281

Este sistema de representación también se llama **sistema en base diez** porque los pesos de los dígitos son potencias de 10. El dígito de más de la derecha tiene un peso de 10^0 los siguientes tienen pesos de 10^1 , 10^2 , 10^3 .

2.3.1.2. Sistema binario

El sistema binario se encuentra compuesto por dos elementos denominados dígitos binarios o bits que vienen a ser 0 y 1, cuando un número es representado por éste sistema, la posición del dígito en el número corresponde al peso que debe ser asignado a cada uno de los dígitos, aumentando de derecha a izquierda cada peso en un factor de 2 de la siguiente manera.

...	2^3	2^2	2^1	2^0
	bit3	bit2	bit1	bit0

BIT Dígito binario. Un bit puede tomar los valores 0 ó 1.

Es la abreviatura de las palabras inglesas de Binary digit.

Byte Conjunto de 8 bits.

El número más alto que se puede representar es el 11111111, que en decimal es 256.

2.3.2. Algebra booleana

Las compuertas lógicas son los bloques básicos de construcción de los circuitos electrónicos digitales.

En la tabla 2.3 se resume las diferentes compuertas lógicas:

Tabla 2.3: COMPUERTAS LÓGICAS

Símbolo	Tabla de Verdad	Función Algebraica															
<p>AND</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	x	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$X = A \cdot B \Rightarrow AB$
A	B	x															
0	0	0															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															
<p>OR</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	x	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	$X = A + B$
A	B	x															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	1															
<p>Inversor (Not)</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	X	0	1	1	0	$X = A' \Rightarrow \bar{A}$									
A	X																
0	1																
1	0																
<p>Separador</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	X	0	0	1	1	$X = A$									
A	X																
0	0																
1	1																
<p>NAND</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	x	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$X = (\overline{AB})$
A	B	x															
0	0	1															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	0															
<p>NOR</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	x	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$X = \overline{(A+B)}$
A	B	x															
0	0	1															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	0															
<p>OR (Exclusivo XOR)</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	x	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$X = A \oplus B \Rightarrow \bar{A}B + A\bar{B}$
A	B	x															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	0															
<p>NOR (Exclusivo, Equivalencia)</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	x	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$X = A \odot B \Rightarrow \bar{A}\bar{B} + AB$
A	B	x															
0	0	1															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															

2.3.3. Algebra booleana

El álgebra booleana se rige bajo un grupo de reglas que permitirán simplificar expresiones, en las que intervienen 0 y 1, como también las operaciones OR, AND y NOT.

2.3.3.1. Reglas del algebra booleana

En la tabla 2.4 se describan la reglas del algebra booleana

Tabla 2.4: REGLAS DEL ALGEBRA BOOLEANA

ENUNCIADO	NOMENCLATURA
Todo a lo que se aplique el operador OR con un valor idéntico es igual a sí mismo	$x + x = x$
Todo a lo que se aplique el operador AND con un valor idéntico es igual a sí mismo	$x \cdot x = x$
El orden de las entradas de las compuertas OR y las compuertas AND es indistinto	$A + B = B + A$ $A \cdot B = B \cdot A$
De existir más de dos entradas combinadas con las compuertas OR y AND éstas pueden asociarse así	$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
Así mismo se puede asociar los términos entre paréntesis de la misma manera que el álgebra ordinaria con las compuertas AND y OR	$A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$
Todo a lo que se le aplique el operador OR y se añada su inverso es igual a 1	$x + \bar{x} = 1$
Todo a lo que se aplique el operador AND con su inverso es igual a 0	$x \cdot \bar{x} = 0$
Todo a lo que se aplique el operador AND con su inverso es igual a 0	$x + 0 = x$ $x + 1 = 1$
Todo que se aplica a la compuerta AND con el valor 0 es igual a 0, todo aquello que se aplique a la compuerta AND con el valor 1 es igual a sí mismo	$x \cdot 0 = 0$ $x \cdot 1 = x$

2.3.3.2. Leyes de Morgan

1. La inversa de la aplicación del operador OR en A y B, equivale a aplicar el operador AND a las inversas A y B por separado de la siguiente manera:

$$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

2. La inversa del resultado de la aplicación del operador AND a A y B es igual a la aplicación del operador OR a las inversas de A y B por separado:

$$\overline{\bar{A} \cdot \bar{B}} = A + B$$

2.3.4. Señal [15]

Variable de un sistema físico que puede ser medida, pudiendo o no tener variaciones con respecto al tiempo

2.3.4.1. Tipo de señales [16]

Las señales pueden clasificarse en señales dinámicas (AC) y estáticas (DC) (ver fig. 2.21), las señales dinámicas pueden estudiarse en el dominio del tiempo o la frecuencia y si dichas señales son continuas se denominan señales analógicas y en caso de ser discretas o por pulsos señales digitales.

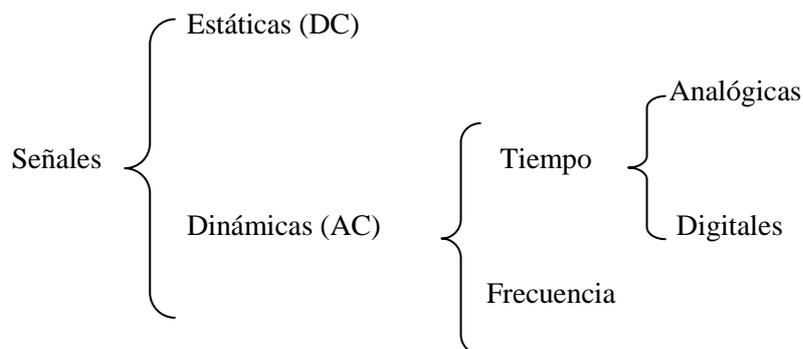


Figura 2.21: Cuadro sinóptico de los tipos de señales

Señal analógica. Una señal analógica (ver fig. 2.22) es un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es representable por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo (representando un dato de información) en función del tiempo.

Algunas magnitudes físicas comúnmente portadoras de una señal de este tipo son eléctricas como la intensidad, la tensión y la potencia, pero también pueden ser hidráulicas como la presión, térmicas como la temperatura, mecánicas, etc.

Referido a un aparato o a un instrumento de medida, decimos que es analógico cuando el resultado de la medida se representa mediante variables continuas, análogas a las magnitudes que se está midiendo.

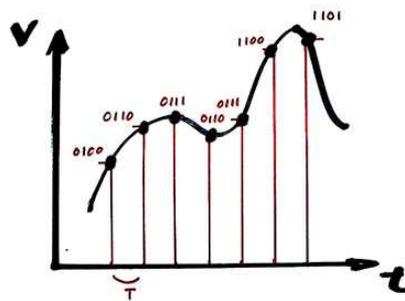


Figura 2.22: Representación gráfica de una señal analógica

Señal digital. Es aquella cuyas dimensiones (tiempo y amplitud) no son continuas sino discretas, lo que significa que la señal necesariamente ha de tomar unos determinados valores fijos predeterminados en momentos también discretos. Estos valores fijos se toman del sistema binario, lo que significa que la señal se convierte en una combinación de ceros y unos, que ya no se parece en nada a la señal original. Precisamente, el término *digital* tiene su origen en esto, en que la señal se construye a partir de números (*dígitos*). (Ver fig. 2.23).

Para el análisis y la síntesis de los sistemas digitales binarios se utiliza como herramienta el álgebra de Boole, formada por compuertas lógicas que siguen el comportamiento de algunas funciones booleanas.



Figura 2.23: Representación gráfica de una señal digital integrada por valores discretos de ceros y unos

2.3.4.2. Ventajas y desventajas de la señal digital

Ventajas

- Cuando una señal digital es atenuada o experimenta perturbaciones leves, puede ser reconstruida y amplificada mediante sistemas de regeneración de señales.
- Cuenta con sistemas de detección y corrección de errores, que se utilizan cuando la señal llega al receptor; entonces comprueban (uso de redundancia) la señal, primero para detectar algún error, y, algunos sistemas, pueden luego corregir alguno o todos los errores detectados previamente.
- Facilidad para el procesamiento de la señal. Cualquier operación es fácilmente realizable a través de cualquier software de edición o procesamiento de señal.

Desventajas

- Se necesita una conversión analógica-digital previa y una decodificación posterior, en el momento de la recepción.
- La transmisión de señales digitales requiere una [sincronización](#) precisa entre los tiempos del reloj del transmisor, con respecto a los del receptor. Un desfase cambia la señal recibida con respecto a la que fue transmitida.
- Si se utiliza compresión con pérdida, será imposible reconstruir la señal original idéntica, pero sí una parecida dependiendo del muestreo tomado en la conversión de analógico a digital.

2.4. Adquisición de datos

2.4.1. El Sistema de adquisición de datos [17]

Un sistema de adquisición de datos es una unidad que permite tomar señales físicas del entorno y convertirlas en datos que posteriormente se puede procesar y presentar. A veces el sistema de adquisición es parte de un sistema de control, y por tanto la información recibida se procesa para obtener una serie de señales de control.

2.4.2. Estructura de un sistema de adquisición de datos [18]

En la fig. 2.24 se observa los bloques que componen un sistema de adquisición de datos:

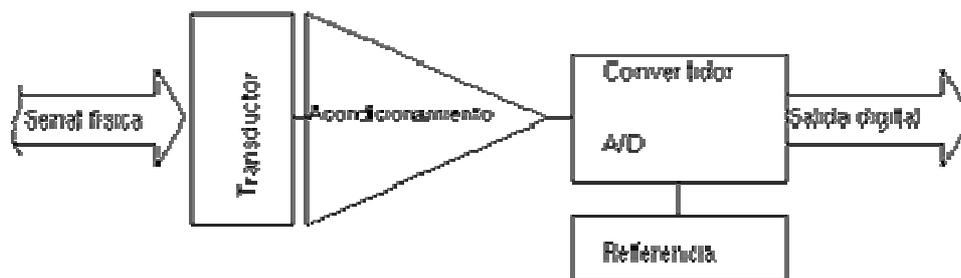


Figura 2.24: Esquema de bloques de un sistema de adquisición de datos

Como se observa, los bloques principales son estos:

- El transductor
- El acondicionamiento de señal
- El convertidor analógico-digital
- La etapa de salida (interfaz con la lógica)

De los sensores y transductores ya se habló anteriormente en la sección **2.2**.

2.4.3. Acondicionamiento de señales [19]

La mayoría de las señales requieren de preparación antes de poder ser digitalizadas. Aún las señales de voltaje puro pueden requerir de tecnología para bloquear señales grandes de modo común o picos. Todas estas tecnologías de preparación son formas de acondicionamiento de señal.

Con más detalle, en una etapa de acondicionamiento se puede encontrar estas etapas, aunque no todas están siempre presentes:

- Amplificación
- Filtrado
- Aislamiento
- Linealización

2.4.3.1. Amplificación

Es el tipo más común de acondicionamiento. Para conseguir la mayor precisión posible la señal de entrada deber ser amplificada de modo que su máximo nivel coincida con la máxima tensión que el convertidor pueda leer.

Cuando los niveles de voltaje que se va a medir son muy pequeños, la amplificación se usa para maximizar la efectividad del digitalizador. Al amplificar la señal de entrada, la señal acondicionada usa más efectivamente el rango del convertidor analógico-digital (ADC) y mejora la precisión y resolución de la medición.

Amplificadores. Un amplificador es un circuito o sistema electrónico integrado, el cual tiene la capacidad de: por medio de sus circuitos internos procesar y amplificar una señal de entrada relativamente débil y entregar una salida más potente. La señal de salida puede como no puede ser de igual configuración o forma de onda que la señal de entrada. (Ver fig. 2.25).

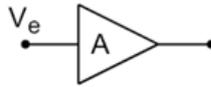


Figura 2.25: Representación gráfica de un amplificador

Parámetros de los amplificadores. Los amplificadores tienen diferentes tipos de parámetros los mismos que definen su complejidad, dichos parámetros corresponden al tipo de señal a amplificar y de la cantidad de amplificación y ganancia que se requiere.

- **Fuente de alimentación:** los amplificadores necesariamente trabajan con una fuente de energía de corriente directa.
- **Ganancia:** La ganancia es la medida de la cantidad de amplificación, definida por la relación numérica existente entre la señal de salida y la señal de entrada. Dependiendo de la variable que vaya a amplificar.

Ganancia de voltaje:

$$G = \frac{V_e}{V_x} \quad (13)$$

Ventajas de los amplificadores operacionales

- Multitud de aplicaciones
- Mínimo número de componentes discretos necesarios
- Circuito integrado de bajo costo
- El AO es un circuito integrado de bajo costo capaz de realizar multitud de funciones con pocos componentes discretos.
- Ejemplos de funciones lineales: Cálculo analógico, convertidores V-I e I-V, amplificadores de instrumentación y filtros activos.

- El AO se comporta de forma lineal si:
 - Hay camino de circulación de corriente entre la salida y la entrada negativa
 - La tensión de salida no supera los límites de la tensión de alimentación
- Es posible realizar funciones matemáticas, de ahí su nombre: Amplificador Operacional.

2.4.3.2. Aislamiento

Las señales de voltaje fuera del rango del digitalizador pueden dañar el sistema de medición y ser peligrosas para el operador. Es preciso tener aislamiento y atenuación para proteger al sistema y al usuario de voltajes de alta tensión o picos.

Otra aplicación habitual en acondicionamiento de la señal es el aislamiento eléctrico entre el transductor y el ordenador, para proteger al mismo de transitorios de alta tensión que puedan dañarlo. Un motivo adicional para usar aislamiento es el garantizar que las lecturas del convertidor no son afectadas por diferencias en el potencial.

2.4.3.3. Filtrado

Frecuentemente la señal eléctrica obtenida de los transductores contiene ciertas distorsiones con respecto a la señal mecánica debido a interferencias que se dan en la red, radiofrecuencias, etc., a éstas interferencias se las conoce como ruido, que normalmente suele tener un comportamiento espectral diferente a la señal deseada. La forma de eliminar el ruido es por medio de un proceso denominado filtrado de frecuencias mediante los filtros que selecciona cierta banda de frecuencias, eliminando los armónicos que no le corresponden a la frecuencia deseada y no permite que se transmitan.

Filtros. Los filtros activos son circuitos compuestos por resistencias, condensadores y amplificadores operacionales (ver fig. 2.26), cuya finalidad es dejar pasar a través de ellos las frecuencias para las que han sido diseñados, eliminando por tanto el resto de las frecuencias que no interesan. Las mediciones

de vibración normalmente requieren de filtros antialiasing para remover componentes de señales más allá del rango de frecuencias del sistema de adquisición de datos.

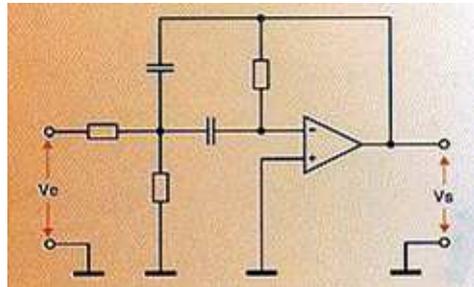
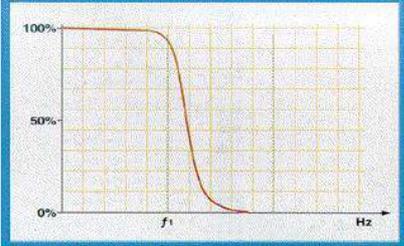
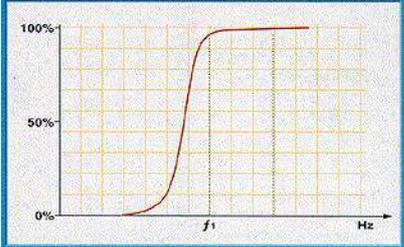
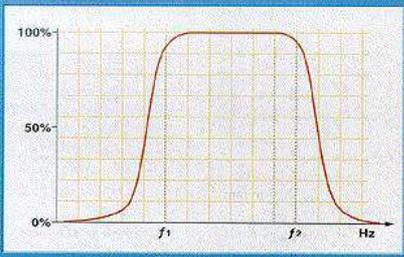
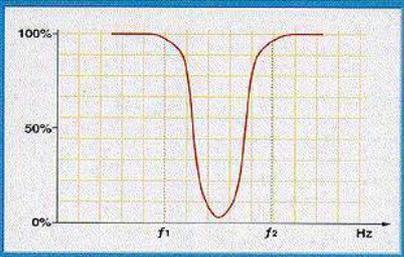


Figura 2.26: Esquema de un filtro pasa-banda

La aparición del amplificador operacional ha traído consigo una mejora notable en la fabricación de los filtros, ya que se ha podido prescindir de las inductancias. La mejora conseguida con el cambio de inductancias por amplificadores operacionales es apreciable en lo que se refiere a respuesta, aprovechamiento de la energía (menor disipación), tamaño y peso, ya que las inductancias no se pueden integrar en un circuito y, por tanto, son elementos discretos con un tamaño considerable. En la mayoría de las aplicaciones que se dan a los filtros, las ventajas de los filtros activos RC sobre los pasivos RLC son más numerosas.

Existen básicamente cuatro tipos de filtros, como se muestran en la tabla. 2.5.

Tabla 2.5: TIPOS DE FILTROS

TIPO DE FILTRO	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
<p>Filtros pasa-bajas</p>	<p>Son aquellos que permiten el paso de las frecuencias bajas</p>	 <p>Un filtro pasa-bajas sólo permite el paso de señales con frecuencias menores a f_1</p>
<p>Filtros pasa-alta</p>	<p>Por el contrario, sólo permiten el paso de frecuencias altas a través de ellos.</p>	 <p>Un filtro pasa-alta sólo permite el paso de señales con frecuencias mayores a f_1</p>
<p>Filtros pasa-banda</p>	<p>Solamente permiten el paso de un determinado rango de frecuencias.</p>	 <p>En un filtro rechaza banda, las señales con frecuencias comprendidas entre f_1 y f_2 son las únicas que pasan</p>
<p>Filtros supresores de frecuencias</p>	<p>Como su nombre indica, son capaces de atenuar o incluso eliminar frecuencias concretas.</p>	 <p>En un filtro rechaza-banda, las señales con frecuencias comprendidas entre f_1 y f_2 son las únicas que no pasan</p>

2.4.3.4. Linealización

Algunos tipos de sensores producen señales de voltaje que no son lineales en relación con la magnitud física medida. La linealización, puede realizarse a través de acondicionamiento de señal o software.

2.4.4. Conversión analógico a digital

Para realizar esta tarea, el conversor **ADC** (Analog-to-Digital Converter- Conversor Analógico Digital) tiene que efectuar los siguientes procesos:

1. **Muestreo** de la señal analógica.
2. **Cuantización** de la propia señal
3. **Codificación** del resultado de la cuantización, en código binario. (ver fig. 2.27).

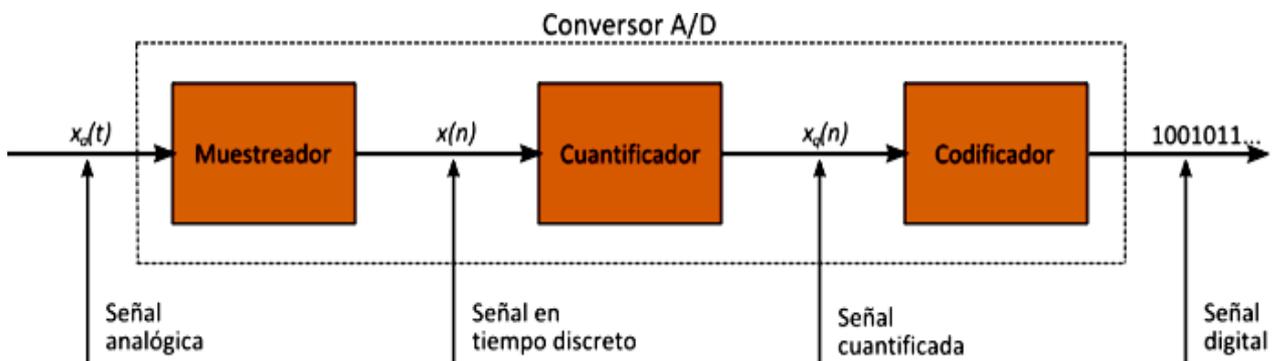


Figura 2.27: Esquema representativo del proceso de la conversión Analógica Digital (A/D)

2.4.4.1. Muestreo de la señal analógica

En la representación de la fig. 2.28, de medio ciclo positivo (+), correspondiente a una señal eléctrica analógica. Como se podrá observar, los valores de variación de la tensión o voltaje en esta senoide pueden variar en una escala que va de “0” a “7” volt.



Figura 2.28: Representación gráfica de la señal analógica de medio ciclo positivo

Para convertir una señal analógica en digital, el primer paso consiste en realizar un muestreo (*sampling*) de ésta (ver fig. 2.29), o lo que es igual, tomar diferentes muestras de tensiones o voltajes en diferentes puntos de la onda senoidal. La frecuencia a la que se realiza el muestreo se denomina razón, tasa o también frecuencia de muestreo y se mide en kilohertz (kHz).

Durante el proceso de muestreo se asignan valores numéricos equivalentes a la tensión o voltaje existente en diferentes puntos de la senoide, con la finalidad de realizar a continuación el proceso de cuantización.



Figura 2.29: Representación gráfica del muestreo de una señal analógica (Sampling)

En la frecuencia de muestreo lo ideal sería que el número de muestras sea el mayor posible, para poder tener un alto nivel de eficacia, por tanto se utiliza la mínima frecuencia de muestreo, la misma que permitirá reconstruir la señal original que ha sido digitalizada

El teorema de Nyquist o teorema de muestreo

El objetivo fundamental de la adquisición es el poder reconstruir la señal muestreada de una manera fiel. Este teorema dice que la frecuencia mínima de muestreo para poder reconstruir la señal ha de ser el doble de la frecuencia de la señal a medir. Pero, para que la reconstrucción sea fiable, deberemos tomar muestras a una frecuencia unas 10 veces superior a la de la señal a evaluar.

Efectos de aliasing

El Aliasing se produce cuando la frecuencia de muestreo es menor que la de la señal que se muestrea, y se refiere al hecho de que podemos interpretar de una manera no exacta la señal, apareciendo un "alias" de la señal (de ahí el término). Este efecto se pone de manifiesto en la fig. 2.30.

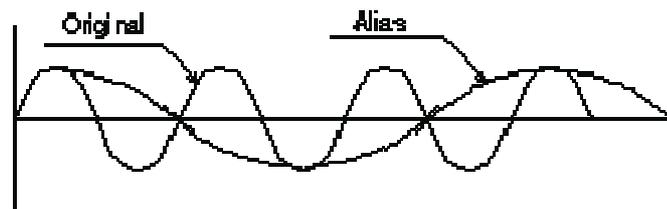


Figura 2.30: Curva que representa el efecto Aliasing de una frecuencia de muestreo

Como se aprecia, al tomar varias muestras con un periodo de muestreo superior al de la señal medida, llegamos a creer que la señal tiene una frecuencia mucho menor de la que realmente tiene. En este efecto también influyen los armónicos, señales que interfieran con la señal a medir, de modo que pueden aparecer señales de alta frecuencia superpuestas, como ruido, y otras senoidales, que aparentemente no son ruido, pero que también afectan a la señal bajo medida. Por tanto, cualquier frecuencia de muestreo excesivamente baja nos da información falsa sobre la señal

Retención

A continuación es necesaria una unidad de muestreo y retención, ya que cada uno de los valores muestreados deben ser retenidos hasta que se produzca el siguiente impulso, de éste modo el

convertidor analógico digital requiere una cantidad finita de tiempo, conocido como tiempo de conversión, para convertir la señal analógica a digital.

Desde el punto de vista matemático este proceso no se contempla ya que se trata de un recurso técnico debido a limitaciones prácticas y carece, por tanto, de modelo matemático.

2.4.4.2. Cuantización de la señal analógica

Una vez realizado el muestreo, el siguiente paso es la cuantización (*quantization*) de la señal analógica. Para esta parte del proceso los valores continuos de la sinusoide se convierten en series de valores numéricos decimales discretos correspondientes a los diferentes niveles o variaciones de voltajes que contiene la señal analógica original. (Ver fig. 2.31).

Por tanto, la cuantización representa el componente de muestreo de las variaciones de valores de tensiones o voltajes tomados en diferentes puntos de la onda sinusoidal, que permite medirlos y asignarles sus correspondientes valores en el sistema numérico decimal, antes de convertir esos valores en sistema numérico binario.

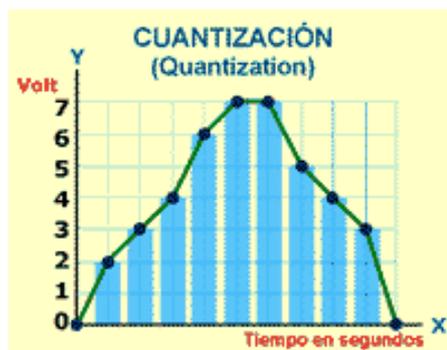


Figura 2.31: Proceso de cuantización (quantization) de la señal eléctrica analógica para su conversión en señal digital.

2.4.4.3. Codificación de la señal en código binario

Después de realizada la cuantización, los valores de las tomas de voltajes se representan numéricamente por medio de códigos y estándares previamente establecidos. Lo más común es codificar la señal digital en código numérico binario. (Ver fig. 2.32).



Figura 2.32: Representación gráfica de la codificación de la señal digital en código numérico binario

La codificación permite asignarle valores numéricos binarios equivalentes a los valores de tensiones o voltajes que conforman la señal eléctrica analógica original.

En este ejemplo gráfico de codificación, es posible observar cómo se ha obtenido una señal digital y el código binario correspondiente a los niveles de voltaje que posee la señal analógica. La tabla 2.6 se muestra los valores numéricos del 0 al 7, pertenecientes al sistema decimal y sus equivalentes en código numérico binario. En esta tabla se puede observar que utilizando sólo tres bits por cada número en código binario, se pueden representar ocho niveles o estados de cuantización.

Tabla 2.6: EQUIVALENCIA DEL SISTEMA DECIMAL AL BINARIO

Valores en volt en Sistema Decimal	Conversión a Código Binario
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Y en la tabla 2.7 se puede ver la sustitución que se ha hecho de los valores numéricos correspondientes a los voltajes de las muestras tomadas de la señal analógica utilizada como ejemplo y su correspondiente conversión a valores en código binario.

Tabla 2.7: EQUIVALENCIA DEL SISTEMA ANALÓGICO AL DIGITAL

Valor de los voltajes de la señal analógica del ejemplo	Conversión a Código Binario
0	000
2	010
3	011
4	100
6	110
7	111
7	111
5	101
4	100
3	011
0	000

2.4.4.4. Ventajas y desventajas de la conversión de la señal analógica a digital

Ventajas

1. No se introducen ruidos en la transmisión
2. La señal digital puede ser reconstruida fácilmente gracias a los sistemas de regeneración de señales utilizados también para amplificarla sin que esto genere distorsión en la salida, por tanto en caso de cierta cantidad de información no se perderá por completo pues es posible su reconstrucción.
3. Las señal digital también cuenta, con un sistema de detección y corrección de errores lo que permite introducir el valor de una muestra dañada, obteniendo el valor medio de las muestras adyacentes es decir se produce una interpolación en el valor.
4. La señal digital se guarda y procesa mucho más fácilmente que la señal analógica.
5. Es posible almacenar grandes cantidades de datos en diferentes tipos de soportes.
6. Los componentes electrónicos e informáticos normalmente procesan solo el tipo de señales digitales facilitando de éste modo el procesamiento de señal.
7. Permite la compresión para aumentar la capacidad de almacenamiento.
8. Las interferencias atmosféricas como la estática no afectan a la señal cuando ésta es transmitida en forma inalámbrica, como ocurre con las transmisiones analógicas.

Desventajas

1. Para la transmisión correcta de la señal digital es necesario un mayor ancho de banda que la señal analógica.
2. La transmisión de señales digitales requiere una sincronización precisa entre los tiempos del reloj del transmisor y el del receptor, de producirse un desfase por pequeño que sea la señal variaría por completo y la salida sería errónea.

2.4.5. Etapa de salida

La etapa de salida se refiere a que tipo de comunicación se debe utilizar para la transferencia de datos.

Existen dos formas de comunicación binaria: la paralela y la serial.

2.4.5.1. Comunicación paralela

En telecomunicaciones y computación, la comunicación paralela es un método de envío de múltiples señales de datos sobre un enlace de comunicación a la vez. Contrasta con la comunicación serial.

La transmisión de datos paralela consiste en enviar datos en forma simultánea por varios canales (hilos). Con una longitud máxima de 3 m de distancia. Los puertos paralelos en los PC pueden utilizarse para enviar 8 bits simultáneamente por 8 hilos. (Ver fig. 2.33).

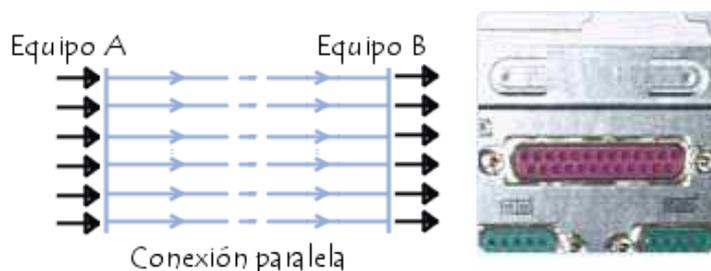


Figura 2.33: Representación gráfica del puerto paralelo

En general, se prefieren y desarrollan tecnologías de comunicación serial más que las de comunicación paralela.

2.4.5.2. Comunicación serial

La comunicación serial es un protocolo muy común para comunicación entre dispositivos que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora. La comunicación serial es también un protocolo común utilizado por varios dispositivos para instrumentación. Además, la

comunicación serial puede ser utilizada para adquisición de datos si se usa en conjunto con un dispositivo remoto de muestreo.

Las características más importantes de la comunicación serial son:

Velocidad de transmisión (*baud rate*): Indica el número de bits por segundo que se transfieren, y se mide en baudios (*bauds*).

Bits de datos: Se refiere a la cantidad de bits en la transmisión. Las cantidades más comunes de bits por paquete son 5, 7 y 8 bits. El número de bits que se envía depende en el tipo de información que se transfiere. Un paquete se refiere a una transferencia de byte, incluyendo los bits de inicio/parada, bits de datos, y paridad.

Bits de parada: Usado para indicar el fin de la comunicación de un solo paquete.

Paridad: Es una forma sencilla de verificar si hay errores en la transmisión serial. Esto permite al dispositivo receptor conocer de antemano el estado de un bit, lo que serviría para determinar si hay ruido que esté afectando de manera negativa la transmisión de los datos.

2.4.5.3. Puerto USB

El USB (*Bus de serie universal*) se basa en una arquitectura de tipo serial. Sin embargo, es una interfaz de entrada/salida mucho más rápida que los puertos seriales estándar.

Tipos de conectores USB

Existen dos tipos de conectores USB (Ver fig. 2.34).

- Los conectores conocidos como tipo A, cuya forma es rectangular y se utilizan, generalmente, para dispositivos que no requieren demasiado ancho de banda (como el teclado, el ratón, las cámaras Web, etc.);
- Los conectores conocidos como tipo B poseen una forma cuadrada y se utilizan principalmente para dispositivos de alta velocidad (discos duros externos, etc.).

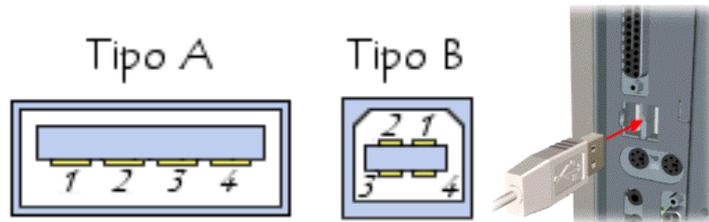


Figura 2.34: Representación gráfica del USB (*Bus de serie universal*) con sus respectivos conectores

1. Fuente de alimentación de +5 V (*VBUS*) máximo 100 mA
2. Señal (*s-*)
3. Señal (*s+*)
4. Conexión a tierra (*GND*)

Ventajas de la comunicación mediante el puerto USB

- El puerto serie es capaz de transmitir hasta 112,5 KB/s y el puerto paralelo entre 600KB/s y 15MB/s, pero el puerto USB es capaz de llegar a alcanzar entre 1,5MB/s y 12MB/s
- Los puertos USB permiten disminuir los costos de los dispositivos periféricos, al no requerir tarjetas adicionales ni transformadores de energía;
- Simplifican su instalación al no tener que configurar cada dispositivo y utilizar un mismo conector para todos y acceder a mejores prestaciones dada la mayor velocidad del bus comparada con los puertos serie y paralelo.

- Sigue una especificación muy reservada, orientada a la comodidad de los usuarios y a la facilidad de manejo por personas sin formación técnica, así como la flexibilidad para ser adaptable a muchos usos.
- El manejo de los dispositivos USB se hace por software, concretamente por el propio sistema operativo, por lo que los dispositivos USB son más fáciles de fabricar y por tanto más baratos. Además, USB es una tecnología abierta por la que no hay que pagar derechos, lo que siempre abarata los costos de fabricación.
- Se pueden conectar hasta un total de 127 dispositivos en cadena o utilizando HUBs USB (concentradores de puertos USB), y cada dispositivo puede tener un cable de hasta 5 metros de longitud, frente a 1 metro para el puerto serie y 4 metros para el puerto paralelo. Además, conectándolos en cadena, el último dispositivo puede estar a 635 metros del ordenador.
- El puerto USB, y por tanto todos los dispositivos con conexión USB, son verdaderamente Plug & Play, es decir, el dispositivo es detectado automáticamente al conectarlo al equipo y el sistema operativo instala el driver adecuado. Aún más, no es necesario apagar, ni siquiera reiniciar, el equipo para conectar o desconectar los dispositivos, cargándose y descargándose automáticamente de memoria el driver correspondiente.

2.5. Fuentes de alimentación [20]

Muchos circuitos necesitan para su funcionamiento, una fuente de poder o alimentación de corriente continua (c.c.), pero lo que normalmente se encuentra es alimentación de corriente alterna (c.a.). La función de una fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión continua y lo más estable posible.

En la fig. 2.35 se observa el funcionamiento de una fuente de alimentación, con ayuda de un diagrama de bloques. También se muestran las formas de onda esperadas al inicio (Entrada en A.C.), al final (Salida en C.C.) y entre cada uno de ellos.

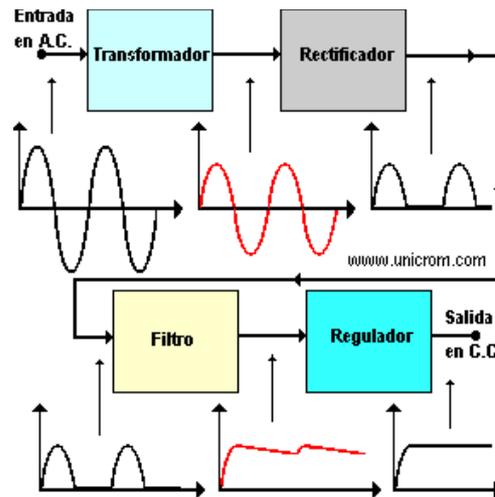


Figura 2.35: Diagrama de bloques de los componentes de una fuente de alimentación

2.5.1. Componentes de una Fuente de Alimentación

Para la conversión se usan los siguientes componentes:

- Transformador de entrada.
- Rectificador a diodos.
- Filtro para el rizado.
- Regulador (o estabilizador) lineal.

El transformador de entrada, rectificador a diodos y filtros son componentes de un adaptador de voltaje.

Adaptador de voltaje

Es una fuente de voltaje regulada con salida de corriente directa una tensión variable de 3, 4.5, 6, 7.5, 9 y 12v. Su oferta de corriente directa es de máximo 1200mA (1.2A). Su consumo de energía cuando no está siendo usada por ningún elemento y está conectada al tomacorriente, se convierte en elemento pasivo y su consumo de energía es mínimo volviéndola una fuente eficiencia y económica; adicionalmente la propiedad de switcheo le permite aislarse en el momento en que es indicada a un cortocircuito en su salida de voltaje, evitando esto daños a la red eléctrica y a la fuente. (Ver fig. 2.36).



Figura 2.36: Representación gráfica de un adaptador de voltaje

Regulador de voltaje

Un regulador o estabilizador es un circuito que se encarga de reducir el rizado y de proporcionar una tensión de salida de la tensión exacta que se requiera. Los reguladores integrados de tres terminales son los más sencillos y baratos que hay, y en la mayoría de los casos son la mejor opción. El esquema de una fuente de alimentación regulada con uno de estos reguladores se muestra en la fig. 2.37.

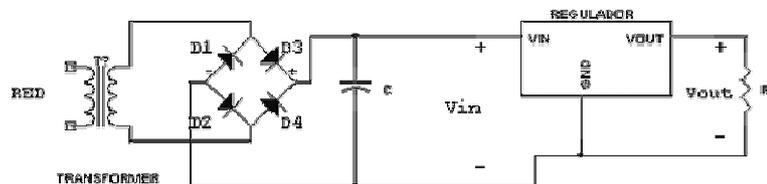


Figura 2.37: Esquema representativo de una fuente de alimentación regulada

Las ideas básicas de funcionamiento de un regulador de este tipo son:

La tensión entre los terminales Vout y GND es de un valor fijo, no variable, que dependerá del modelo de regulador que se utilice.

- La corriente que entra o sale por el terminal GND es prácticamente nula y no se tiene en cuenta para analizar el circuito de forma aproximada. Funciona simplemente como referencia para el regulador.
- La tensión de entrada Vin deberá ser siempre unos 2 o 3 V superior a la de Vout para asegurarnos el correcto funcionamiento.

CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ANALÓGICO - DIGITAL

3.1. Adecuación e implementación de los sensores para el sistema de adquisición de datos

La señal que emiten los sensores debe ser sometida a un acondicionamiento y posteriormente por medio de una tarjeta de adquisición de datos conectarla a un puerto de la computadora.

Para los resultados se necesita de tres sensores como ya se hablado anteriormente. Se procede a la selección e implementación de los mismos que se van a utilizar.

3.1.1. Selección e implementación del transductor de presión

El transductor de presión instalado no se puede utilizar de manera simultánea para otra aplicación porque el circuito electrónico funciona independientemente y al obtener la señal de este circuito provoca interferencias con la medida mostrada en el dial de la Máquina Universal; debido a esto es necesario la instalación de un nuevo transductor de presión.

La selección se basa en la presión del sistema hidráulico que es de 1200 psi. También se requiere que tenga una baja sensibilidad a la vibración y que sea bajo el error porcentual de cero por influencia de la temperatura ambiente. Como se analizó en la sección 2.2.2 los transductores que cumplen lo antes mencionado son las galgas extensiométricas y los transductores piezoeléctricos.

Se ha seleccionado las galgas extensiométricas, porque a demás de cumplir con las condiciones requeridas, tiene una muy buena estabilidad en el tiempo. Y dos factores muy influyentes para esta selección ha sido la disponibilidad de éste en el laboratorio, el cual tiene las mismas características del transductor instalado y debido a que tiene un alto costo en el mercado resulta difícil la adquisición de

uno nuevo. Se ha seleccionado el PRESSURE TRANSDUCER BHL ELECTRONICS N° serie 48783 con un rango de 0 a 1 500 psi, instalado en su interior un puente de Wheatstone con una alimentación de 10Vcc. (**Anexo B**). (Ver fig. 3.1).



Figura 3.1: Representación grafica del transductor de presión PRESSURE TRANSDUCER BHL ELECTRONICS N° serie 48783

La instalación (ver fig. 3.2) se realizó en forma independiente de manera que no interfiera con el circuito eléctrico e hidráulico de la Máquina Universal, requiriendo de:

- 1 Tee de diámetro 7/16"
- 3 acoples de 7/16"
- Teflón



Figura 3.2: Representación gráfica de la instalación del transductor de presión PRESSURE TRANSDUCER BHL ELECTRONICS

Se necesita de un conector de 6 pines hembras tipo zócalo PT06A-10-6S (SR), disponible en el laboratorio. Cada pin tiene a una denominación con letras mayúsculas como se muestra en la fig. 3.3 que corresponde a los pines machos del transductor (ver fig. 3.4).

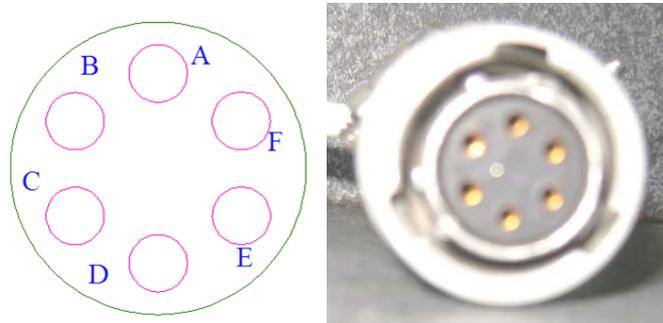


Figura 3.3: Representación gráfica del Conector de 6 pines hembras



Figura 3.4: Representación gráfica del de los pines machos del transductor

Para saber cuáles de los pines corresponden a la conexión del puente de Wheatstone se ha basado en el plano eléctrico de la Tinius Olsen, mostrándose en dicho plano, 4 opciones de instalación como se muestra en la tabla 3.1.

Para determinar la opción correcta con la ayuda del multímetro, se va obteniendo el valor de las resistencias para comprobar el equilibrio del puente. Examinada las cuatro opciones de conexión entre el conector y el transductor, se estableció la opción 3.

Tabla 3.1: POSIBLES CONEXIONES DEL CONECTOR CON EL TRANSDUCTOR

	LOAD CELL CONNECTOR			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
+EXITATION	E	A	A	D
-EXITATION	B	D	D	C
+SIGNAL	A	B	E	A
-SIGNAL	D	C	C	E

Los valores de las resistencias que forman el puente de Wheatstone son (Ver fig. 3.5):

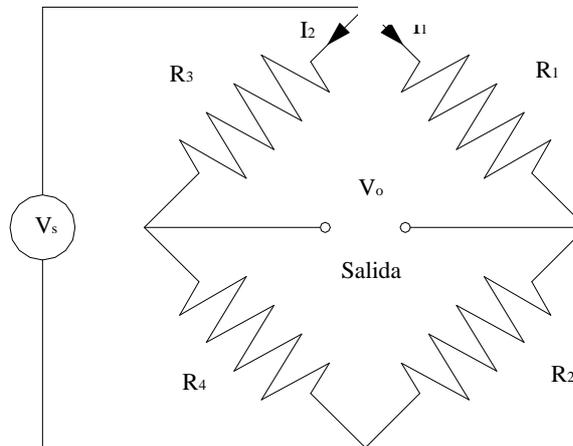


Figura 3.5: Esquema del puente de Wheatstone que se encuentra instalado en el transductor

Donde:

$$R_1 = 270 \Omega$$

$$R_2 = 270 \Omega$$

$$R_3 = 270 \Omega$$

$$R_4 = 270 \Omega$$

- Los puntos A y D donde está V_s es el voltaje de alimentación, el punto A es excitación positiva y el punto D es excitación negativa.
- Los puntos E y C donde está V_o es el voltaje de salida, el punto E es señal positiva y el punto C es señal negativa.

3.1.2. Selección e implementación del sensor de deformación

El deformímetro seleccionado es el deformímetro digital o reloj comparador digital modelo: ID-112 serie N°: 43344 (**Anexo C**), mostrado en la fig. 3.6. Se ha seleccionado por su elevada precisión, además de que se encuentra disponible en laboratorio.



Figura 3.6: Representación gráfica del reloj comparador.

Opciones de adquisición de datos del deformímetro

- Se puede adquirir los datos mediante el software Measurlink a través del cable de transmisión de datos. (ver fig. 3.7).



Figura 3.7: Representación gráfica del cable de transmisión de datos del reloj comparador.

El software Measurlink (ver fig. 3.8) tiene un elevado costo en el mercado, además no permite la utilización de los datos en otro software. La tarjeta de adquisición de datos propia del sensor posee un switch permitiendo la transferencia de los datos cada vez que sea pulsado, esto es una desventaja ya que debe existir una sincronización entre los datos de fuerza y deformación, no resulta adaptable para esta aplicación.

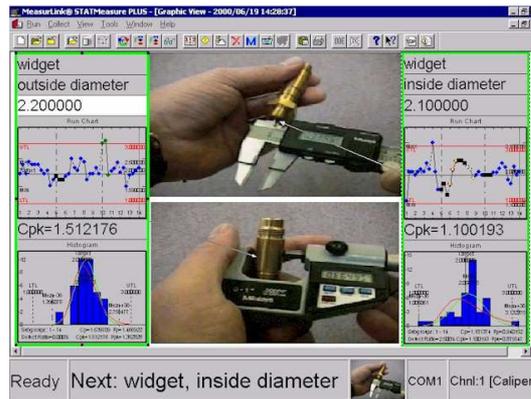


Figura 3.8: Representación gráfica del software Measurlink

- Se optó por utilizar una Webcam Genius Eye 312 USB (ver fig. 3.9) para poder obtener los datos de deformación debido a que mediante la adquisición de datos se puede realizar esta aplicación.



Figura 3.9: Representación gráfica de la Webcam Genius Eye 312 USB

Tiene las siguientes características:

- Diseño de base con pinza multifunción
- Rota 360 grados
- Botón de disparo, fotos de hasta 1.3 Megapíxeles
- Mayor flexibilidad de visualización
- **Marca:** Genius
- **Modelo:** Eye 312 USB
- **Conexión:** USB 1.1
- **Imagen fija:** 1280 x 960 (interpolación de software), 640 x 480
- **Resolución de video:** 640 x 480 píxeles /hasta 30fps
- **Enfoque:** Manual
- **Base ajustable y botón de captura instantánea**
- **Formato de archivo:** JPEG/WMV
- **Dimensiones:** 59.5 x 31.5 x 81 mm
- **Compatibilidad:** con Windows 98SE/Me/2000/XP/Vista.

Para la instalación de la webcam se realizó una estructura (ver fig. 3.10), que debe tener una distancia entre el lente de la webcam y el display del reloj comparador de 5 cm para obtener una buena resolución y así evitar los reflejos producidos en el lente con la mica del display.

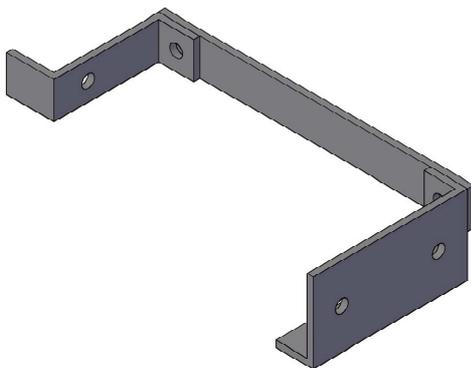


Figura 3.10: Representación gráfica de la de la estructura para la instalación de la Webcam.

En los extremos que corresponden a los puntos A y B se utilizan pernos con mariposas para que exista movilidad y poder calibrar la distancia de 5 cm.

Con la ayuda de un luxómetro se determinó que el nivel de luz debe ser de 21 luxs mínimo, realizado adecuaciones físicas como se muestra en la fig. 3.11.



Fig. 3.11: Representación gráfica de la adecuación física para mantener el nivel constante de luz.

3.1.3. Selección e implementación del sensor de desplazamiento

Como existen equivalencias entre el desplazamiento lineal y el desplazamiento angular, los sensores que miden desplazamiento angular son más comunes y económicos.

Para convertir el movimiento lineal del pistón a movimiento circular, se construyó un mecanismo compuesto de cinco poleas.

Se ha seleccionado un encoder incremental Optical Shaft Vex Encoder (**Anexo D**) (ver sección **2.2.4**) como el más adecuado. (ver fig. 3.12).



Figura 3.12: Representación gráfica del encoder Optical Shaft

Tiene las siguientes características:

- Tipo de sensor : sensor de luz infrarroja y un LED infrarrojo
- Resolución : 90 pulsos por revolución
- Intervalo: sin límite, de 360 ° de rotación continua
- Tamaño y diámetro de la rueda: 2 x 2 pulg 5/8in; 2,75 pulg.
- Peso: 0.08 lb
- Alambrado: Negro: Tierra, Rojo : (+) 5V; Blanco: Señal

Implementación del mecanismo

- De la geometría básica, se sabe que la circunferencia de un círculo es igual a (pi) veces el diámetro (ver fig. 3.13).

$$x_1 = d * \pi \quad (14)$$

Donde:

$$x_1 = 2.75 \text{ pulg} * 3.14$$

$$x_1 = 8.64 \text{ pulg/rev}$$

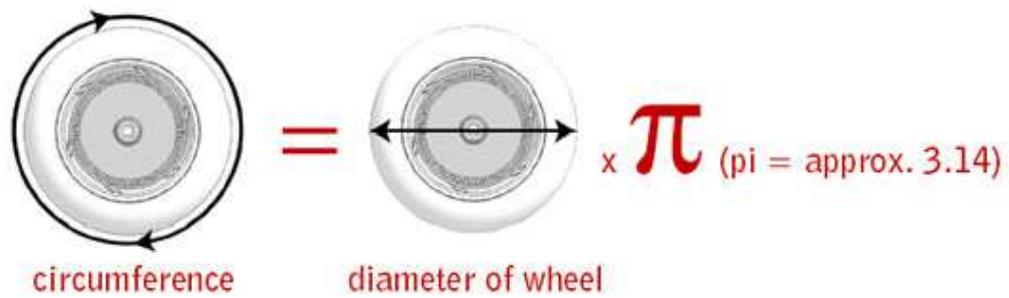


Figura 3.13: Representación gráfica para calcular la circunferencia en una revolución

- La distancia recorrida por la rueda del encoder, entonces, es simplemente la circunferencia multiplicada por el número de revoluciones de la rueda. (ver fig. 3.14).

$$D = x_1 * n \tag{15}$$

Figura 3.14: Representación gráfica para calcular la distancia

Es decir si:

$$n = 1 \text{ y } x_1 = 8.64 \text{ pulg/rev}$$

$$d = 8,64 \text{ pulg} = 219,47 \text{ mm}$$

Esta distancia corresponde a 90 pulsos, la distancia recorrida en 1 pulso es:

$$D_{(1 \text{ pulso})} = \frac{d}{90}$$

$$D_{(1 \text{ pulso})} = \frac{219,47 \text{ mm}}{90}$$

$$D_{(1 \text{ pulso})} = 2,43 \text{ mm}$$

Teniendo muy baja sensibilidad. Por esta razón se realizó el cálculo del diámetro de la polea para mejorar la misma.

- El pistón del cilindro hidráulico ascenderá una distancia de 0 a 227,8 mm, $d = 227,8 \text{ mm}$ y con un número de revoluciones: $n = 15$

Remplazando la ecuación (14) en la ecuación (15) se tiene:

$$D = d * \pi * n$$
$$d = \frac{D}{\pi * n} \quad (16)$$

Utilizando la ecuación (16) calculamos el diámetro:

$$d = \frac{227,8 \text{ mm}}{\pi * 15}$$
$$d = 5 \text{ mm}$$

La distancia recorrida en 1 pulso es:

$$D_{(1 \text{ pulso})} = \frac{\pi * d}{90}$$
$$D_{(1 \text{ pulso})} = \frac{\pi * 5}{90}$$
$$D_{(1 \text{ pulso})} = 0,17 \text{ mm}$$

Se tiene una sensibilidad de 0,17mm por pulso.

La distancia recorrida se calcula mediante la ecuación (17):

$$D = \pi * d * \frac{\#pulsos}{90} \quad (17)$$

La polea gira concéntricamente con el eje cuadrado del encoder como se muestra en la fig. 3.15. El elemento que se utiliza para la transmisión entre estas poleas es hilo de nylon con un diámetro de 0,85

mm, el mismo que tiene las propiedades mecánicas mostradas en la tabla 3.2. Para tensar el hilo de nylon y gire la polea se requiere de 5 lbf medidas en un dinamómetro.

Tabla 3.2: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL NYLON

PROPIEDAD	UNIDAD	NORMA	NYLON
Alargamiento a la rotura	%	DIN 53455	>50
Conductividad Térmica	W/Km	DIN 52612	0,28
Coefficiente de dilatación Térmica de 20°C a 50°C	m/m K		85·10-6
Coefficiente de Fricción			0,3
Densidad	g/cm ²	DIN 53479	1,14
Dureza a la bola	N/mm ²	DIN 53456	136
Dureza “Shore”		DIN 53505	D75
Módulo de elasticidad	N/mm ²	DIN 53457	2.850
Punto de fusión	°C	ASTM D789	220
Resistencia Superficial		DIN 53482	5·1010
Resistencia al impacto	KJ/m ²	DIN 53453	3,8
Resistencia a la tracción	N/mm ²	DIN 53455	78
Temperatura máxima de utilización	°C	NORMAL	90
	°C	CON PUNTAS	150
Temperatura mínima de uso	°C		-40



Figura 3.15: Representación gráfica del mecanismo de poleas (del encoder)

3.2. Diseño y selección del circuito electrónico que permita transformar las señales analógicas a digitales

3.2.1. Requerimientos para la selección del circuito electrónico

En la tabla 3.3 se presenta un resumen de la capacidad eléctrica de los sensores.

Tabla 3.3: RESUMEN DE LAS SEÑALES EMITIDAS POR LOS SENSORES

TIPO DE SENSOR	TIPO DE SEÑAL	VOLTAJE DE SALIDA Ó RESOLUCIÓN	ALIMENTACIÓN
Transductor de presión de membrana	Analógica	0-26mVcc	10Vcc
Encoder incremental	Digital	90 pulsos por revolución	5Vcc
Webcam	Digital	640 x 480 píxeles /hasta 30fps	5Vcc

Antes de realizar cualquier tratamiento de señales ya sean analógicas o digitales, se debe tomar en cuenta que todos los dispositivos eléctricos y sus controles generan ruido (ver sección **2.4.3.3**). Los efectos del ruido externo se pueden reducir al mínimo mediante técnicas adecuadas de construcción y selección de circuitos.

El circuito electrónico de control y el motor eléctrico que acciona la bomba del sistema hidráulico, son los principales generadores de ruido, además de la vibración que existe cuando la Máquina Universal está en funcionamiento. En la fig. 3.16, se representa como interfiere el ruido en el voltaje de salida del transductor.

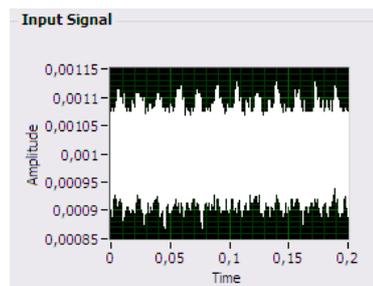


Figura 3.16: Representación gráfica del voltaje de salida del transductor de presión incluida el voltaje de ruido

Se realizó un filtrado digital, disminuyendo el ruido en el voltaje de salida. Como se muestra en la fig. 3.17.

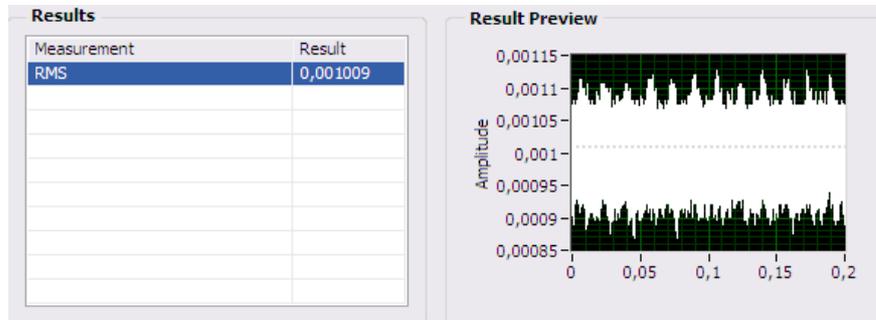


Figura 3.17: Representación gráfica del voltaje de salida del transductor de presión con un filtrado digital

El transductor tiene una señal de voltaje en el orden de los milivoltios, esta señal es demasiado baja por lo cual se necesita una tarjeta de adquisición de datos que acepte un voltaje de entrada en el orden de 0 a 26mVcc.

Para adquirir los datos del encoder es necesario tener un contador de pulsos.

3.2.2. Selección de la tarjeta de adquisición de datos

Con los requerimientos anteriormente mencionados se necesita cuatro entradas analógicas y un contador de pulsos.

Para obtener la misma resolución de 2kgf se determina el número de bits:

$$r = \frac{P_{\max}}{2^n - 1} \quad (18)$$

Donde:

r es la resolución de medida

n es el número de bits

$P_{m\acute{a}x}$ es la carga máxima que da la Máquina Universal

Despejando n de la ecuación (18) tenemos:

$$n = \frac{\log\left(\frac{P_{m\acute{a}x}}{r} + 1\right)}{\log 2} \quad (19)$$

La fuerza máxima es de 100000kgf con una resolución en el dial de 2 kgf, remplazando estos valores en la ecuación (20) tenemos:

$$n = \frac{\log\left(\frac{100\ 000\ kgf}{2\ kgf} + 1\right)}{\log 2} \quad (20)$$

$$n = 15$$

Aproximadamente resulta ser de 15 bits, se tiene tarjetas de adquisición de datos de 16 bits ó superiores, por lo que para mejorar la precisión de medida se selecciona la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6211 (ver **Anexo E**), de 16 bits de resolución. (Ver fig. 3.18.)



Figura 3.18: Representación gráfica de la DAQ USB 6211 y la distribución de pines

- Se calcula la resolución con 16 bits utilizando la ecuación (18):

$$r = \frac{100\,000\text{ kgf}}{2^{16} - 1}$$

$$r = 1,52\text{ kgf}$$

Mejorando la resolución de 2 kgf a 1,52 kgf.

Las características básicas y técnicas de la DAQ USB 6211 se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS Y TÉCNICAS DE LA DAQ USB 6211

DAQ USB-6211	2 canales con 32 pines de tornillo
ADC resolución	16 bits
USB-6211	250 kS / s de un solo canal, 250 kS / s multicanal (agregado)
El tiempo de resolución	50 ns
Acoplamiento de entrada	DC
Rango de entrada	$\pm 10\text{ V}, \pm 5\text{ V}, \pm 1\text{ V}, \pm 0,2\text{ V}$
Tensión máxima de trabajo para las entradas analógicas (señal de modo común +)	$\pm 10,4\text{ V}$ de AI GND
Numero de contadores	2
	32 bits
Voltaje mínimo y máximo de alimentación	4,6 a 5,2 V
Temperatura de funcionamiento	De 0 a 45°
Temperatura de almacenamiento	De -20ª 70°C
Humedad	10 a 90% HR
La transferencia de datos	USB

3.2.3. Conexiones de los sensores a la DAQ USB 6211

La conexión del puente de Wheatstone del transductor de presión y la conexión del encoder a la DAQ USB 6211 está basada en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: CONEXIÓN DE LOS SENSORES A LA DAQ USB 6211

Tipo de sensor	Tipo de señal	Color de cable	Conexión de puntas del transductor	Pines de la DAQ 6211	Número de Pin
Transductor de presión de membrana	Analógica	Azul con blanco	Excitación (-)	AO GND	14
		Verde	Señal (+)	AI 1	17
		Verde con blanco	Señal (-)	AI 9	18
Encoder incremental	Digital	Azul	Señal (+)	PFI 0	1
		Blanco	Excitación (-)	AI GND	28

3.2.4. Alimentación de los sensores seleccionados y de la tarjeta DAQ USB 6211

El transductor requiere una alimentación de 10Vcc, se utiliza un adaptador EVL modelo: AD-1000, se alimenta con 110Vca a 60Hz y tiene un voltaje de salida de 12Vcc. Para garantizar los 10Vcc, se construyó un circuito de regulación de voltaje como se muestra en la fig. 3.19.

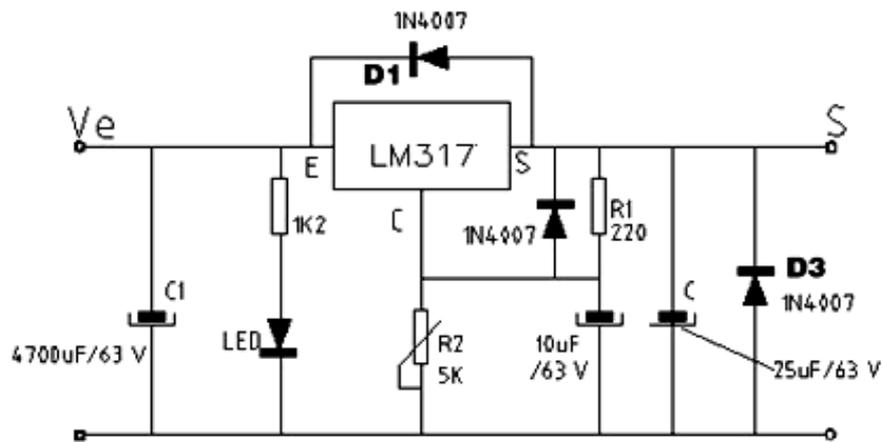


Figura 3.19: Esquema del circuito eléctrico de la regulación de voltaje de 12Vcc a 10Vcc

Donde:

C : condensadores 25µF/63 V

C1 : condensadores 4700µF/63 V

C2: condensador 10 µF/63 V

Rv: regulador de voltaje LM317

R1: resistencia 220 Ω

R2: resistencia variable 5 k Ω

L: led (5V-1A)

LM317 regulador de voltaje a 10Vcc (ver **Anexo F**),

La Webcam Eye 312 y la tarjeta DAQ USB 6211 tiene conexión USB, que se alimentan del CPU.

El encoder requiere de una alimentación de 5Vcc, se utiliza el voltaje de salida del circuito de alimentación del transductor. Para garantizar los 5Vcc, se construyó un circuito de regulación de voltaje como se muestra en la fig. 3.20.

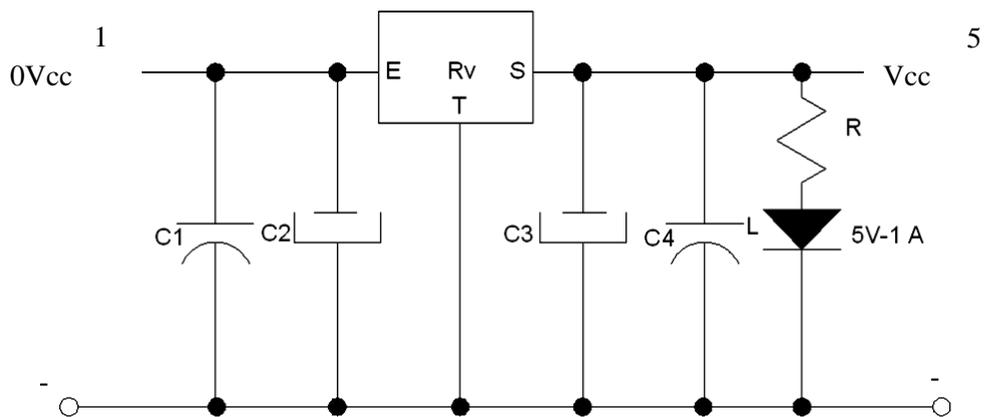


Figura 3.20: Esquema del circuito eléctrico de la regulación de voltaje de 10Vcc a 5Vcc

Donde:

C1 y C4: condensadores 0,1 μ F (104M)

C2: condensador 470 μ /25 V

C3: condensador 100 μ /25 V

Rv: regulador de voltaje LM7805

R: resistencia 220 Ω

L: led (5V-1A)

LM7805 regulador de voltaje a 5Vcc (ver **Anexo G**),

Se requiere que la salida digital tenga pulsos cuadráticos. Por lo tanto se utiliza un integrado 74LS14 (ver Anexo H). Este ayuda a moldear la señal de los pulsos que vienen desde el encoder. (Ver fig 3.21).

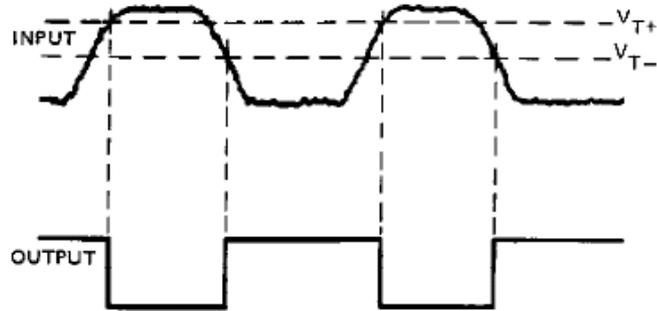


Figura 3.21: Representación gráfica de los pulsos de entrada con respecto a los de salida utilizando el integrado 74LS14

Como se observa en la fig. N° 3.22, el integrado contiene 6 pines desde la 1A hasta la 6A, que son pines de entrada. Se tiene como salidas los pines denominados como 1Y hasta la 6Y. La conexión se muestra en la fig. 3.22.

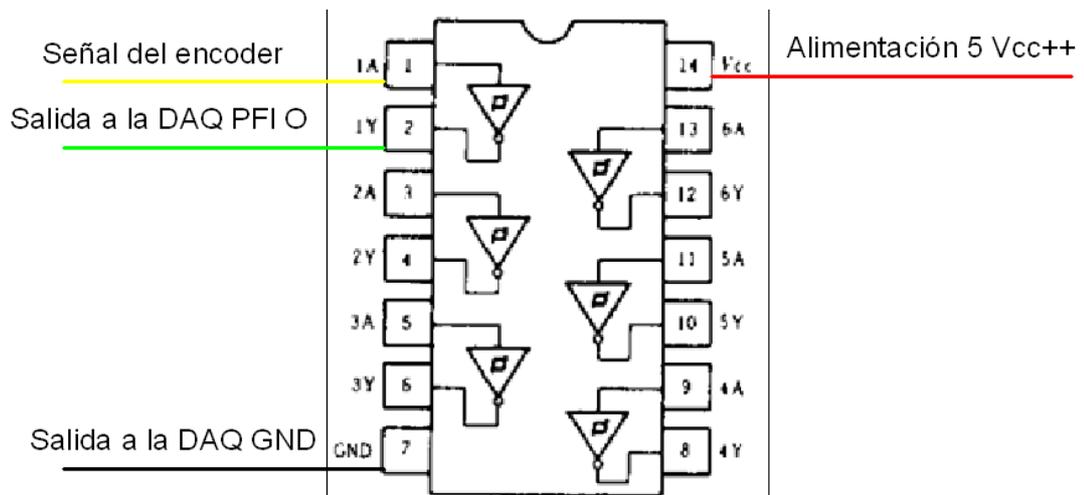


Figura 3.22: Esquema del integrado 74LS14 con su respectiva conexión

3.3. Diseño y construcción de un software para la visualización de los resultados en un ordenador

3.3.1. Parámetros de diseño y construcción de un software para la visualización de los resultados en un ordenador

Se requiere que el programa presente la opción de poder cargar la constante de calibración y seleccionar el tipo de ensayo que requiera.

A continuación se muestra los parámetros de diseño para cada uno de los ensayos.

3.3.1.1. Parámetros de diseño para el ensayo de tracción

1. Selección del tipo de probeta y cálculo del área.

Para este ensayo existen 2 tipos de probetas: la circular y la laminar.

- **CIRCULAR** (Seleccionado por el usuario) (ver fig. 3.23).

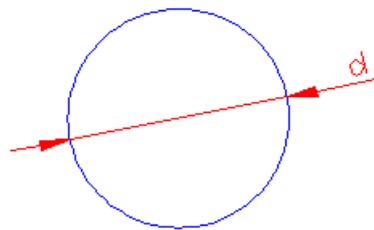


Figura 3.23: Representación gráfica de probeta circular para el ensayo de tracción

d= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

El programa debe calcular el área mediante la Ecuación (21):

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (21)$$

- **LAMINAR** (Seleccionado por el usuario) (ver fig. 3.24).

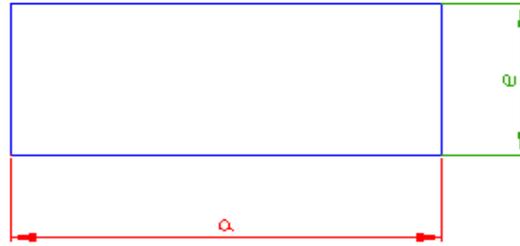


Figura 3.24: Representación gráfica de probeta laminar para el ensayo de tracción

$a = ?$ [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

$e = ?$ [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

El programa calcular el área mediante la ecuación (22):

$$A = a * e \quad (22)$$

Luego de seleccionar el tipo de probeta e ingresar los datos de la probeta seleccionada, el área debe ser mostrada en la pantalla.

$$A = [cm^2] \quad (\text{dato que se debe mostrar el programa})$$

2. El usuario debe ingresar la longitud inicial que es la longitud de la zona de calibración de la probeta:

$$l_0 = ? \text{ [mm]} \quad (\text{dato que debe ingresar el usuario})$$

3. Encerar todos los sensores es decir: la lectura del transductor, del deformímetro y del encoder.
4. Adquirir los datos de los sensores para obtener la tabla 3.6.

Tabla 3.6: DATOS QUE DEBEN SER VISUALIZADOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN

P	Δl	Δd	σ	ϵ
(kgf)	(mm)	(mm)	(kgf/cm ²)	
P ₁	Δl_1		σ_1	ϵ_1
P ₂	Δl_2		σ_2	ϵ_2
P ₃	Δl_3		σ_3	ϵ_3
.	.		.	.
P _y	Δl_y	Δd_y	σ_y	ϵ_y
.
P _n	Δl_n	Δd_n	σ_n	ϵ_n

Donde:

P: es la carga en [kgf] que da el transductor

Δl : es la deformación en [mm] que da el deformímetro

Δd : es el desplazamiento en [mm] que da el encoder

σ : es el esfuerzo en [kgf/cm²] que se calcula por la ecuación (1):

ϵ : es la deformación unitaria calculada por la ecuación (2):

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \text{ (Hasta el límite de fluencia)}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta d}{l_0} \text{ (Desde el límite de fluencia)}$$

Se empieza a tomar los valores del encoder desde límite de fluencia.

5. Una vez llegado al **LF** debe salir un mensaje que indique que se debe sacar el deformímetro por protección del mismo debido a que estos ensayos son destructivos. Entonces a partir del **LF** empezamos a trabajar con el encoder.

6. Entonces al mismo tiempo que se va obteniendo la tabla se debe ir realizando la curva esfuerzo vs deformación unitaria como se muestra en la fig. 3.25.

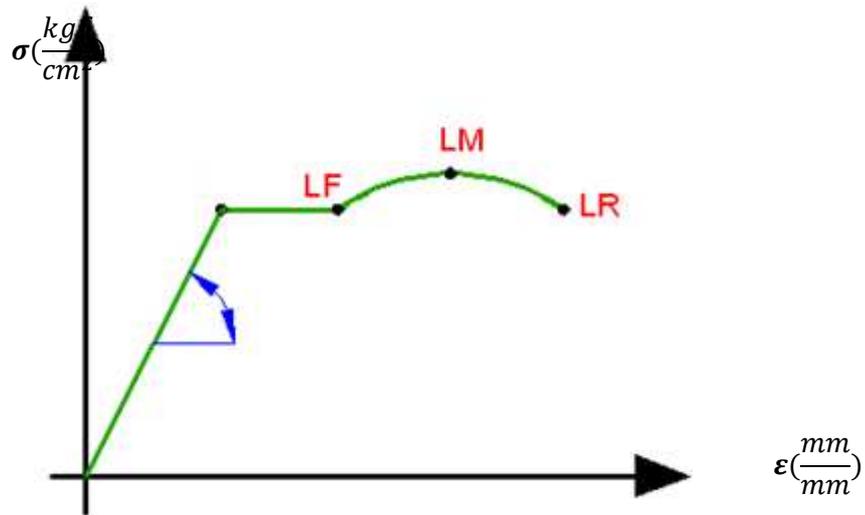


Figura 3.25: Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de tracción

Donde:

LP límite proporcionalidad

LF límite de fluencia (valor donde el material se deforma plásticamente)

LM límite máximo (valor máximo de esfuerzo que puede soportar la probeta)

LR límite de rotura (Valor de esfuerzo donde se rompe la probeta)

7. Se requiere determinar el módulo de elasticidad promedio. El módulo de elasticidad **E** es la pendiente de la recta Oy (ver fig. 3.25) en la zona elástica calculado por la ecuación (23):

$$\mathbf{E} = tg \alpha = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \text{ (Hasta el límite proporcional)} \quad (23)$$

Para obtener el módulo de elasticidad se determina sacando un valor promedio de los valores de **E** hasta que se cumpla la condición:

$$\mathbf{E}_y \geq \mathbf{E}_{y-1}$$

Que quiere decir que el valor de **E** calculado actual debe ser mayor o igual al valor de **E** calculado anterior

8. Para saber cuál es el límite de proporcionalidad **LP** se determina mediante la pendiente de la recta **Oy** (que es módulo de elasticidad E) donde debe cumplirse la misma condición que para determinar el módulo de elasticidad promedio.

9. Luego de realizar el ensayo se debe mostrar los resultados de la grafica los cuales son:

- Límite de proporcionalidad
- Límite de fluencia
- Límite máximo
- El módulo de elasticidad promedio

Todos estos valores están en $[\frac{kgf}{cm^2}]$.

También se debe mostrar.

- La carga máxima en [kgf]

10. Luego de obtener curva y los datos anteriores: el usuario debe ingresar

$$lf = ? \text{ [mm]}$$

11. Calcular el porcentaje de alargamiento mediante la ecuación (4):

3.3.1.2. Parámetros de diseño para el ensayo de compresión

1. Selección del tipo de probeta y cálculo del área.

Para este ensayo existen 3 tipos de probetas: la circular, rectangular y tubular.

La circular tiene los mismos parámetros que la del ensayo de tracción.

- **RECTANGULAR** (Seleccionado por el usuario) (ver fig. 3.26).

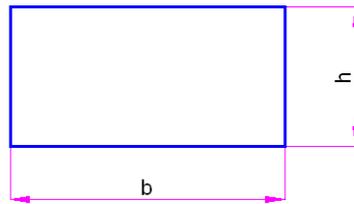


Figura 3.26: Representación gráfica de probeta rectangular para el ensayo de compresión

b= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

h= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

El programa calcular el área mediante la ecuación (24):

$$A = b * h \tag{24}$$

- **TUBULAR** (Seleccionado por el usuario) (ver fig. 3.27).

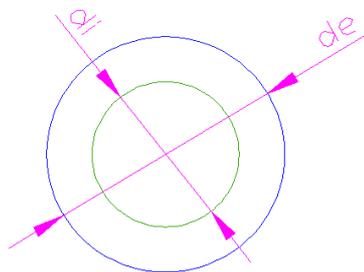


Figura 3.27: Representación gráfica de probeta tubular para el ensayo de compresión

de= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

di= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

El programa calcula el área mediante la ecuación (25):

$$A = \frac{\pi}{4} (de^2 - di^2) \tag{25}$$

Luego de seleccionar el tipo de probeta e ingresar los datos de la probeta seleccionada, el área debe ser mostrada en la pantalla.

$$A = [cm^2] \text{ (dato que se debe mostrar el programa)}$$

2. El usuario debe ingresar la longitud inicial que es la longitud de la probeta:

$$l_0 = ? [mm] \text{ (dato que debe ingresar el usuario)}$$

3. Encerar todos los sensores es decir: la lectura del transductor, y del encoder.
4. Adquirir los datos de los sensores para obtener la tabla 3.7.

Tabla 3.7: DATOS QUE DEBEN SER VISUALIZADOS EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN

P	Δd	σ	ε
(kgf)	(mm)	(kgf/cm ²)	
P ₁		σ ₁	ε ₁
P ₂		σ ₂	ε ₂
P ₃		σ ₃	ε ₃
.		.	.
P _y	Δd _y	σ _y	ε _y
.	.	.	.
P _n	Δd _n	σ _n	ε _n

Donde:

P: es la carga en [kgf] que da el transductor

Δd: es el desplazamiento en [mm] que da el encoder

σ: es el esfuerzo en [kgf/cm²] que se calcula por la ecuación (1):

ε: es la deformación unitaria calculada por la ecuación (2):

5. El programa debe realizar lo mismo que el literal 5 y 6 del ensayo de tracción.
6. Luego de realizar el ensayo, se debe mostrar los resultados de la grafica los cuales son:
 - Límite de proporcionalidad [$\frac{kgf}{cm^2}$].

- Límite máximo $[\frac{kgf}{cm^2}]$.
- El módulo de elasticidad promedio $[\frac{kgf}{cm^2}]$.
- La carga máxima en [kgf]

7. Seguidamente ingresar la longitud final: $lf = ?$ [mm]

8. Calcular el porcentaje de acortamiento mediante la ecuación (5):

3.3.1.3. Parámetros de diseño para el ensayo de flexión isoestático

1. Selección del tipo de probeta, cálculo momento de inercia con respecto al eje x y distancia al eje neutro.

Para este ensayo existen 4 tipos de probetas: la circular, rectangular, tubular y rectangular hueco.

- **CIRCULAR** (Seleccionado por el usuario) (ver fig. 3.28).

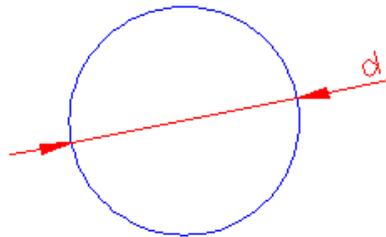


Figura 3.28: Representación gráfica de probeta circular para el ensayo de flexión isoestático

$d = ?$ [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

El programa debe calcular el momento de inercia I_x mediante la ecuación (26) y la distancia al eje neutro mediante la ecuación (27):

$$I_x = \frac{\pi d^4}{64} \quad (26)$$

$$\bar{y} = \frac{d}{2} \quad (27)$$

- **RECTANGULAR** (Seleccionado por el usuario) (ver fig. 3.29).

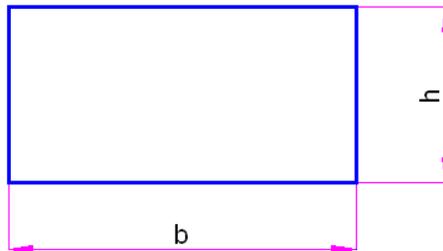


Figura 3.29: Representación gráfica de probeta rectangular para el ensayo de flexión isoestático

b= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

h= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

El programa debe calcular el momento de inercia I_x mediante la ecuación (28) y la distancia al eje neutro mediante la ecuación (29):

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (28)$$

$$\bar{y} = \frac{h}{2} \quad (29)$$

- **TUBULAR** (Seleccionado por el usuario) (ver fig. 3.30).

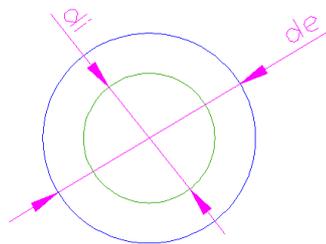


Figura 3.30: Representación gráfica de probeta circular hueca para el ensayo de flexión isoestático

de= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

di= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

El programa debe calcular el momento de inercia I_x mediante la ecuación (30) y la distancia al eje neutro mediante la ecuación (31):

$$I_x = \frac{\pi}{64} (de^4 - di^4) \quad (30)$$

$$\bar{y} = \frac{de}{2} \quad (31)$$

- **RECTANGULAR HUECO** (Seleccionado por el usuario) (ver fig. 3.31).

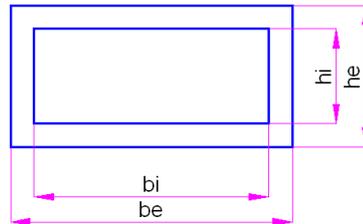


Figura 3.31: Representación gráfica de probeta rectangular hueco para el ensayo flexión isoestático

be= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

bi= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

he= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

hi= ? [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

El programa debe calcular el momento de inercia I_x mediante la ecuación (32) y la distancia al eje neutro mediante la ecuación (33):

$$I_x = \frac{1}{12} (be * he^4 - bi * hi^4) \quad (32)$$

$$\bar{y} = \frac{he}{2} \quad (33)$$

Luego de seleccionar el tipo de probeta e ingresar los datos de la probeta seleccionada, el momento de inercia y la distancia al eje neutro deben ser mostrados en la pantalla.

$I_x = [cm^4]$ (dato que se debe mostrar el programa)

$\bar{y} = [cm]$ (dato que se debe mostrar el programa)

2. El usuario debe ingresar la longitud entre apoyos:

$L = ? [cm]$ (dato que debe ingresar el usuario)

3. Encerar todos los sensores es decir: la lectura del transductor, y del encoder.

4. Adquirir los datos de los sensores para obtener la tabla 3.8.

Tabla 3.8: DATOS QUE DEBEN SER VISUALIZADOS EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN

ISOESTÁTICO

P	y	Mf	σ
(kgf)	mm	Kgf *cm	(kgf/cm²)
P ₁	y ₁	Mf ₁	σ_1
P ₂	y ₂	Mf ₂	σ_2
P ₃	y ₃	Mf ₃	σ_3
.	.	.	.
P _x	y _x	Mf _x	σ_x
.	.	.	.
P _n	y _n	Mf _n	σ_n

Donde:

P: es la carga en [kgf] que nos da el transductor

y: es la flecha en [mm] que nos da el encoder

Mf: es el momento flector en [kgf*cm] que se calcula ecuación (34):

$$Mf = \frac{P * l}{4} \quad (34)$$

σ : es el esfuerzo en [kgf/cm²] que se calcula por la ecuación (6):

5. Al mismo tiempo que se obtiene los datos de la tabla se debe realizar la curva esfuerzo vs flecha como se muestra en la fig. 3.32.

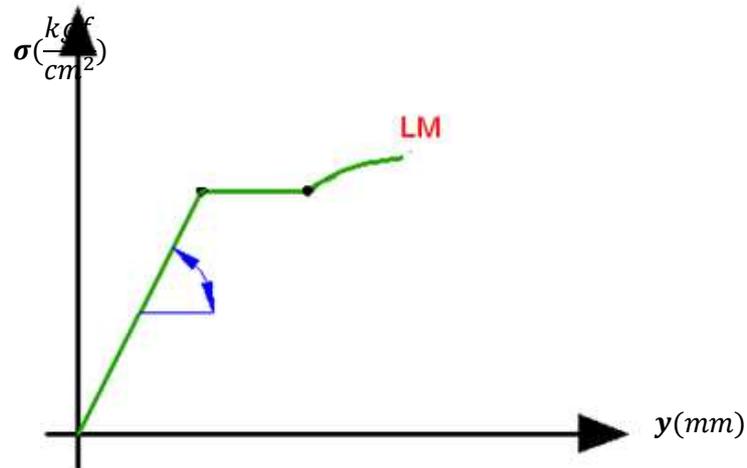


Figura 3.32: Diagrama esfuerzo vs flecha para el ensayo de flexión isoestático

Donde:

LP límite proporcionalidad

LM límite máximo (valor máximo de esfuerzo que puede soportar la probeta)

6. Se determina el módulo de elasticidad promedio, el módulo de elasticidad **E** es la pendiente de la recta Oy de la fig. 3.32 en la zona elástica calculado por la ecuación (35):

$$E = \frac{P * L^3}{48 * Ix * y} \quad (35)$$

La determinación de la ecuación (34) y (35) se muestran en el **Anexo I**

Para obtener el módulo de elasticidad y el límite elástico se trabaja con las mismas condiciones que el ensayo de tracción.

7. Luego de realizar el ensayo se debe mostrar los resultados de la grafica los cuales son:

- Límite de proporcionalidad $[\frac{kgf}{cm^2}]$
- Límite máximo $[\frac{kgf}{cm^2}]$
- El módulo de elasticidad promedio $[\frac{kgf}{cm^2}]$

- Momento flector máximo [kgf* cm]
- La carga máxima en [kgf]
- Flecha máxima [mm]

3.3.1.4. Parámetros de diseño para el ensayo de flexión hiperestático

Los parámetros para este ensayo son idénticos a los del ensayo de flexión isoestático con las siguientes variantes.

- El usuario debe ingresar **a** y **b** en lugar de ingresar la distancia entre apoyos **L**

Donde:

a: es la distancia entre el apoyo exterior y el aplicador de carga

b: es la distancia entre el aplicador de carga y el apoyo central.

- El momento flector en [kgf*cm] que se calcula ecuación (36):

$$Mf = \frac{a*b^2*P}{4*(a+b)^3} * [3 * a + 2b] \quad (36)$$

- El módulo de elasticidad calculado por la ecuación (37):

$$E = \frac{a^2 * b^3 * P}{24 * (a + b)^3 * Ix * y} * [4 * a + 3 * b] \quad (37)$$

La determinación de la ecuación (36) y (37) se muestran en el **Anexo J**.

3.3.1.5. Parámetros de diseño para el ensayo de corte

1. Para este ensayo existen solo un tipo de probeta: la circular

- **CIRCULAR** (Seleccionado por el usuario) (ver fig. 3.33).

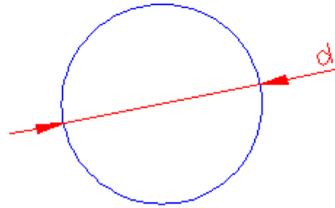


Figura 3.33: Representación gráfica de probeta circular para el ensayo de corte

$d = ?$ [cm] (dato que debe ingresar el usuario)

El programa debe calcular el área mediante la Ecuación (21):

Luego ingresar el diámetro d de la probeta, el área debe ser mostrada en la pantalla.

$$A = [cm^2] \text{ (dato que se debe mostrar el programa)}$$

2. Encerar la lectura del transductor.
3. El programa debe calcular únicamente el esfuerzo cortante mediante la ecuación (7) :
4. El programa debe mostrar el valor de la fuerza máxima y el valor del esfuerzo cortante.

Debe haber un icono pulsador que permita enviar los resultados de cualquier tipo de ensayo que se realice a Word para su impresión y guardar los resultados.

3.3.2. Selección del programa para el diseño del software para la visualización de los resultados en un ordenador

LabVIEW es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el *lenguaje C* o *BASIC*. Sin embargo, se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW emplea la programación gráfica o *lenguaje G* para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales. LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y almacenamiento de datos.

Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se resumen en las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

Por lo tanto para el diseño y construcción del software se utiliza el programa LabVIEW 2009, su instalación se muestra en el **Anexo K**. Este programa requiere del sistema operativo **WINDOWS XP** profesional o superior, además de una capacidad de memoria mínima de 1 GB de RAM y un procesador Core Duo para su funcionamiento.

3.3.3. Programación para la visualización de los resultados en un ordenador

Para crear un programa de adquisición de datos se deben generar diferentes tipos de funciones y botones tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques, estos elementos son VI (Virtual Instrument), los instrumentos virtuales son generados por el mismo programa lo que hace a la programación con instrumentación física algo menos complicado.

3.3.3.1. Adquisición de datos del transductor de presión

Antes de realizar el programa para la adquisición de datos del transductor de presión. Se necesita determinar si el transductor es o no lineal, para lo cual se obtiene datos de voltaje y fuerza (en el dial de la Máquina Universal) para determinar la curva Fuerza vs. Voltaje para cada escala.

Existen cuatro escalas de 0-2000 kgf, 0-10000 kgf, 0-50000 kgf y 0-100000 kgf por lo tanto se encontrará la pendiente para cada caso. Como se muestra en la tabla 3.9 y en la fig. 3.34.

**Tabla 3.9: VALORES DE FUERZA (TOMADOS EN EL DIAL DE LA MÁQUINA UNIVERSAL)
Y VOLTAJE**

Escala de 2000kgf		Escala de 10000kgf		Escala de 50000kgf		Escala de 100000kgf	
Fuerza (Kgf)	Voltaje (V)						
0	0	0	0	0	0	0	0
100	2,42E-05	500	0,00012234	2500	0,0006126	5000	0,01234567
200	4,84E-05	1000	0,00024468	5000	0,00122519	10000	0,02469134
300	7,26E-05	1500	0,00036702	7500	0,00183779	15000	0,03703701
400	9,69E-05	2000	0,00048936	10000	0,00245038	20000	0,04938268
500	0,00012107	2500	0,0006117	12500	0,00306298	25000	0,06172835
600	0,00014528	3000	0,00073404	15000	0,00367557	30000	0,07407402
700	0,00016949	3500	0,00085637	17500	0,00428816	35000	0,08641969
800	0,00019371	4000	0,00097871	20000	0,00490076	40000	0,09876536
900	0,00021792	4500	0,00110105	22500	0,00551335	45000	0,11111103
1000	0,00024213	5000	0,00122339	25000	0,00612595	50000	0,1234567
1100	0,00026634	5500	0,00134573	27500	0,00673854	55000	0,13580237
1200	0,00029056	6000	0,00146807	30000	0,00735114	60000	0,14814804
1300	0,00031477	6500	0,00159041	32500	0,00796373	65000	0,16049371
1400	0,00033898	7000	0,00171275	35000	0,00857633	70000	0,17283938
1500	0,0003632	7500	0,00183509	37500	0,00918892	75000	0,18518505
1600	0,00038741	8000	0,00195743	40000	0,00980152	80000	0,19753072
1700	0,00041162	8500	0,00207977	42500	0,01041411	85000	0,20987639
1800	0,00043584	9000	0,0022021	45000	0,01102671	90000	0,22222206
1900	0,00046005	9500	0,00232444	47500	0,0116393	95000	0,23456773
2000	0,00048426	10000	0,00244678	50000	0,0122519	100000	0,2569134
k=4129990,3 [kgf/V]		k=4110000,3 [kgf/V]		k=4101000,3 [kgf/V]		k=4100000,3 [kgf/V]	

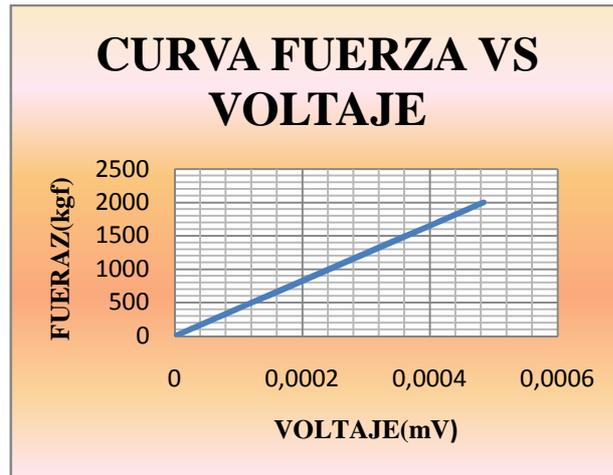


Figura 3.34: Representación gráfica de la curva Fuerza vs Voltaje para la escala de 0 a 2000 kgf

Como se visualiza el valor de la pendiente en las cuatro escalas se aproximan entre sí. Por lo tanto el transductor es lineal entonces no se requiere linealizar la señal del transductor.

El transductor emite señal analógica entonces:

La programación de adquisición de datos del transductor se basa en la obtención de una señal analógica por lo tanto la tarjeta DAQ debe ser programada seleccionando el pin de entrada analógica **ai1**, en la fig. 3.35 se muestra la configuración de la DAQ USB 6211 para la adquisición de datos de voltaje, seleccionado el pin dev/a1.

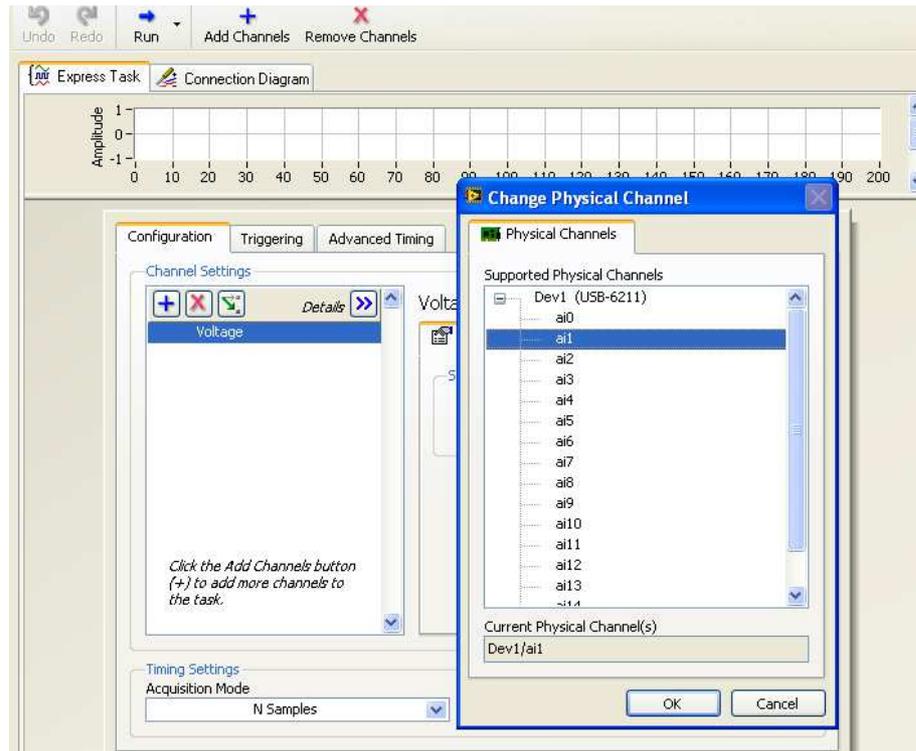


Figura 3.35: Esquema de la configuración de la DAQ 6211 para la adquisición de datos de voltaje

Debido a que la DAQ USB 6211 y el software LabVIEW proceden de un mismo fabricante la comunicación se vuelve muy fácil y rápida.

En la fig. 3.36 se muestra un esquema de la programación para la adquisición de datos del transductor de presión en diagrama de bloques, se basa principalmente en la adquisición de datos y un acondicionamiento de la señal analógica mediante un filtrado digital que ofrece LabVIEW, para luego ser encerada la fuerza, luego de filtrado y encerado el voltaje de salida del transductor, para transformar estos valores de voltaje a valores de fuerza se multiplica por la constante para cada escala que es el valor de la pendiente de la curva fuerza vs voltaje, finalmente se tiene un indicador para la visualización del valor de fuerza en kgf.

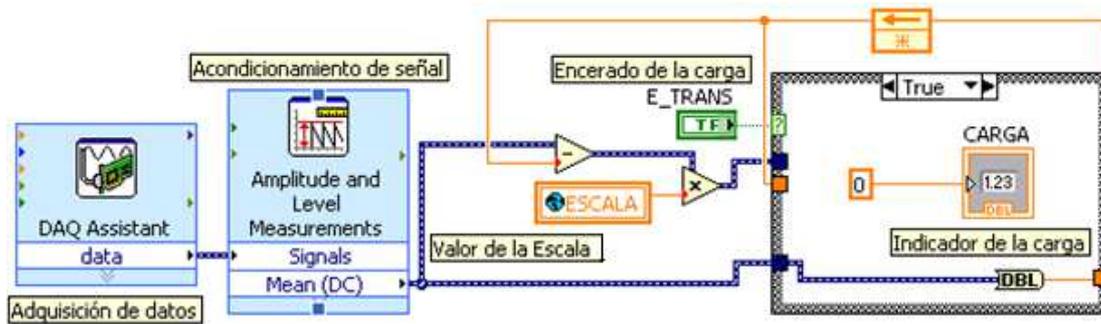


Figura 3.36: Esquema de la programación en la adquisición de datos del transductor de presión en diagrama de bloques

3.3.3.2. Adquisición de datos del encoder incremental

La programación de adquisición de datos del encoder se basa principalmente en el conteo de pulsos, por lo tanto la tarjeta DAQ USB 6211 debe ser programada seleccionando el pin medidor de pulsos (ver fig. 3.37), que es el pin **ctr0**.

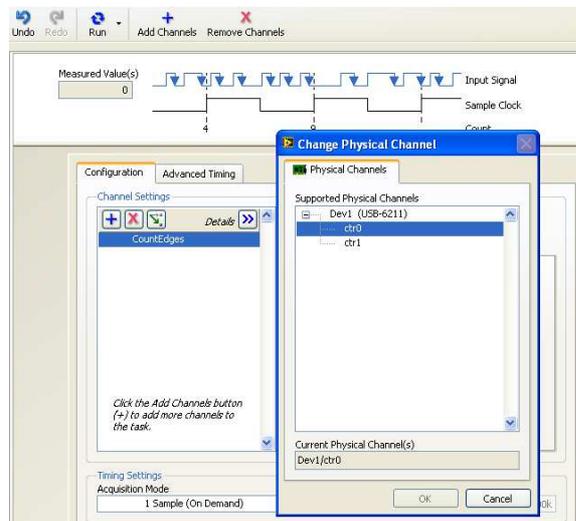


Figura 3.37: Esquema de la configuración de la DAQ 6211 para conteo de pulsos.

En la fig. 3.38 se muestra el esquema de la programación de la adquisición de datos del encoder en diagrama de bloques, se basa principalmente en la adquisición del número de pulsos para luego ser encerado y posteriormente realizar el cálculo de la distancia recorrida basado en la ecuación (22) para luego ser visualizado en un indicador de medida en mm.

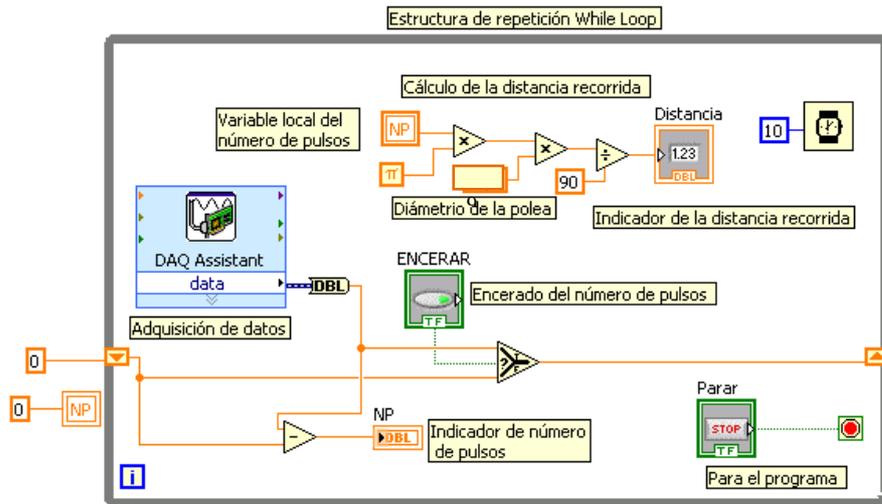


Figura 3.38: Esquema de la programación en la adquisición de datos del encoder en diagrama de bloques

3.3.3.3. Adquisición de datos del deformímetro

Antes de adquirir los datos de la Webcam se debe instalar los drivers del programa Eye 312 que hacen funcionar la cámara que se muestra en el **Anexo I**.

La adquisición de datos de la webcam mostrado en la fig. 3.39, muestra una secuencia lógica de procedimientos, primeramente la apertura de la cámara, la configuración de la misma, la calibración de los datos enviados por la webcam y finalmente la visualización de la medida en milésimas de milímetro.

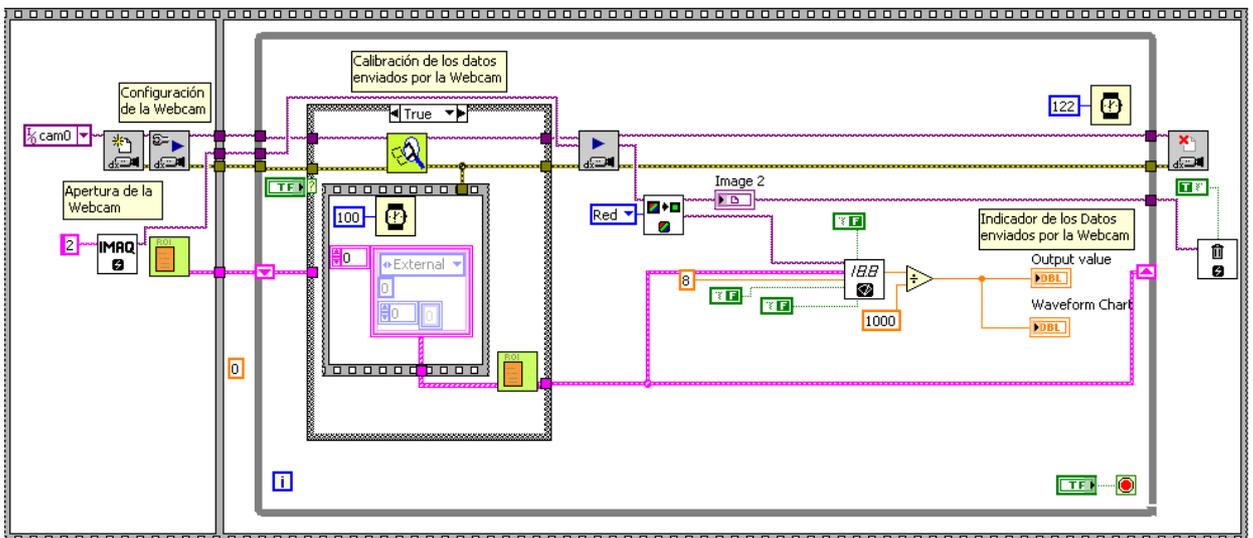


Figura 3.39: Esquema de la programación en la adquisición de datos de la webcam en diagrama de bloques

3.3.3.4. Programa para cargar la constante

En la fig. 3.40 se muestra la programación en diagrama de bloques para la cargar el valor de la constante.

El cual mediante una estructura While Loop encierra el Case structure para cargar constante. En caso de ser verdadero el programa carga el valor de la constante.

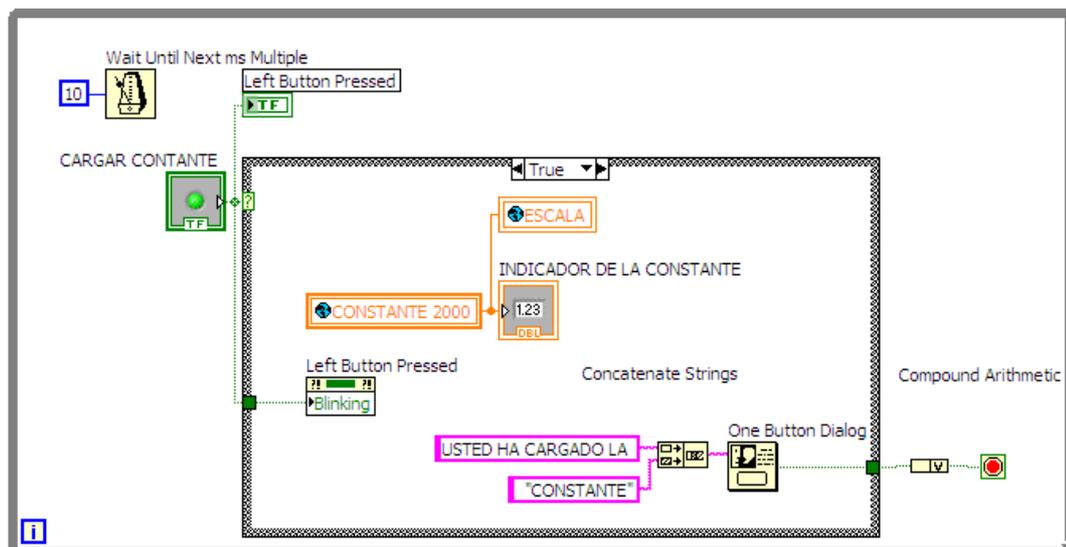


Figura 3.40: Esquema de la programación en diagrama de bloques para la cargar la constante.

3.3.3.5. Programa para la selección de los ensayos

En la fig. 3.41 se muestra la programación en diagrama de bloques para selección de los diferentes tipos de ensayos empezando por el ensayo de tracción, luego el ensayo de compresión, el ensayo de flexión isoestático e hiperestático y el ensayo de corte.

Este programa consta de estructuras repetitivas que al pulsar el ícono para cada tipo de ensayo opera en verdadero.

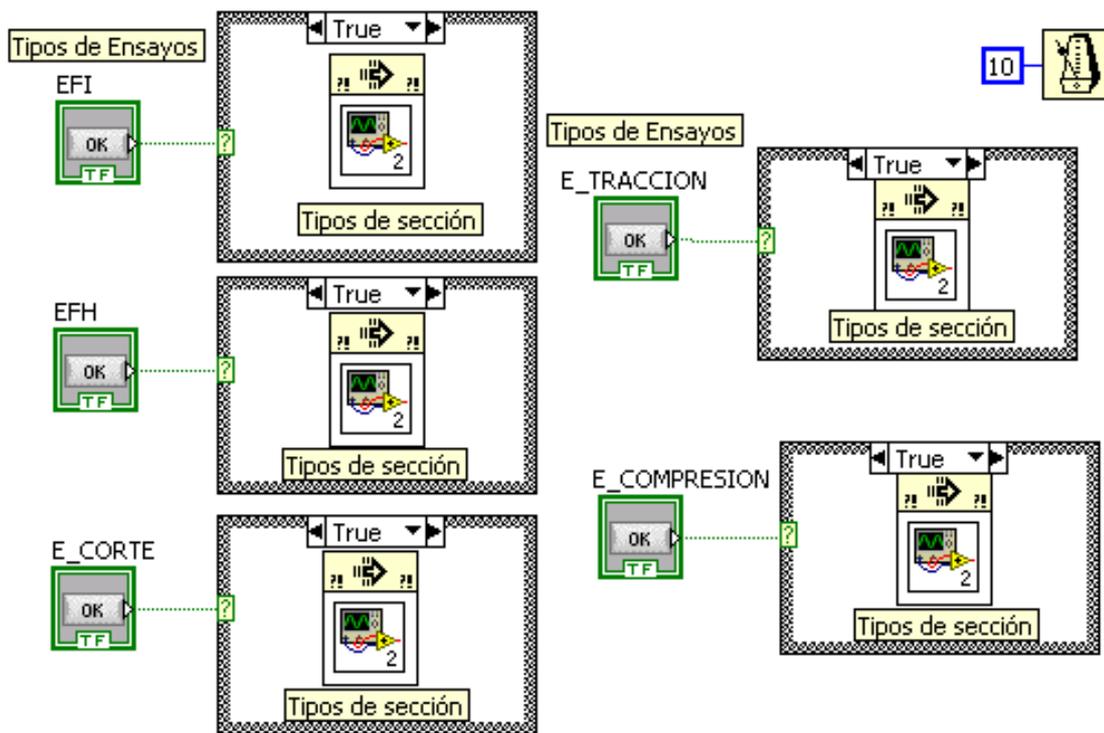


Figura 3.41: Esquema de la programación en diagrama de bloques para selección de los diferentes tipos de ensayos

3.3.3.6. Programa para la selección del tipo de sección

En la fig. 3.42 se muestra la programación en diagrama de bloques para selección de los tipos de sección dependiendo del tipo de ensayo que se esté realizando.

Este programa consta de estructuras repetitivas que al pulsar el ícono para tipo de sección cuando se trabaja en verdadero.

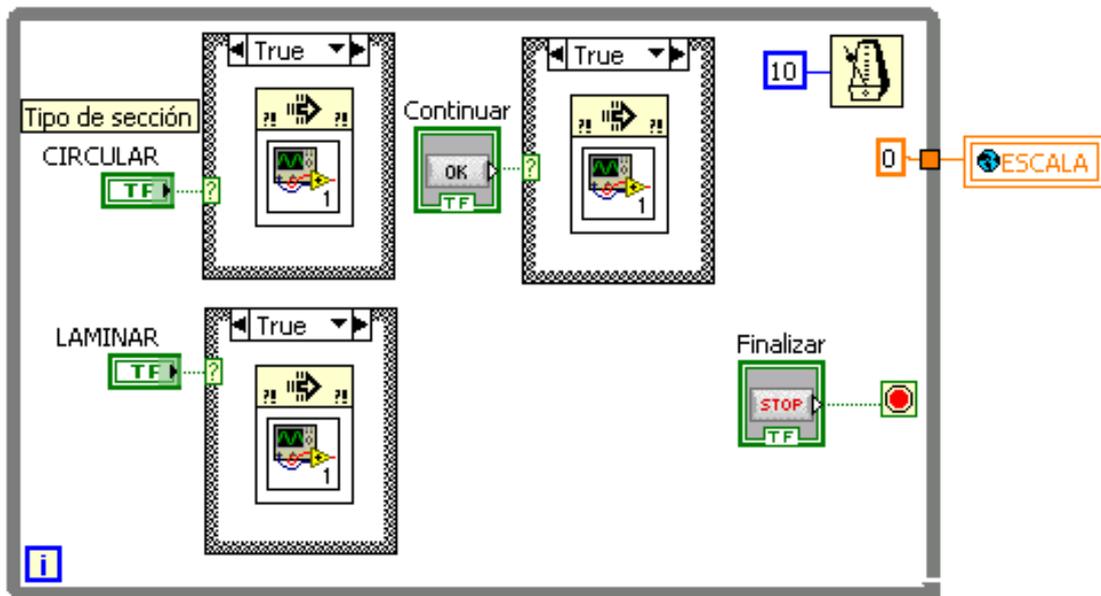


Figura 3.42: Esquema de la programación para la selección del tipo de sección para el ensayo de tracción

3.3.3.7. Programa para el ingreso de parámetros iniciales en los ensayos

En la fig. 3.43 se muestra la programación en diagrama de bloques para ingresar los datos iniciales para luego calcular el área. Tanto el área y la longitud inicial son enviados a una variable global, se debe tomar en cuenta que los valores ingresados deben ser mayor que cero. El programa mostrado en la fig. 3.43 se cumple para los ensayos de tracción, compresión y corte en probetas de sección circular. En las probetas laminar, rectangular y tubular, el programa es similar con la diferencia en el cálculo del área.

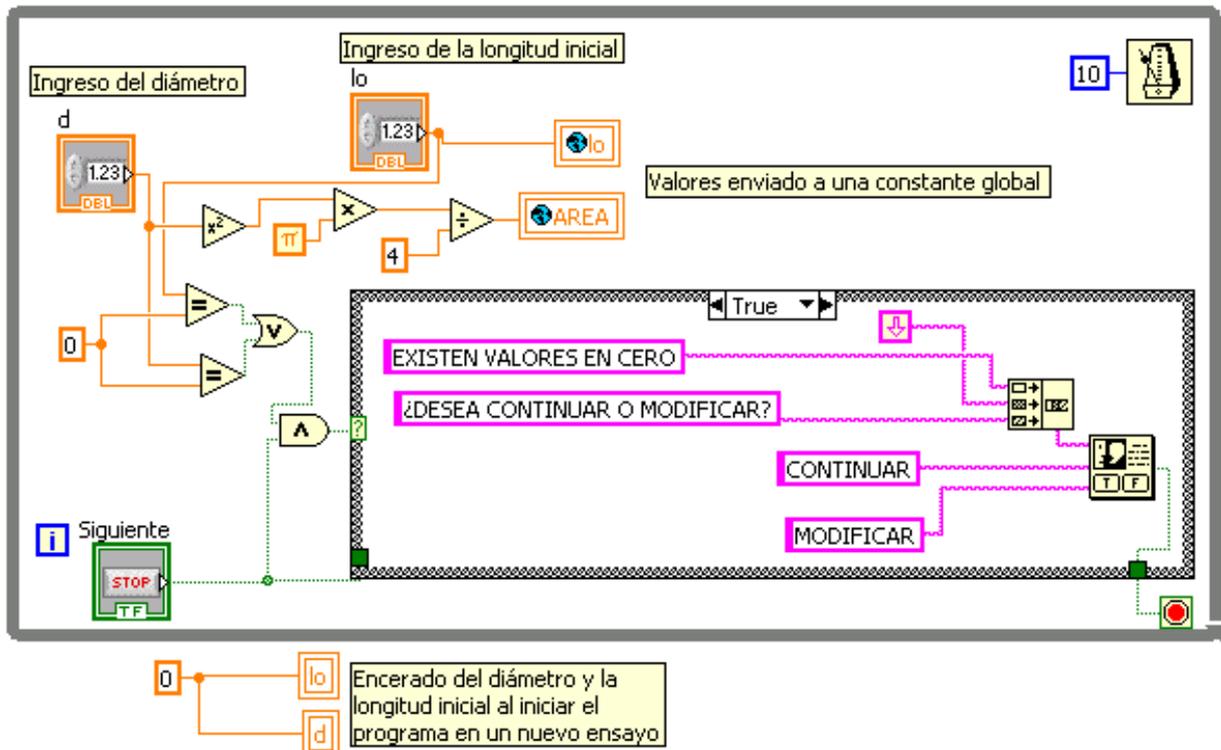


Figura 3.43: Esquema de la programación en diagrama de bloques para el ingreso de datos iniciales en probetas circulares para los ensayos de tracción y compresión

3.3.3.9. Programa para visualizar los resultados

- **Para el ensayo de tracción**

En la fig. 3.44 se muestra la programación en diagrama de bloques para obtener la curva esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de tracción basados en los parámetros de diseño y condiciones descriptos en la sección 3.3.1.

Para obtener esta curva se requiere de los datos de esfuerzo que depende de los valores enviados por el transductor y de los datos de la deformación unitaria que obedece de los valores enviados por la Webcam y de los pulsos enviados por el encoder, una vez obtenidos estos datos se envían a graficar en pares ordenados sincronizados.

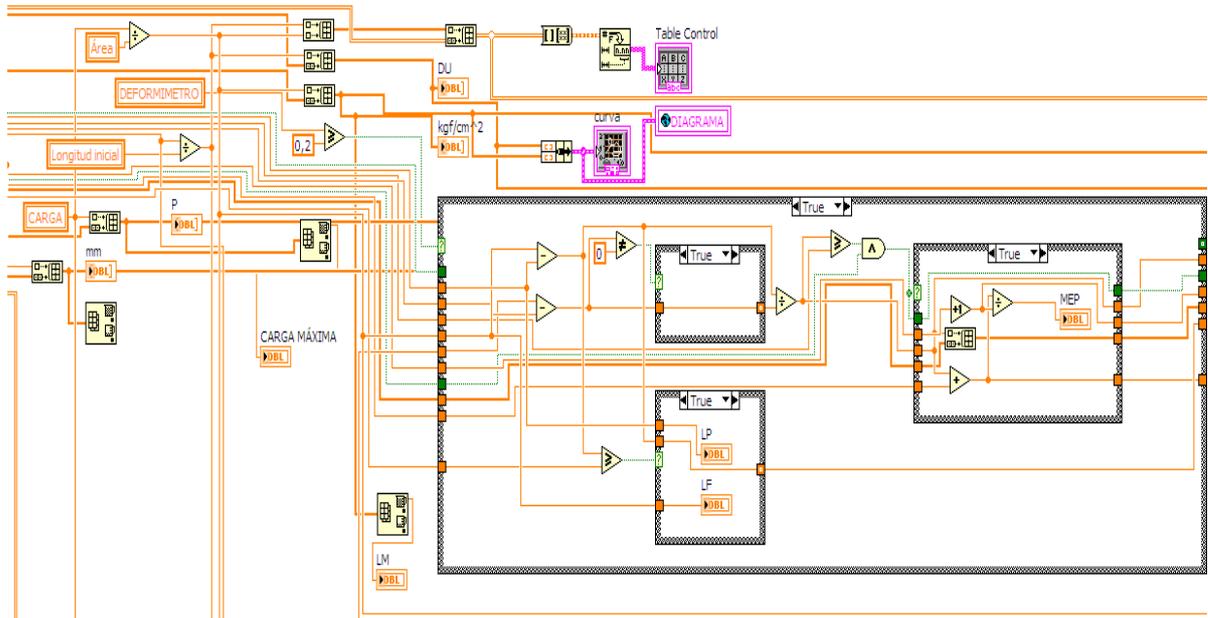


Figura 3.44: Esquema de la programación para la visualización de la curva esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de tracción.

- **Para el ensayo de compresión y flexión**

En la fig. 3.45 se muestra la programación en diagrama de bloques para obtener la curva esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de compresión, basados en los parámetros de diseño y condiciones descritos en la sección 3.3.1.

Para obtener esta curva se requiere de los datos de esfuerzo que depende de los valores enviados por el transductor y de los datos de la deformación unitaria que depende de los pulsos enviados por el encoder, una vez obtenidos estos datos se envían a graficar en pares ordenados sincronizados.

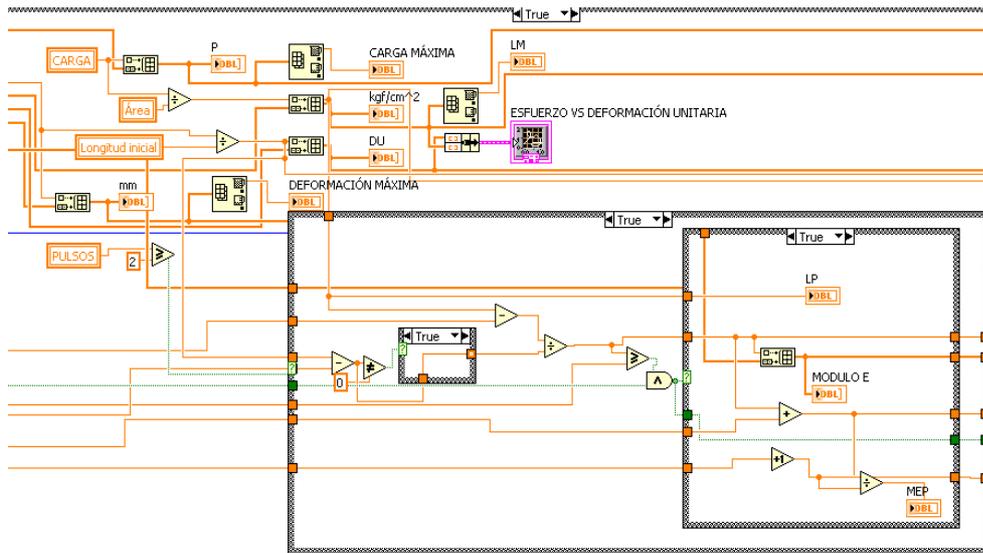


Figura 3.45: Esquema de la programación para la visualización de la curva esfuerzo vs deformación unitaria para el ensayo de compresión.

- **Para el ensayos de corte**

En la fig. 3.46 se muestra la programación en diagrama de bloques para obtener el esfuerzo de corte y la fuerza máxima para el ensayo de corte, basados en los parámetros de diseño y condiciones descritos en la sección 3.3.1. Los datos de esfuerzo que depende de los valores enviados por el transductor de presión

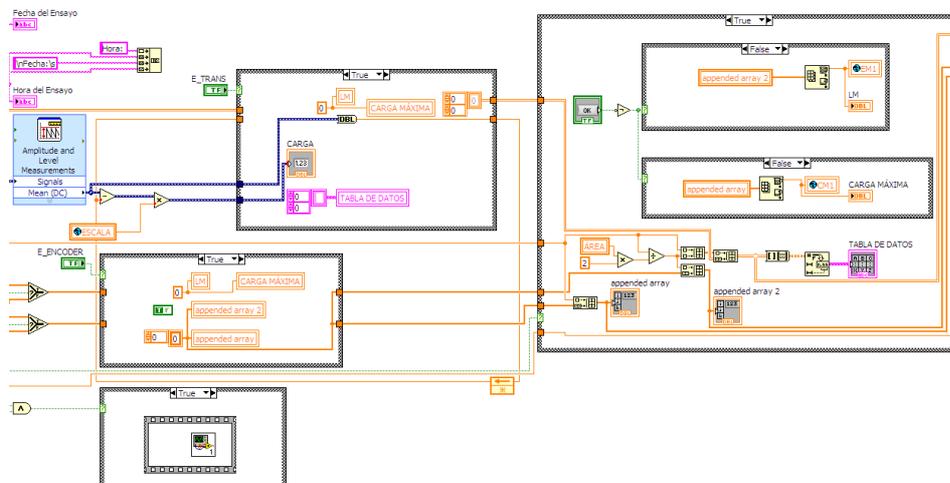


Figura 3.46: Esquema de la programación para la visualización de resultados para el ensayo de corte.

3.4. Implementación del hardware y software en el sistema de transformación de señales.

Instalado los sensores y seleccionado la tarjeta de adquisición de datos se procede a la implementación del sistema de transformación de señales, el cual se encuentra ubicado en la parte izquierda del dial de la Máquina Universal. (Ver fig. 3.47).



Figura 3.47: Representación gráfica de la instalación del sistema de transformación de señales

En la pantalla frontal de la caja metálica se encuentra detallado, el interruptor de encendido, la conexión USB y led indicador, como se muestra en la fig. 3.48.



Figura 3.48: Representación gráfica de la pantalla frontal de la caja metálica del sistema de adquisición de datos

Para la conexión de la tarjeta de adquisición de datos es necesario un computador con entradas USB.
(Ver fig. 3.49).



Figura 3.49: Representación gráfica del puerto USB del computador.

Para la implementación del software en el computador debe estar instalado la versión profesional completa de *LabVIEW 2009*, esto incluye la plataforma *Vision*.

Se instala el software `UniverResistance.mj.exe` como se explica a continuación:

- Se coloca el CD en el driver del ordenador.
- Se elige el programa **UniversalResistance.mj.exe**.
- Se abre el programa en la ventana **front panel**
- Una vez que abre la ventana front panel, el programa `UniversalResistance.mj.exe` se está ejecutando.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y EVALUACIÓN DEL EQUIPO INSTALADO

4.1 Calibración del equipo instalado

Para comprobar que el equipo se encuentra calibrado se realizaron pruebas, de esta manera obtener datos de los tres sensores en forma analógica y en forma digital. Se realizó una comparación entre estos datos y se comprobó que el equipo se encuentra calibrado.

Antes de realizar las pruebas se encera en cada uno de los sensores tanto al programa que dan los datos en forma digital, y a los dispositivos que dan en forma analógica.

4.1.1. Calibración de la señal del transductor

Antes de aplicar la fuerza se encera tanto el dial, como el programa UniversalResistences.mj.exe dando clic en el ícono encerrar como se muestra en la fig. 4.1 y fig. 4.2, respectivamente.



Figura 4.1: Representación gráfica del enceramiento del valor de la fuerza encerado en el dial de la Máquina Universal

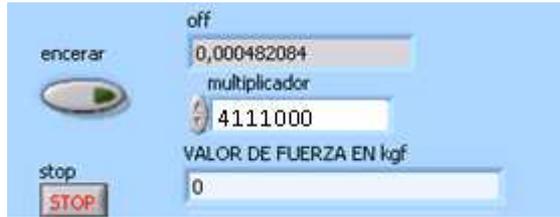


Figura 4.2: Representación gráfica del enceramiento del valor de la fuerza encerado en el programa.

En la sección 3.3.3.1. se determinó la pendiente de la curva fuerza vs voltaje que corresponde a la constante calibración de la fuerza. Se aplica una fuerza de compresión a una probeta cilíndrica normalizada de acero que tiene la propiedad de resistir más de 100000kgf. Se empieza la calibración de la fuerza con el valor de la constante para la escala de 2000kgf debido a que está es la más sensible. Entonces se obtienen datos de la fuerza en las cuatro escalas tanto en el dial (ver fig. 4.3.) como en el programa que se realizó para el transductor (ver fig. 4.4.), se varía el valor de esta constante hasta que exista un porcentaje de error en las lecturas de fuerza menor al 1%. Se determinó que la constante de calibración para el valor de la fuerza es de **4111000**. Los datos tomados utilizando esta constante se muestran en la tabla 4.1.



Figura 4.3: Representación gráfica de la fuerza de 1002 kgf en el dial de la Máquina Universal

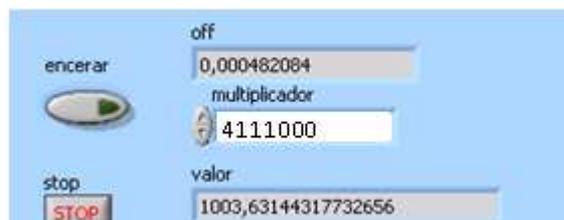


Figura 4.4: Representación gráfica del valor de la fuerza de 1003,63 tomado en el programa

Tabla 4.1: VALORES OBTENIDOS DE FUERZA

VALORES DE FUERZA (kgf)				
Escala de 2000kgf				
En el dial de la Máquina Universal	En el programa			% de variación
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio de lecturas	
200	198,925	201,971	200,448	0,224
300	297,569	300,564	299,0665	-0,31
400	401,29	400,099	400,6945	0,17
600	602,629	602,289	602,459	0,41
800	799,408	796,572	797,99	-0,25
1000	995,801	1003,49	999,6455	-0,03
1200	1203,92	1199,01	1201,465	0,12
1400	1400,77	1396,22	1398,495	-0,11
1600	1602,83	1612,97	1607,9	0,49
1800	1809,32	1806,89	1808,105	0,45
2000	1995,5	1993,79	1994,645	-0,26
Escala de 10000kgf				
1000	996,586	1000,94	998,763	-0,12
2000	2005,23	2001,23	2003,23	0,16
3000	2999,27	3011,89	3005,58	0,18
4010	4016,26	4007,83	4012,045	0,050
5000	5010,56	5004,86	5007,71	0,15
6000	5996,31	6011,65	6003,98	0,06
7000	7006,93	7008,96	7007,945	0,11
8000	7993,74	7985,78	7989,76	-0,12
9000	8990,42	8979,77	8985,095	-0,16
10000	9984,41	9982,48	9983,445	-0,16
Escala de 50000kgf				
5000	5018,78	5009,64	5014,21	0,28
10000	10044	10021,6	10032,8	0,32
15000	15057,9	15039	15048,45	0,32
20000	20065,6	20078,4	20072	0,36
25000	25135,3	25137,7	25136,5	0,54
30000	30127,5	30130	30128,75	0,42
35000	35203,2	35174,6	35188,9	0,53
40000	40146,4	40135,6	40141	0,35
45000	45147,2	45103,5	45125,35	0,27
50000	50101,8	50101,4	50101,6	0,20
Escala de 100000kgf				
10000	10040,9	10014,3	10027,6	0,27
20000	20019,4	20005,5	20012,45	0,06
30000	30020,4	30050	30035,2	0,11
40000	40045,2	40010,5	40027,85	0,06

50000	50018,8	50022,5	50020,65	0,04
60000	60016,5	60013,2	60014,85	0,02
70000	70011,5	70035,8	70023,65	0,03
80000	80045,7	80013,5	80029,6	0,03
90000	90035,5	90014,5	90025	0,02
100000	100051,5	100042,1	100046,8	0,04

Al comparar los valores de carga de la tabla 4.1. se observa que el equipo se encuentra calibrado con % de variación menor al 1% que es aceptable.

4.1.2. Calibración del deformímetro

Se encera el display del deformímetro pulsando el botón **ZERO/ABS**, mientras que el programa se encera automáticamente, como se muestra en las fig. 4.5 y fig. 4.6 respectivamente.



Figura 4.5: Representación gráfica del enceramiento del valor de la deformación encerado en el display del deformímetro.

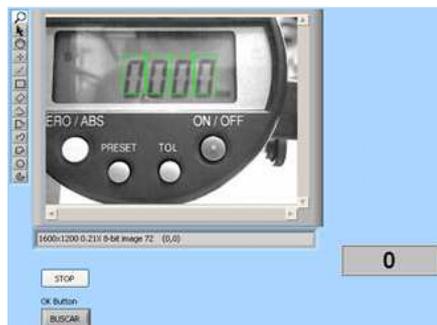


Figura 4.6: Representación gráfica del enceramiento del valor de la deformación en el programa.

Se toman los datos de deformación en el display del deformímetro (ver fig. 4.7.) y en el programa (ver fig. 4.8) estos datos se muestran en la tabla 4.2.



Figura 4.7: Representación gráfica del valor de la deformación de 1.903mm en el display del deformímetro.



Figura 4.8: Representación gráfica del valor de la deformación de 1.903mm en el programa.

Tabla 4.2: VALORES TOMADOS DE DEFORMACIÓN

Valores de deformación (mm)		
En el display del deformímetro	En el programa	% de variación
0	0	0
0.001	0.001	0
0.003	0.003	0
0.009	0.009	0
0.010	0.01	0
0.050	0.05	0
0.100	0.1	0
1.000	1	0
1.903	1.903	0
8.900	8.9	0

Al comparar los valores de deformación de la tabla N° 4.2. se observa que el equipo se encuentra calibrado.

4.1.3. Calibración del encoder

Para calibrar el encoder se utilizará el deformímetro de palanca Tinuis Olsen 76081 que es instrumental de la Máquina Universal, con una precisión de 0,05mm. Antes de levantar el pistón de la Máquina Universal se encera tanto el deformímetro de palanca como el programa, dando clic en el ícono encerrar como se muestra en la fig.4.9. y fig. 4.10., respectivamente.



Figura 4.9: Representación gráfica del enceramiento del valor de desplazamiento encerado en el deformímetro de palanca



Figura 4.10: Representación gráfica del enceramiento del valor de desplazamiento encerado en el programa.

Se levanta el pistón y se toman los datos de desplazamiento en el deformímetro de palanca (ver fig. 4.11.) y en el programa (ver fig. 4.12.) estos datos se muestran en la tabla 4.3.



Figura 4.11: Representación gráfica del valor del desplazamiento de 7 que corresponde a 0,35 mm en el del deformímetro de palanca.



Figura 4.12: Representación gráfica del valor de la deformación de 0,34208 mm en el programa.

Tabla 4.3: VALORES TOMADOS DE DESPLAZAMIENTO

Valores de desplazamiento (mm)		
En el deformímetro de palanca	En el programa	% de variación
0	0	0
0,475	0,4747	0,063157895
0,95	0,9494	0,063157895
1,425	1,4241	0,063157895
1,9	1,8988	0,063157895
2,375	2,3735	0,063157895
2,85	2,8482	0,063157895
9,5	9,494	0,063157895
37,97	37,976	-0,015801949
42,725	42,723	0,0046811

Al comparar los valores de desplazamiento de la tabla 4.3, se puede observa que el equipo se encuentra calibrado con un % de variación de 0.06% que es aceptable.

4.2. Prueba de los ensayos de tracción, compresión, flexión y corte en probetas normalizadas con el programa UniversalResistences.mj.exe

Para comprobar el funcionamiento del programa se realizó el ensayo de tracción utilizando probetas normalizadas. Se utiliza una probeta circular de acero de construcción que corresponde a un acero 1020 con una longitud de 70cm y 1,2cm de diámetro como se muestra en la fig. 4.13.

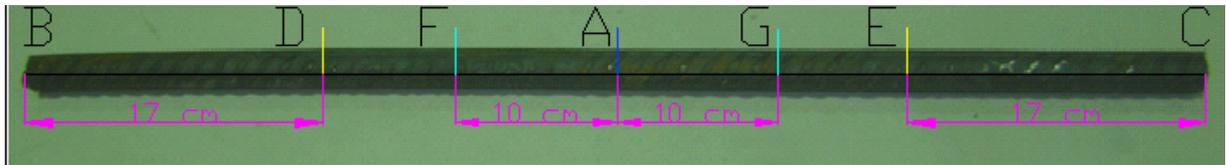


Figura 4.13: Representación gráfica de la probeta de acero de construcción para el ensayo de tracción

En la probeta se señala las siguientes dimensiones como se muestra en la fig. 4.13: 17cm desde los extremos B y C para que exista un buen agarre probeta-mordazas, 10cm desde la mitad (punto A) a cada lado, en los punto F y G se realiza un punto en cada uno, para colocar el dispositivo que contiene al deformímetro. Luego se mide la longitud inicial en los puntos que se realizo (F Y G).

Se coloca la probeta en las mordazas realizando un buen ajuste tanto en la parte superior como inferior. Se le aplica una precarga seleccionando previamente la escala de 10000kgf para que se pretense la probeta.

Posteriormente se coloca el dispositivo que contiene el deformímetro como se muestra en la fig. 4.14. Se ejecuta el programa UniversalResistance.mj.vi. Luego se encera los valores de fuerza y deformación en forma analógica y digital.



Figura 4.14: Representación gráfica del montaje de la probeta en la Máquina Universal para el ensayo de tracción

Se aplica la fuerza hasta que se rompa la probeta, se toman valores de fuerza y deformación en forma analógica cada 100kgf observando en el dial y en el deformímetro respectivamente, ingresar los datos en Excel en forma manual, se toman solo hasta el límite de fluencia por protección del deformímetro digital, se obtiene la curva esfuerzo vs. deformación unitaria y a partir de ésta las diferentes propiedades mecánicas del material. Mientras que en el programa ya se obtiene tanto la curva esfuerzo vs deformación unitaria completa, como las propiedades mecánicas.

Una vez terminado el ensayo se procede a medir la longitud final para calcular el porcentaje de alargamiento.

Como datos iniciales se tiene:

$$\mathbf{d} = 1.2 \text{ [cm]} \quad \mathbf{l_0} = 200 \text{ [mm]} \quad \mathbf{A} = 1.13 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Como dato final se tiene:

$$\mathbf{L_f} = 245 \text{ [mm]}$$

Los datos y resultados obtenidos en forma analógica y a través del sistema de adquisición de datos se muestran a continuación.

- **Datos y resultados obtenidos en forma analógica del ensayo de tracción**

Los datos obtenidos de fuerza y deformación, los calculados como el esfuerzo, la deformación unitaria y el módulo de elasticidad se muestran en la tabla N° 4.4.

Tabla 4.4: DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN EN FORMA ANALÓGICA

P [Kgf]	Δl [mm]	σ [kgf/cm ²]	ε [mm/mm]	E [kgf/cm ²]
0	0	0,0	0	
200	0,0162	176,8	0,000081	
400	0,0363	353,7	0,000182	2183190,3
600	0,054	530,5	0,00027	1759586,2
800	0,0702	707,4	0,000351	1998174,1
1000	0,0862	884,2	0,000431	2183190,3
1200	0,102	1061,0	0,00051	2210480,2
1400	0,117	1237,9	0,000585	2238460,9
1600	0,133	1414,7	0,000665	2357845,5
1800	0,146	1591,5	0,00073	2210480,2
2000	0,161	1768,4	0,000805	2357845,5
2200	0,173	1945,2	0,000865	2357845,5
2400	0,19	2122,1	0,00095	2357845,5
2600	0,205	2298,9	0,001025	2080451,9
2800	0,217	2475,7	0,001085	2357845,5
3000	0,229	2652,6	0,001145	2357845,5
3200	0,244	2829,4	0,00122	2947306,9
3400	0,259	3006,3	0,001295	2357845,5
3600	0,275	3183,1	0,001375	2357845,5
3800	0,289	3359,9	0,001445	2210480,2
4000	0,304	3536,8	0,00152	2526263,0
4200	0,318	3713,6	0,00159	2357845,5
4400	0,334	3890,4	0,00167	2526263,0
4600	0,35	4067,3	0,00175	2210480,2
4800	0,368	4244,1	0,00184	2210480,2
5000	0,386	4421,0	0,00193	1964871,2
5200	0,494	4597,8	0,00247	

Con los datos de la tabla N° 4.4. se realiza la curva esfuerzo vs. deformación unitaria (ver fig. N° 4.15.).

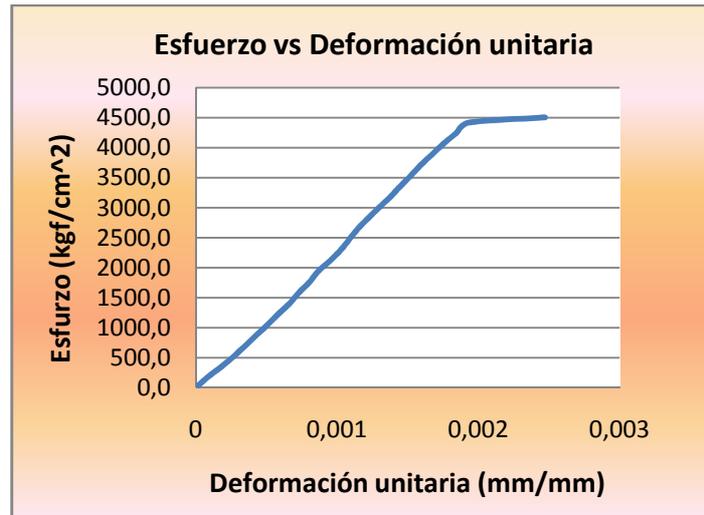


Figura 4.15: Representación gráfica de la curva esfuerzo vs. Deformación unitaria para el ensayo de tracción

- **Datos y resultados obtenidos a través del sistema de adquisición de datos del ensayo de tracción**

En la fig. 4.16, se muestran los datos iniciales, la tabla de datos, el diagrama de esfuerzo vs. deformación unitaria y resultados obtenidos del ensayo.

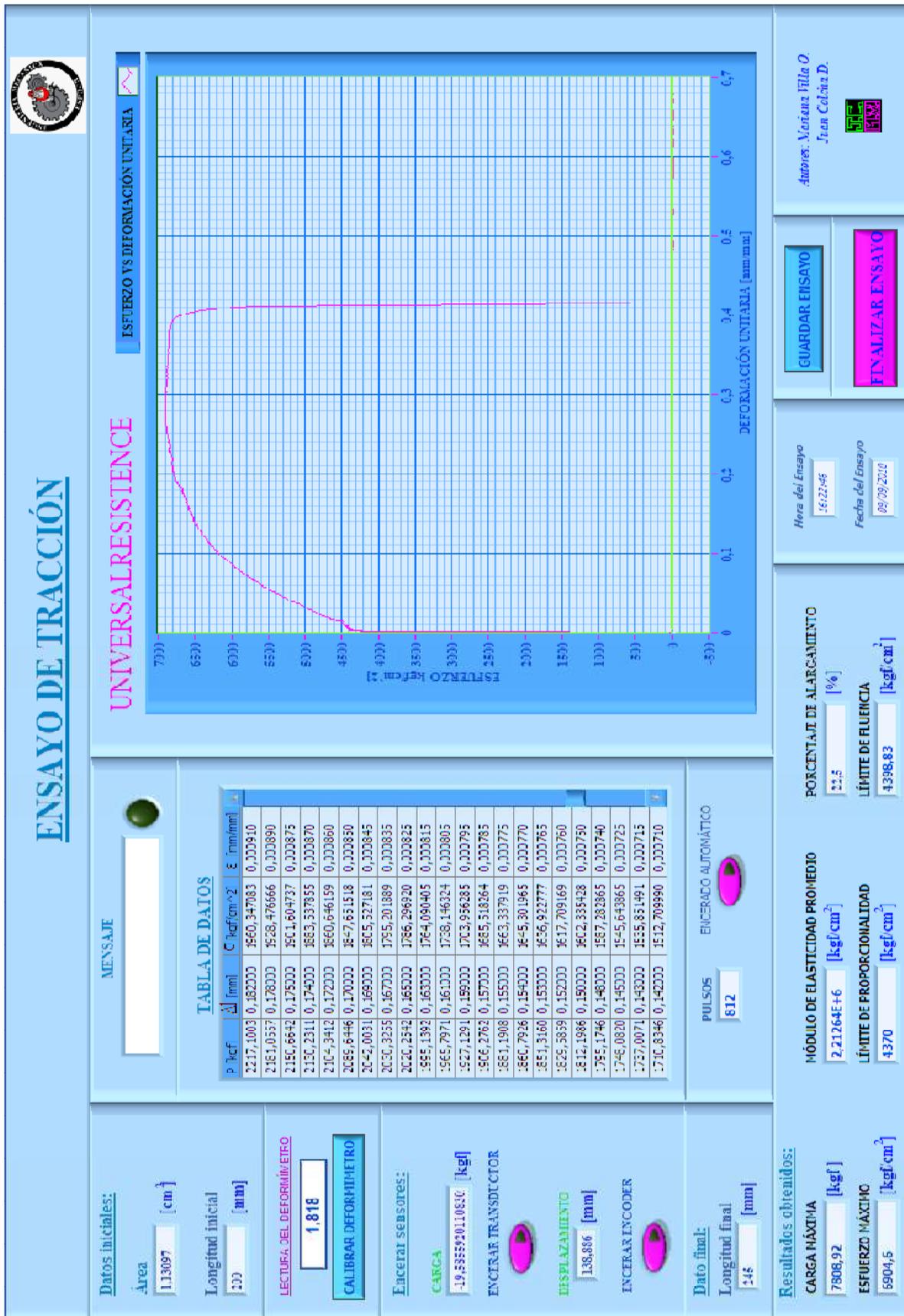


Figura 4.16: Representación gráfica del programa UniversalResistences.mj.vi para el ensayo de tracción

Resumen de resultados

En la tabla 4.5. se muestra un resumen de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados tanto en forma analógica y a través del programa de UniversalResistance.mj. También se muestra el porcentaje de error que se ha obtenido.

Tabla 4.5: RESUMEN DE RESULTADOS Y PORCENTAJE DE ERROR

Resultados	En forma Analógica	En forma Digital	% Variación
Ensayo de tracción			
Fuerza máxima [kgf]	7808	7808,92	0,01
Límite máximo [kgf/cm ²]	6903,8	6904,6	0,01
Límite de proporcionalidad [kgf/cm ²]	4370	4370	0
Límite de fluencia [kgf/cm ²]	4400	4398,83	0,03
Módulo de elasticidad [kgf/cm ²]	2,2117+E6	2,21E+06	0,04
Porcentaje de alargamiento [%]	22,5	22,5	0
Ensayo de compresión			
Fuerza máxima [kgf]	8881	8881,57	0,006
Límite máximo [kgf/cm ²]	348,27	348,29	0,006
Límite de proporcionalidad [kgf/cm ²]	270	270,829	0,3
Módulo de elasticidad [kgf/cm ²]	138789,429	137967	0,6
Porcentaje de acortamiento [%]	6,63	6,63	0
Ensayo de flexión isoestático			
Fuerza máxima [kgf]	2882	2882,01	0,0003
Límite máximo [kgf/cm ²]	12605,54	12606	0,004
Límite de proporcionalidad [kgf/cm ²]	6123,44	6123,44	0
Módulo de elasticidad [kgf/cm ²]	2129266,2	2129266,2	0
Momento flector máximo [kgf*cm]	46112	46112	0
Flecha máxima [mm]	45,5	45,5	0
Ensayo de flexión hiperestático			
Fuerza máxima [kgf]	3590	3590,17	0,005
Límite máximo [kgf/cm ²]	9701	9701	0
Límite de proporcionalidad [kgf/cm ²]	6215	6210,16	0,07
Módulo de elasticidad [kgf/cm ²]	1102987,1	1100360	0,2
Momento flector máximo [kgf*cm]	8325,3	8325,69	0,005
Flecha máxima [mm]	25	24,8	0,08
Ensayo de corte			
Fuerza máxima [kgf]	648	648,65	0,1
Esfuerzo de corte [kgf/cm ²]	286,5	286,766	0,09

Al comparar los resultados obtenidos en forma analógica y en el sistema digital se observa que el programa se encuentra calibrado, obteniéndose valores similares con respecto los resultados obtenidos en forma analógica en cada uno de los ensayos realizados. Obteniéndose como máximo porcentaje de variación de 0,6% el cual es aceptable.

CAPÍTULO V

5. OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO INSTALADO

5.1. Manual de usuario

5.1.1. Manual de usuario para iniciar el software **UniversalResistance.mj.vi**

Para que se ejecute el programa *UniversalResistance.mj.vi*, es necesario que el ordenador tenga instalado la versión profesional completa de *LabVIEW 2009*, esto incluye la plataforma *Vision*.

1. Ejecute el software **UniversalResistance.mj.vi** dando doble clic sobre el ícono ubicado en el escritorio del ordenador. (Ver fig. 5.1)

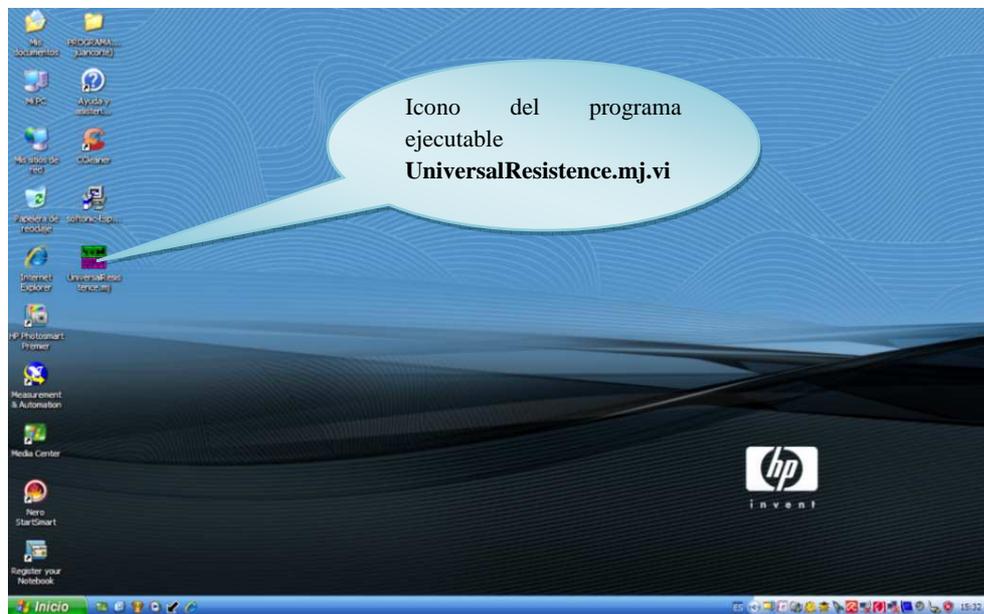


Figura 5.1: Representación gráfica del escritorio del ordenador donde se encuentra ubicado el software *UniversalResistance.mj.vi.exe*.

2. Seleccione el paso 1 del software dando clic en **CARGAR ESCALA**. (Ver fig 5.2)

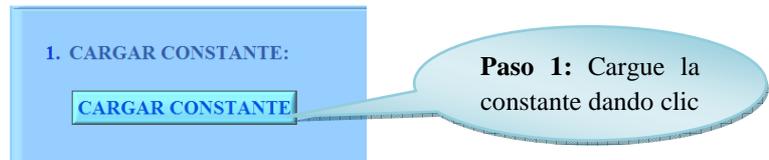


Figura 5.2: Representación gráfica de la ventana de inicio del software UniversalResistance.mj.vi para carga la constante

- Cargue la constante dando clic izquierdo en el led. Asegúrese que el **INDICADOR DE LA CONSTANTE** muestre dicho valor. Clic en **OK**. (Ver fig 5.3.)



Figura 5.3: Representación gráfica de la ventana de selección y mensaje de confirmación de la constante cargada

3. Cargada la constante, se activa el paso 2 del software. Seleccione el tipo de ensayo. Por ejemplo: **ENSAYO DE TRACCIÓN**

5.1.2. Manual de usuario para el ensayo de tracción

1. Seleccione **ENSAYO DE TRACCIÓN** del paso 2 del software y de clic en el pulsador. (Ver fig 5.4)

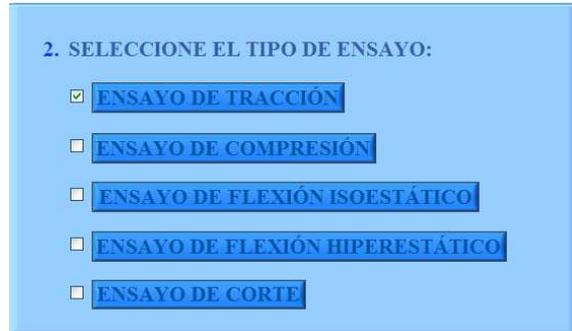


Figura 5.4: Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayos del software

UniversalResistance.mj.vi

2. Seleccione el tipo de sección de la probeta. Clic sobre la figura. Por ejemplo **CIRCULAR**. (ver fig 5.5)

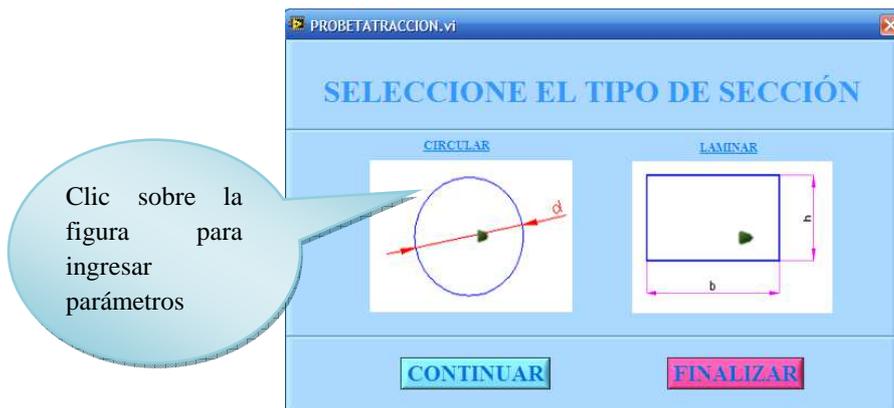


Figura 5.5: Representación gráfica de la ventana de selección del tipo de sección de probetas del ensayo de tracción

3. Si se seleccionó la sección circular ingresar los parámetros iniciales requeridos que son el diámetro (d) y la longitud inicial (l_0) ya sea manualmente o dando clic en el inbox. Clic en **SIGUIENTE**. (Ver fig 5.6)



Figura 5.6: Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de tracción

4. Se debe ingresar los valores antes mencionados mayores a cero, caso contrario clic en **MODIFICAR** e ingresar nuevamente los valores de los parámetros iniciales. (Ver fig. 5.7)



Figura 5.7: Ventana de aviso cuando se ingresa un valor de cero en los datos de ingreso del ensayo de tracción

5. Se regresa a la ventana **PROBETATRACCIÓN** y dar clic en **CONTINUAR**. (Ver fig. 5.8)



Figura 5.8: Representación gráfica de la ventana PROBETATRACCIÓN

- Al pulsar CONTINUAR, se muestra la ventana **ENSAYO DE TRACCIÓN**, el cual ilustra el diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria. Asegúrese que los datos iniciales se encuentren calculados. (Ver fig. 5.9)

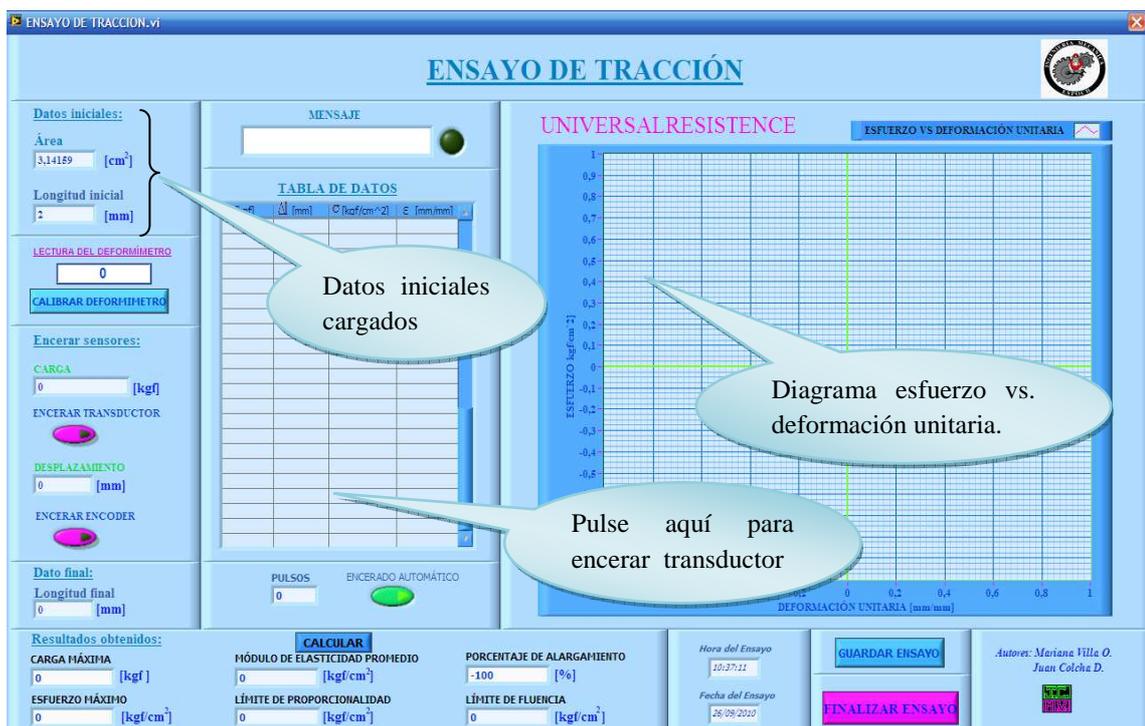


Figura 5.9: Representación gráfica de la ventana ENSAYO DE TRACCIÓN

En esta ventana se puede visualizar por módulos los datos iniciales, el enceramiento de los sensores, el mensaje de aviso cuando llega al límite de fluencia (el cual por seguridad es necesario sacar el deformímetro), una tabla de datos y los resultados obtenidos.

Clic en **CALIBRAR DEFORMÍMETRO** en caso de ser necesario, esto quiere decir si el valor que marca el display del deformímetro no coincide con el indicador de la lectura del deformímetro. (Ver fig. 5.10)



Figura 5.10: Representación gráfica del pulsador para calibrar el deformímetro

Clic en **BUSCAR**, para calibrar los dígitos del display del deformímetro. (Ver fig. 5.11)

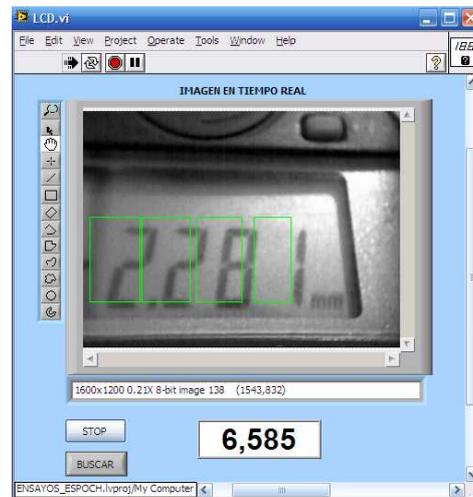


Figura 5.11: Representación gráfica de la ventana de inicio de calibración de dígitos del display del deformímetro

Buscar los cuatro primeros dígitos obtenidos del display del deformímetro encendido, en el ícono de recuadro de la barra izquierda **Tools Palette**. Al seleccionar cada dígito, clic en **BUSCAR DIGITOS**. Luego, dar clic en **SALIR DE BUSQUEDA**. (Ver fig. 5.12)



Figura 5.12: Representación gráfica de la ventana de búsqueda de dígitos del display del deformímetro

7. Encerar la Máquina Universal, luego, encerar los sensores dando clic en **ENCERAR TRANSDUCTOR** y luego clic en **ENCERAR ENCODER** del módulo Encerar sensores. (Ver fig. 5.13)

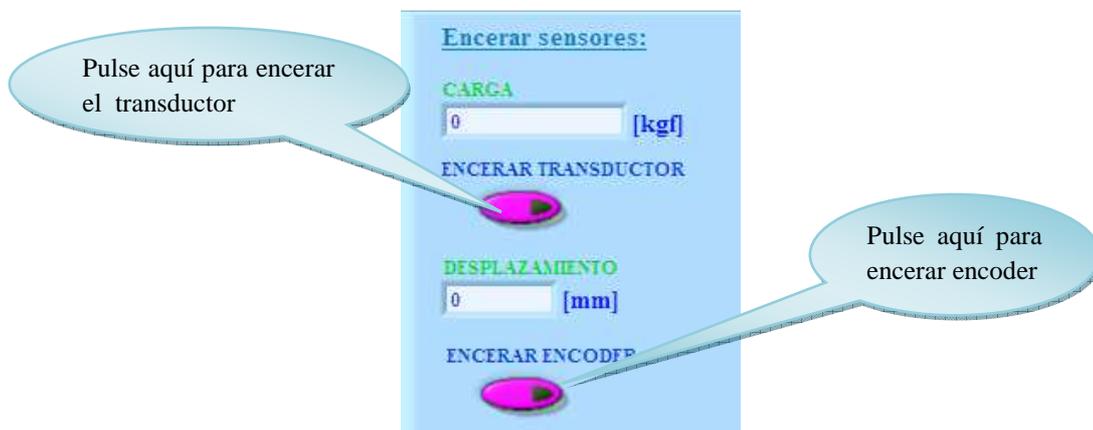
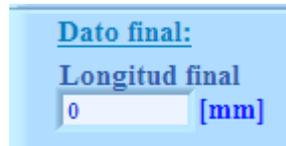


Figura 5.13: Representación gráfica del módulo de enceramiento de los sensores al inicio del ensayo de tracción

8. Empezar el ensayo de tracción abriendo la válvula de carga.

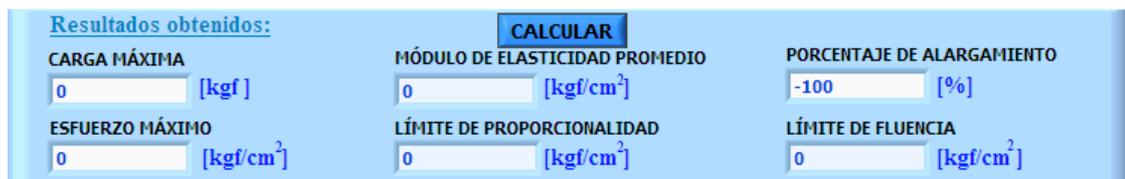
9. Cuando se haya terminado el ensayo, cerrar la válvula de carga y abrir la válvula de descarga, ingresar la longitud final de la probeta en el módulo de **Dato final**. (Ver fig. 5.14)



Dato final:
Longitud final
0 [mm]

Figura 5.14: Representación gráfica del módulo de dato final para el ingreso de la longitud final de la probeta del ensayo de tracción

10. Del diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria, se determina los resultados obtenidos del módulo de **Resultados obtenidos**. Clic en **CALCULAR**. (ver fig. 5.15)



Resultados obtenidos:			CALCULAR		
CARGA MÁXIMA	MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO	PORCENTAJE DE ALARGAMIENTO			
0 [kgf]	0 [kgf/cm ²]	-100 [%]			
ESFUERZO MÁXIMO	LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD	LÍMITE DE FLUENCIA			
0 [kgf/cm ²]	0 [kgf/cm ²]	0 [kgf/cm ²]			

Figura 5.15: Representación gráfica del módulo de resultados obtenidos del ensayo de tracción

11. Al obtener los resultados del ensayo, guarde el ensayo, dando clic en **GUARDAR ENSAYO**. (ver fig. 5.16).



GUARDAR ENSAYO

Figura 5.16: Representación gráfica del pulsador que sirve para guardar el ensayo de tracción

12. Ingresar los datos requeridos en la hoja de reporte 1. (Ver fig. 5.17). Los mismos que se cargan automáticamente en la hoja de reporte 2. (Ver fig. 5.18)



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN

Ingrese los datos requeridos en los espacios en blanco

MATERIAL

TIPO DE MATERIAL:

SOLICITADO POR:

FECHA DE ENSAYO:

11/09/2010

CÓDIGO:

RESULTADOS DEL ENSAYO:

MUESTRA N°:	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:	
CARACTERÍSTICA:	
DIÁMETRO [cm]	1,2
SECCIÓN TRANSVERSAL [cm ²]:	1,13097
CARGA MÁXIMA [kgf]:	0
ESFUERZO MÁXIMO [kgf/cm ²]:	0
LIMITE PROPORCIONALIDAD [kgf/cm ²]:	0
MÓDULO DE ELASTICIDAD [kgf/cm ²]:	0
PORCENTAJE DE ALARGAMIENTO [%]:	-100
TIPO DE FALLA:	

Valores tomados de los resultados obtenidos del ensayo

OBSERVACIONES:

Revisado y Aprobado por:

Ing. Anibal Vidan B. M. Sc.

PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

De clic aquí para cerrar esta ventana y pasar al reporte 2.

Figura 5.17: Representación gráfica de la hoja de reporte 1 del ensayo de tracción



ESPOCH

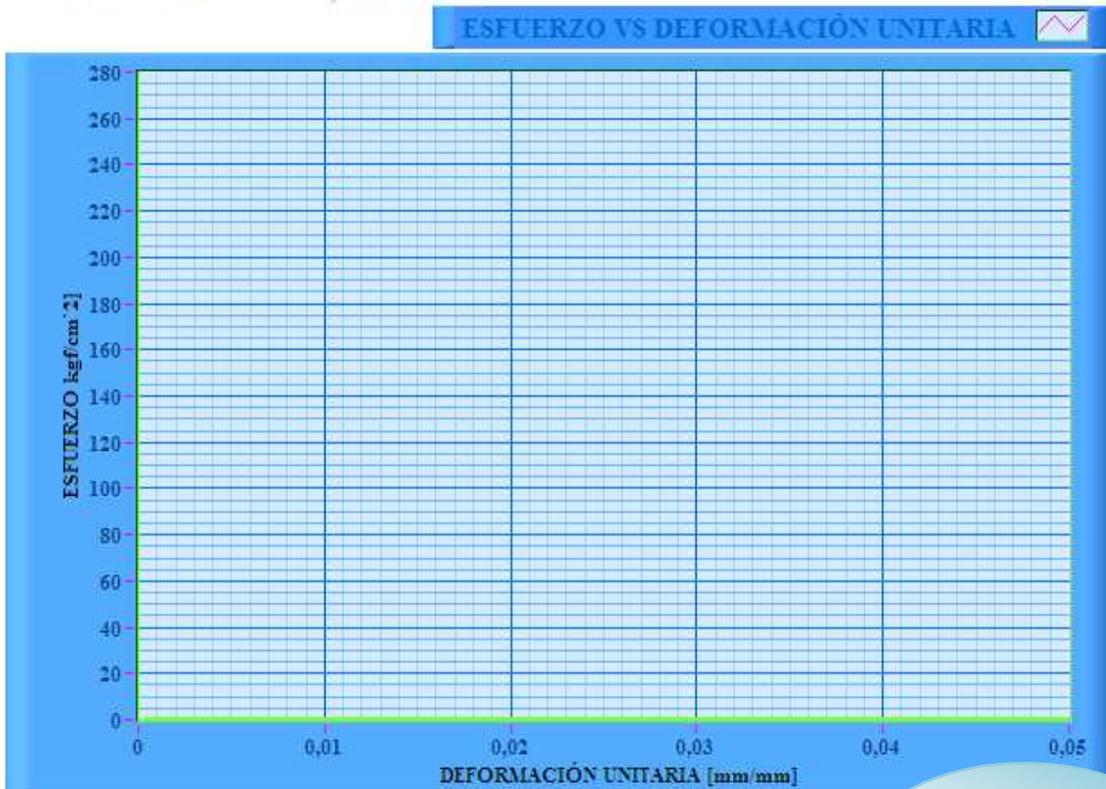
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN UNITARIA

MUESTRA N°: _____
TIPO DE MATERIAL: _____
DESIGNACION DEL MATERIAL: _____
SOLICITADO POR: _____
FECHA DE ENSAYO: 06/08/2010

Valores tomados del **reporte 1**



Aprobado por:

Ing. Aníbal Viñan B. M. Sc.

PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO
DE RESISTENCIA DE MATERIALES

De clic aquí para cerrar esta ventana luego de haber impreso los reportes

Figura 5.18: Representación gráfica de la hoja de reporte 2 del ensayo de tracción

13. Luego de llenar cada reporte, imprimirlos uno por uno. A continuación se muestra la impresión del reporte 2, es el mismo procedimiento para el reporte 1. De la barra de menús, abrir **FILE** y elegir **PRINT**. (Ver fig. 5.19)

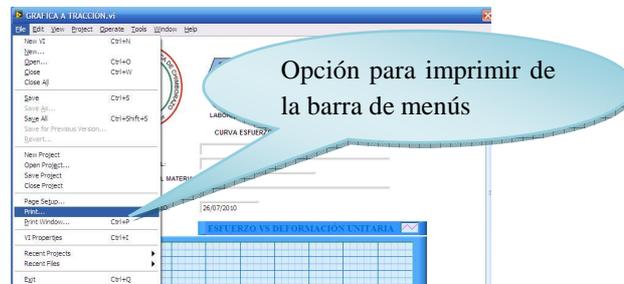


Figura 5.19: Ventana que indica la opción imprimir el reporte

14. Elegir la primera opción mostrada, clic en **NEXT**. (Ver fig. 5.20.)

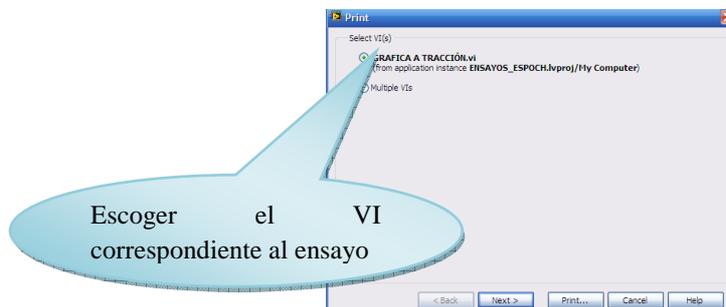


Figura 5.20: Ventana que indica la selección del VI a imprimir

15. Elegir la opción **Complete front panel**, clic en **NEXT**. (Ver fig. 5.21)

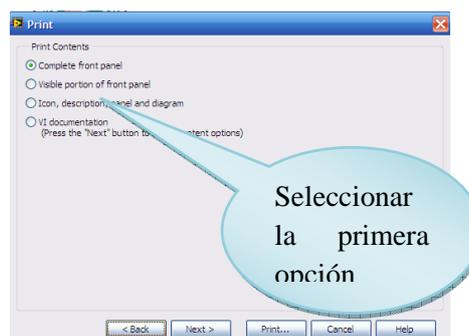


Figura 5.21: Ventana que indica que se va imprimir todo el VI

16. Elegir **Rich Text Format (RTF)** file, clic en **Next**. (Ver fig. 5.22)

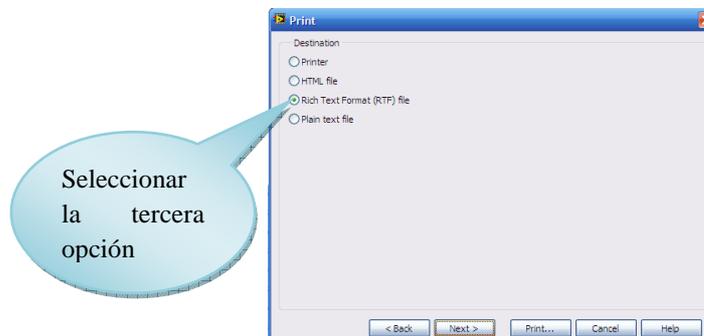


Figura 5.22: Ventana que indica que se va imprimir en archivo RTF

17. Seleccionar en el inbox **True Color (24 bit)**. Clic en **Save**. (Ver fig. 5.23)

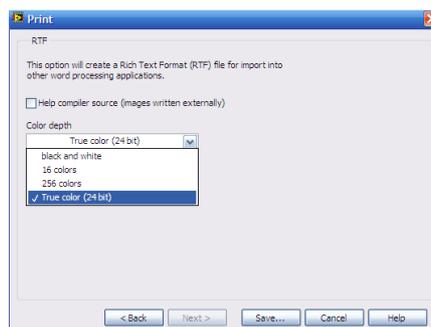


Figura 5.23: Ventana de selección True Color (24 bit)

18. A continuación se debe guardar con nombre al reporte y su destino en el ordenador. Y finalmente clic en **OK**. (Ver fig. 5.24)

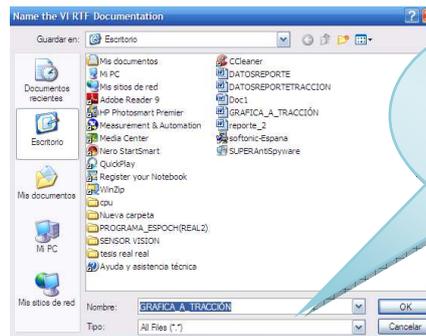


Figura 5.24: Ventana sobre la ubicación del reporte del ensayo guardado

19. En el ENSAYO DE TRACCIÓN, se tiene dos tipos de sección de la probeta la **CIRCULAR Y LAMINAR** (ver fig. 5.25). Para la probeta CIRCULAR se habló anteriormente y para la probeta LAMINAR se realiza el mismo procedimiento desde el **ítem 5** del manual de usuario del ensayo de tracción.



Figura 5.25: Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta laminar del ensayo de tracción

20. Clic en **FINALIZAR ENSAYO**, ubicado la parte inferior derecha de la pantalla, luego de haber enviado a imprimir el ensayo. (Ver fig. 5.26)



Figura 5.26: Representación gráfica del pulsador que finaliza el ensayo de tracción

5.1.3. Manual de usuario para el ensayo de compresión

1. Luego de haber cargado la constante, descrito en la sección **5.1.1**, en el software se activa el paso 2 y seleccione **ENSAYO DE COMPRESIÓN**. (Ver fig. 5.27)

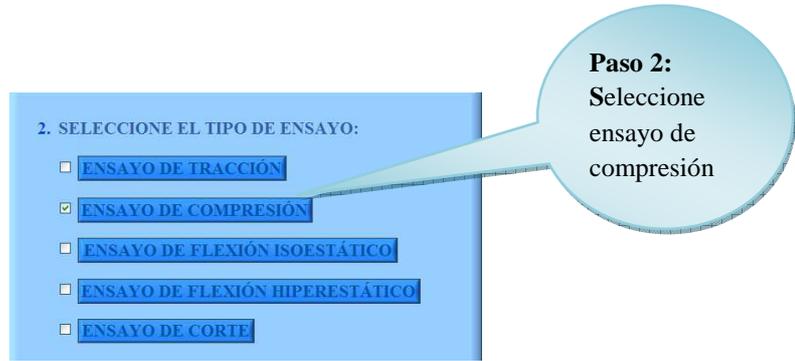


Figura 5.27: Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayo de compresión

2. Seleccione el tipo de sección de la probeta. Clic sobre la figura. Por ejemplo **CIRCULAR**. (Ver fig. 5.28)

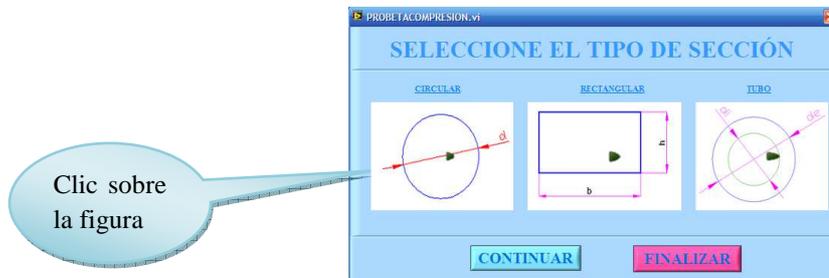


Figura 5.28: Representación gráfica de la ventana de selección del tipo de sección de probetas del ensayo de compresión

3. Si se seleccionó la sección circular ingresar los parámetros iniciales requeridos que son el diámetro (d) y la longitud inicial (l_0) ya sea manualmente o dando clic en el inbox. Clic en **SIGUIENTE**. (Ver fig. 5.29)



Figura 5.29: Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de compresión

- Se debe ingresar los valores antes mencionados mayores a cero caso dar clic en **MODIFICAR** e ingresar nuevamente los valores de los parámetros iniciales. (Ver fig. 5.30)

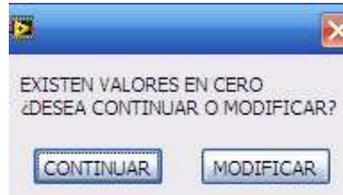


Figura 5.30: Representación gráfica de la ventana de aviso cuando se ingresa un valor de cero en los datos de ingreso del ensayo de compresión

- Se regresa a la ventana **PROBETACOMPRESIÓN** y dar clic en **CONTINUAR**.
- Luego de hacer clic en **CONTINUAR**, se muestra la ventana **ENSAYO DE COMPRESIÓN** (Ver fig. 5.31)

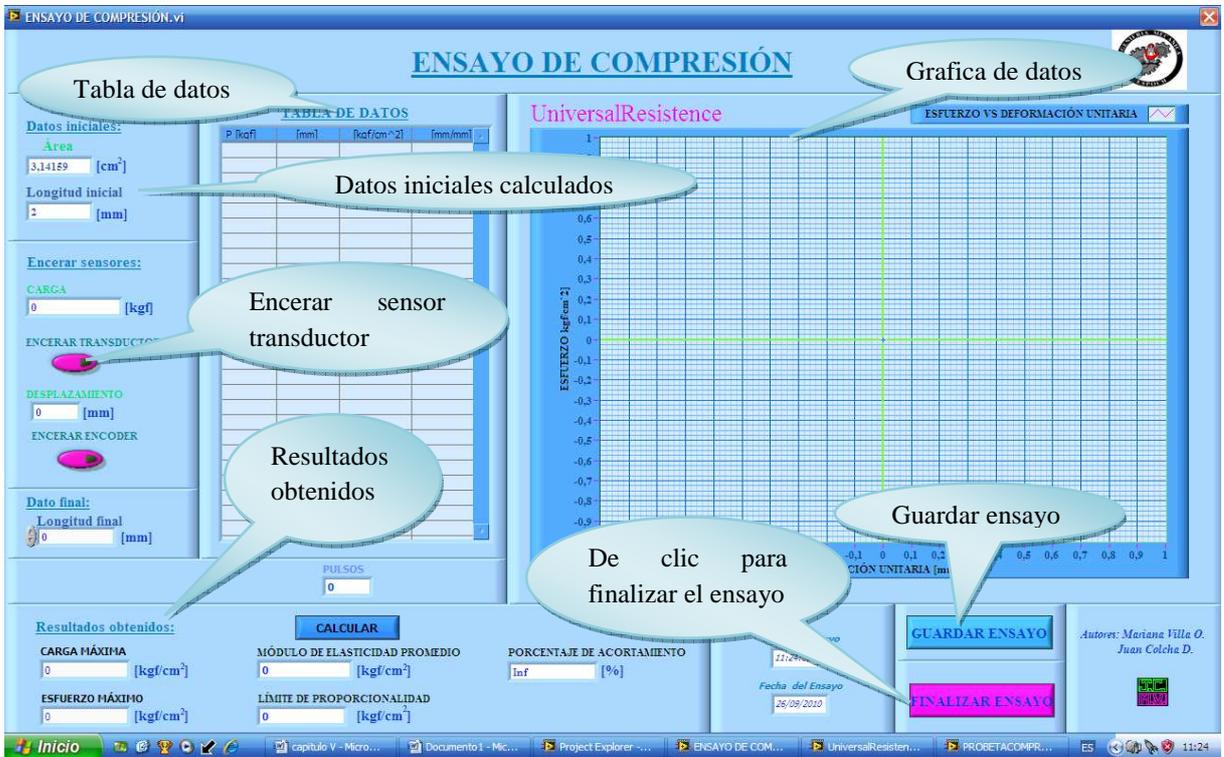


Figura 5.31: Representación gráfica de la ventana **ENSAYO DE COMPRESIÓN**

7. Luego de mostrarse la curva Esfuerzo vs. Deformación Unitaria, seguir el mismo procedimiento desde el **paso 7** manual de usuario para el ensayo de tracción. En la fig. 5.32 se muestra el reporte 1 para el ensayo de compresión.



ESPOCH
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE MECÁNICA
 LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN

MATERIAL: _____ CÓDIGO: _____
 TIPO DE MATERIAL: _____
 SOLICITADO POR: _____
 FECHA DE ENSAYO: 20/09/2010

RESULTADOS DEL ENSAYO:

MUESTRA N°:	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:	
CARACTERÍSTICA:	
SECCIÓN TRANSVERSAL [cm ²]:	0
CARGA MÁXIMA [kgf]:	0
ESFUERZO MÁXIMO [kgf/cm ²]:	0
LÍMITE PROPORCIONALIDAD [kgf/cm ²]:	0
MÓDULO DE ELASTICIDAD [kgf/cm ²]:	0
PORCENTAJE DE ACORTAMIENTO [%]:	0
TIPO DE FALLA:	

OBSERVACIONES: _____

Revisado y Aprobado por: _____

Ing. Aníbal Viñan B. M.Sc.
 PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO
 DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Figura 5.32: Representación gráfica de la hoja de reporte 1 del ensayo de compresión

8. Para seleccionar otros tipos de sección como la **RECTANGULAR** y **TUBO**, seguir el mismo procedimiento desde el **ítem 2** de manual de usuario del ensayo de compresión.

5.1.4. Manual de usuario para el ensayo de flexión isoestático

1. Luego de cargar l constante, descrito en la sección 5.1.1. en el software se activa el paso 2 y seleccione **ENSAYO DE FLEXIÓN ISOESTÁTICO**. (Ver fig. 5.33)

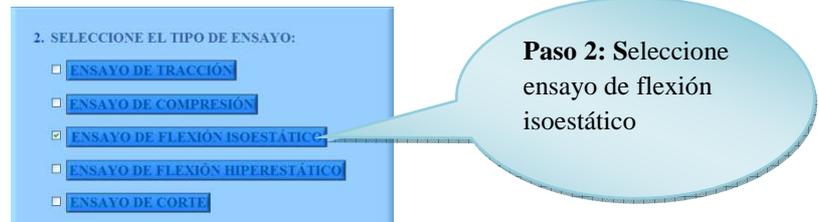


Figura 5.33: Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayo de flexión isoestático

2. Seleccione el tipo de sección de la probeta. Clic sobre la figura. Por ejemplo **CIRCULAR**. (Ver fig. 5.34)



Figura 5.34: Representación gráfica de la ventana de selección del tipo de sección de probetas del ensayo de flexión isoestático

3. Si se seleccionó la sección circular ingresar los parámetros iniciales requeridos que son el diámetro (d) y la longitud (L) ya sea manualmente o dando clic en el inbox. Clic en **SIGUIENTE**. (Ver fig. 5.35)

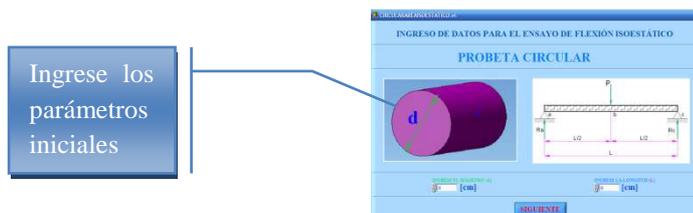


Figura 5.35: Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de flexión isoestático

- Se debe ingresar los valores antes mencionados mayores a cero caso dar clic en **MODIFICAR** e ingresar nuevamente los valores de los parámetros iniciales. (Ver fig. 5.36)

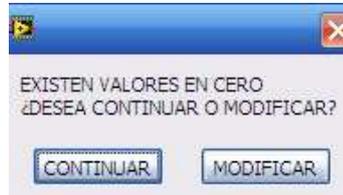


Figura 5.36: Representación gráfica de la ventana de aviso cuando se ingresa un valor de cero en los datos de ingreso del ensayo de flexión isoestático

- Se regresa a la ventana **PROBETA FLEXIÓN ISOESTÁTICO** y dar clic en **CONTINUAR**.

- Luego de dar clic en **CONTINUAR**, se muestra la ventana **ENSAYO DE FLEXIÓN ISOESTÁTICO**. (Ver fig. 5.37)

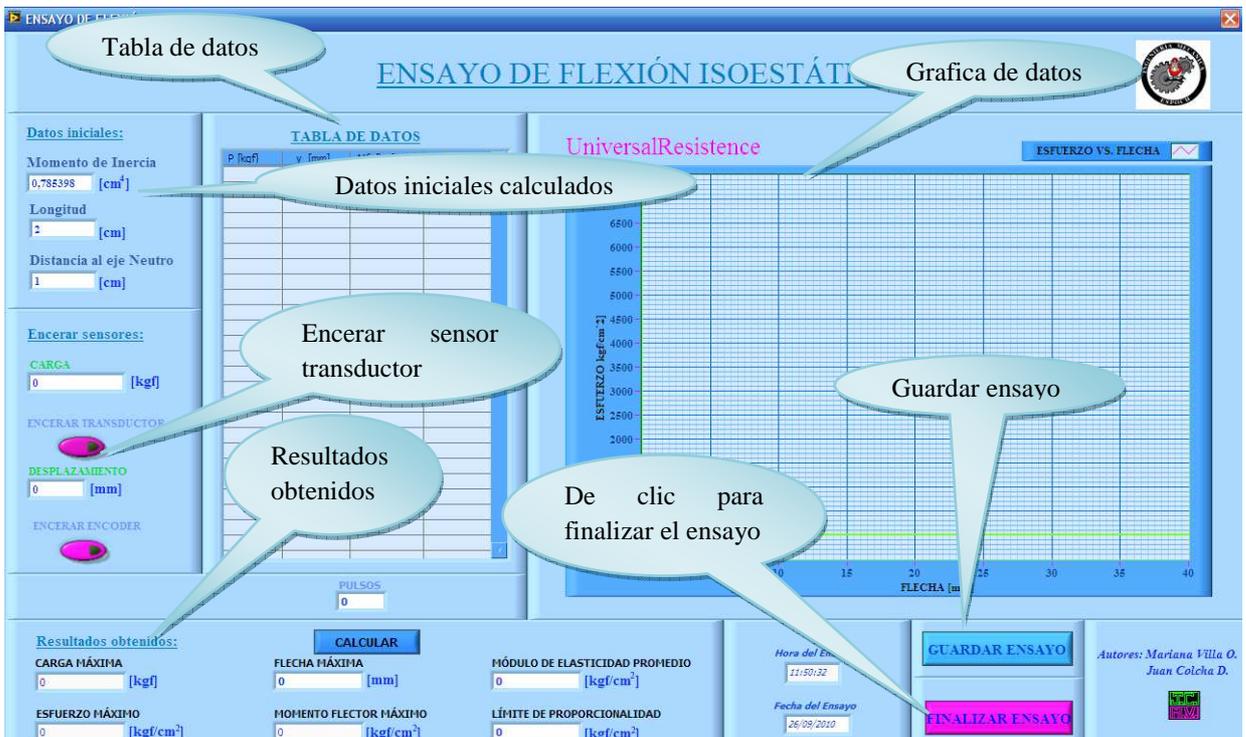


Figura 5.37: Representación gráfica de la ventana del ENSAYO DE FLEXIÓN ISOESTÁTICO

9. Seguir el mismo procedimiento desde el ítem 7 del manual de usuario para el ensayo de tracción. Se muestra el reporte 1 para el ensayo de flexión isoestático e hiperestático. (Ver fig. 5.38)



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN ISOESTÁTICO

MATERIAL: _____ CÓDIGO: _____

TIPO DE MATERIAL: _____

SOLICITADO POR: _____

FECHA DE ENSAYO: 20/09/2010

RESULTADOS DEL ENSAYO:

MUESTRA N°:	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:	
CARACTERÍSTICA:	
MOMENTO DE INERCIA [cm ⁴]:	0
CARGA MÁXIMA [kgf]:	0
ESFUERZO MÁXIMO [kgf/cm ²]:	0
LÍMITE PROPORCIONALIDAD [kgf/cm ²]:	0
MÓDULO DE ELASTICIDAD [kgf/cm ²]:	0
MOMENTO FLECTOR MÁXIMO [kgf·cm]:	0
TIPO DE FALLA:	

OBSERVACIONES:

Revisado y Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M. Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Figura 5.38: Representación gráfica de la hoja de reporte 1 del ensayo de flexión isoestático.

7. Para seleccionar otros tipos de sección como **TUBO**, **RECTANGULAR** y **RECTANGULAR HUECO**, seguir el mismo procedimiento desde el **ítem 2** de manual de usuario del ensayo de flexión isoestático.

5.1.5. Manual de usuario para el ensayo de flexión hiperestático

1. Luego de cargar la constante, descrito en la sección **5.1.1.** en el software se activa el paso 2 y seleccione **ENSAYO DE FLEXIÓN HIPERESTÁTICO**. (Ver fig. 5.39)



Figura 5.39: Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayo de flexión hiperestático

2. Para realizar el ensayo de flexión hiperestático se realiza el mismo procedimiento del manual de usuario del ensayo de flexión isoestático a excepción del **ítem 3**, en el que se debe ingresar en lugar de la longitud (L) las distancia “a” y “b”. (Ver fig. 5.40)

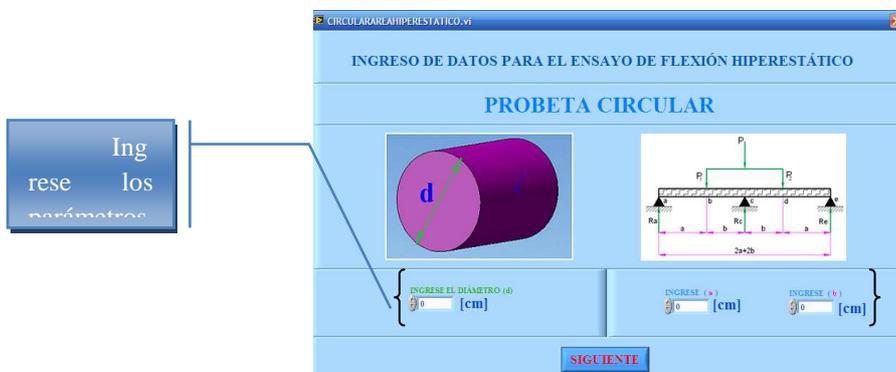


Figura 5.40: Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de flexión hiperestático

5.1.6. Manual de usuario para el ensayo de corte

1. Cargado la constante, descrito en la sección 5.1.1., en el software se activa el paso 2 y seleccione **ENSAYO DE CORTE**. (Ver fig. 5.41)



Figura 5.41: Representación gráfica de la ventana de la selección de ensayo de corte

2. Seleccione la sección circular dando clic sobre la figura. (Ver fig 5.42)

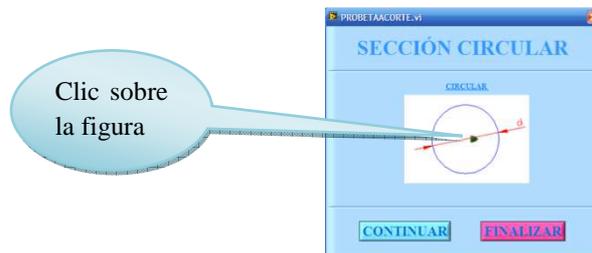


Figura 5.42: Representación gráfica de la ventana de la sección circular del ensayo de corte

3. Ingresar el parámetros inicial requeridos que es el diámetro (d) ya sea manualmente o dando clic en el inbox. Clic en **SIGUIENTE**. (Ver fig. 5.43)

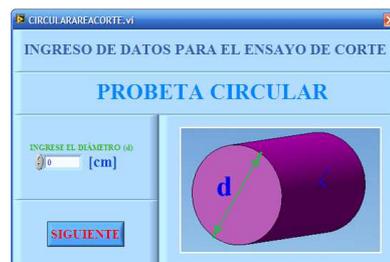


Figura 5.43: Representación gráfica de la ventana de ingreso de datos de la probeta circular del ensayo de corte

- Se debe ingresar el valor antes mencionado mayor a cero, caso contrario dar clic en **MODIFICAR** e ingresar el diámetro nuevamente. (Ver fig. 5.44)

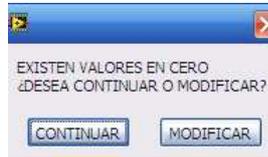


Figura 5.44: Representación gráfica de la ventana de aviso cuando se ingresa un valor de cero en los datos de ingreso del ensayo de flexión isoestático

- Se regresa a la ventana **PROBETAACORTE** y dar clic en **CONTINUAR**.
- Luego de dar clic en **CONTINUAR**, se muestra la ventana **ENSAYO DE CORTE**. Dar clic en **ENCERAR TRANSDUCTOR** y **ENCERAR**
- Una vez terminado el ensayo, dar clic en el comando **CALCULAR** para obtener los resultados de la carga máxima y el esfuerzo de corte. (ver fig. 5.45)

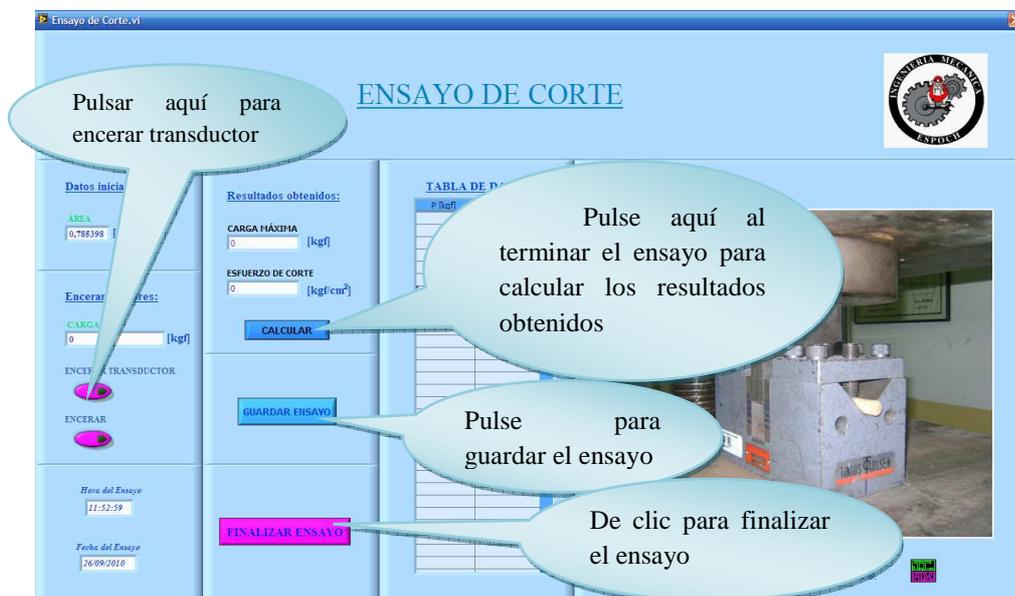


Figura 5.45: Representación gráfica de la ventana del ENSAYO DE CORTE

8. Luego seguir el mismo procedimiento desde el ítem 11 del manual de usuario para el ensayo de tracción. En la fig. 5.46, se muestra el reporte para el ensayo de corte.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE

MATERIAL

CÓDIGO:

TIPO DE MATERIAL:

SOLICITADO POR:

FECHA DE ENSAYO:

20/09/2010

RESULTADOS DEL ENSAYO:

MUESTRA N°:	
DESIGNACION DEL MATERIAL:	
CARACTERISTICA:	
SECCIÓN TRANSVERSAL [cm ²]:	0
CARGA MÁXIMA [kgf]:	0
ESFUERZO MÁXIMO [kgf]:	0

OBSERVACIONES:

Revisado y Aprobado por:

Ing. Aníbal Viñan B. M.Sc.

PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO
DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Figura 5.46: Representación gráfica de la hoja de reporte 1 del ensayo de corte

5.1.7. Manual para la calibración de la fuerza en el software

La calibración de la fuerza en el software se debe realizar únicamente cuando la Máquina Universal sea calibrada. Por lo tanto:

1. Clic izquierdo sobre el botón del módulo **“CALIBRACIÓN DE LA FUERZA”** de la pantalla inicial del software UniversalResistance.mj. (Ver fig. 5.47)

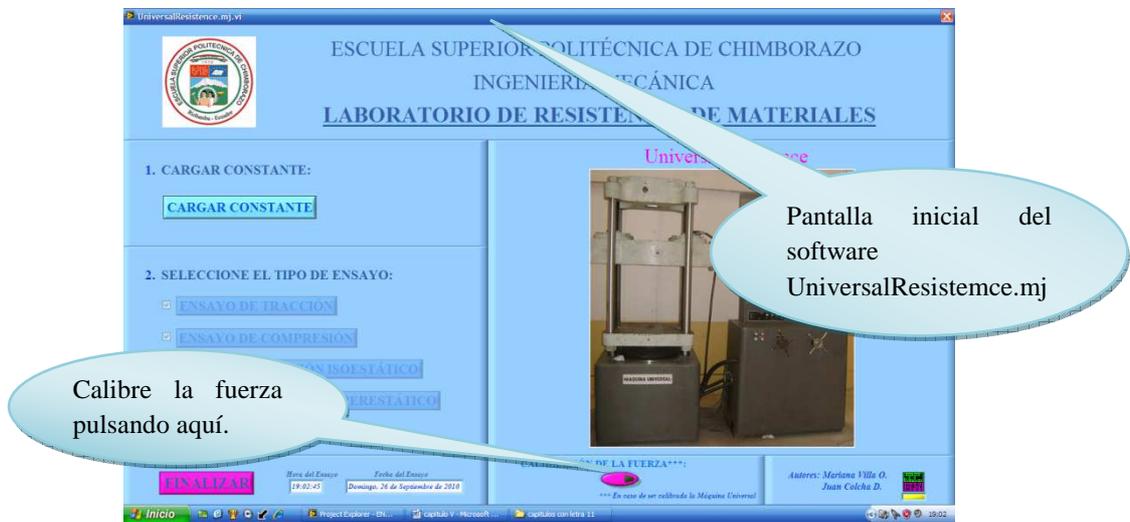


Figura 5.47: Representación gráfica de la ventana de inicio del software UniversalResistance.mj.vi.

2. Se despliega la ventana **CLAVE2.vi**, ingrese la clave actual (este paso ocurre una sola vez si se realiza por primera ocasión la calibración). Clic en **CAMBIAR**. (Ver fig 5.48)

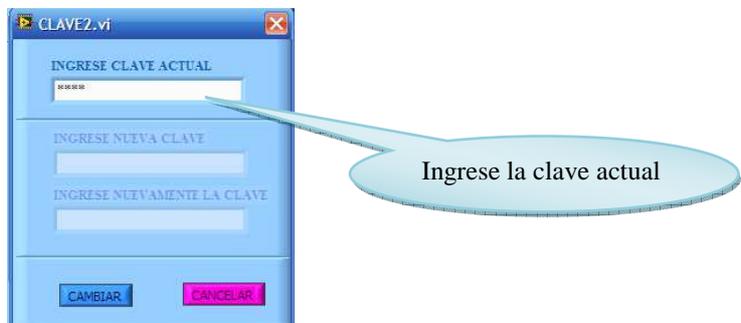


Figura 5.48: Representación gráfica de la ventana CLAVE2.vi del software UniversalResistance.mj.vi para el ingreso de la clave actual

- Se despliega la ventana **CLAVE.vi**, ingrese la clave que ingresó en el paso anterior. (Ver fig 5.48). Clic en **INGRESAR**. (Ver fig 5.49)



Figura 5.49: Representación gráfica de la ventana CLAVE.vi del software UniversalResistance.mj.vi para el ingreso de la clave

- Se despliega la ventana **TRANSDUCTOR.vi**. Clic sobre el botón **ENCERAR FUERZA** (ver fig 5.50). Empezar a calibrar la fuerza con el valor cargado de la **CONSTANTE PARA CALIBRAR**.



Figura 5.50: Representación gráfica de la ventana TRANSDUCTOR.vi del software UniversalResistance.mj.vi para el ingreso de la constante

- Abrir la válvula de carga.
- Aplicar carga en una probeta tubular de acero (instrumental del laboratorio).
- Obtener valores de fuerza (del dispositivo de comparación, por ejemplo dial analógico de la Máquina Universal) y comparar con el valor de la fuerza mostrado en la en el software manteniendo pulsado el botón **VALORES DE FUERZA**. (Ver fig. 5.51)

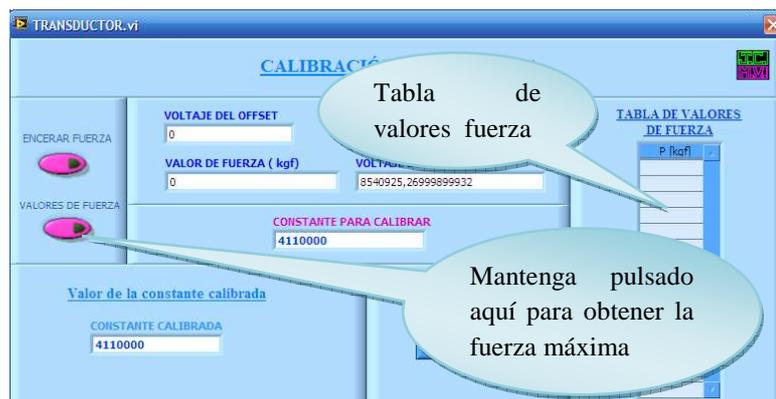


Figura 5.51: Representación gráfica de la ventana TRANSDUCTOR.vi del software UniversalResistance.mj.vi para comparar la fuerza a calibrar

8. Sin pasarse del valor patrón (por ejemplo “200 kgf” de dispositivo de comparación) dejar de pulsar el botón **VALORES DE FUERZA**, y comparar este valor con el dado en la tabla de valores de fuerza. (Ver fig. 5.51)
9. Si el caso lo amerita modificar la **CONTANTE PARA CALIBRAR**, hasta encontrar un valor aproximado (error máximo $\pm\%1$) con el valor patrón y del software.
10. Determinado el valor de la constante, copiar este valor en el módulo de **Valor de la constante calibrada**. (Ver fig. 5.52)



Figura 5.52: Representación gráfica de la ventana TRANSDUCTOR.vi del software UniversalResistance.mj.vi para la selección de la constante calculada

11. Dar clic en salir.

5.2. Manual de mantenimiento de la implementación del sistema informático-electrónico

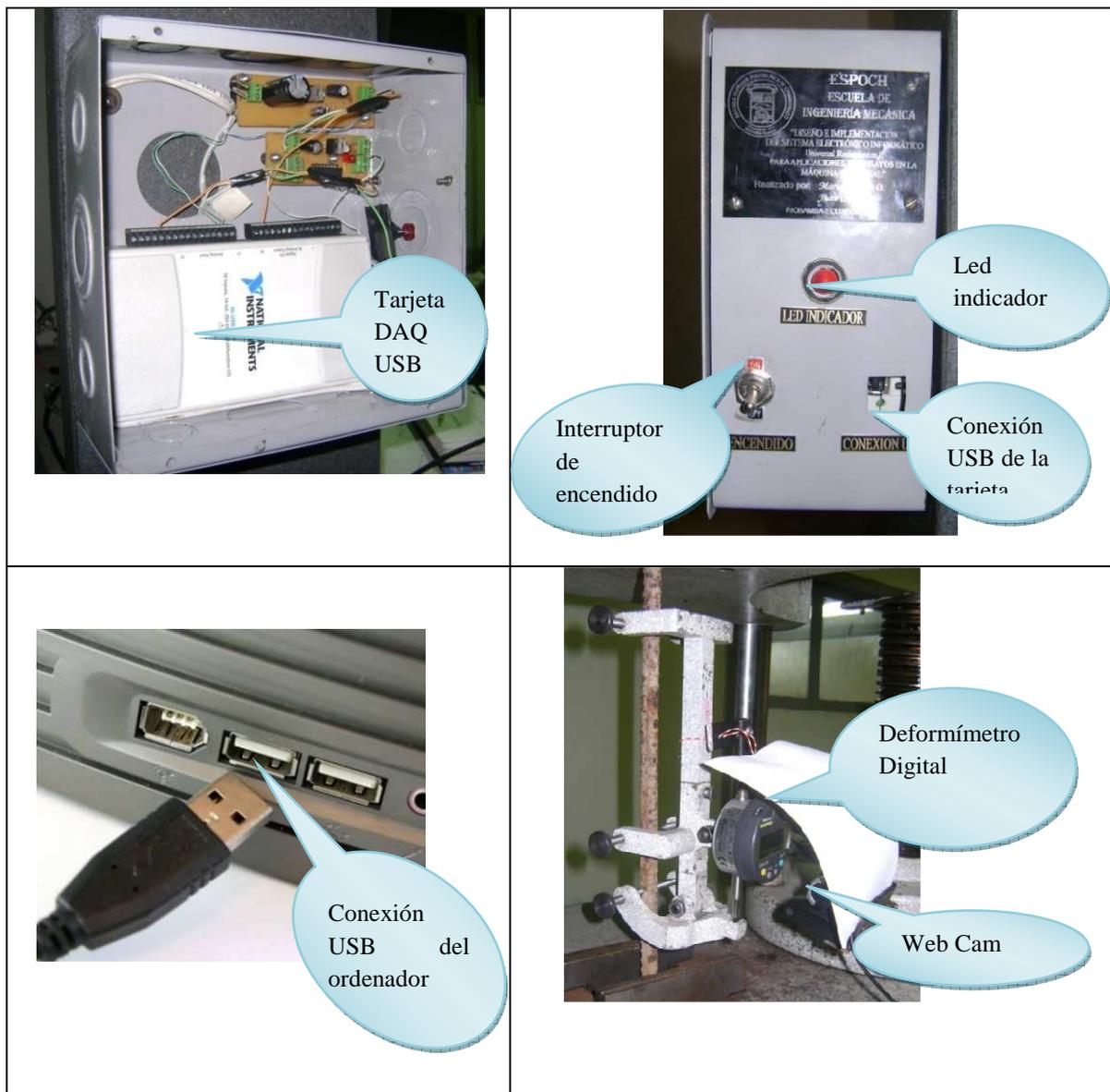
El mantenimiento necesario para el sistema informático-electrónico instalado no resulta ser muy riguroso, sin embargo se puede anotar ciertas recomendaciones para realizar un mantenimiento preventivo, de posibles problemas, causas y soluciones, son descritas a continuación:

- Verificar que la red de la conexión eléctrica sea una alimentación de 110 Vca.
- Asegurarse que el interruptor se encuentre en posición ON instalado en la caja metálica, comprobando que el led indicador se encuentre encendido.
- Se debe tener precaución de no derramar líquidos sobre la caja metálica, ya que contiene elementos electrónicos delicados.
- Verificar que el sócalo conector del transductor de presión esté conectado y no esté ningún cable suelto.
- Colocar el soporte de la webcam a un ángulo de 45° de depresión y una distancia de 5 cm entre el display del deformímetro y el lente de la webcam.
- Asegurar un valor mínimo de iluminación de 21 lux, para tener una mejor apreciación de la lectura de deformación y no se tenga ninguna fuente de sombra.
- Asegurar que el hilo de nylon que mueve el eje del encoder tenga una fuerza dinamométrica de 5 lbf.
- Cambiar los rodamientos FAG 627 de las poleas del encoder cada 17520 horas de servicio aproximadamente.
- Verificar que la conexión de los sensores a la tarjeta DAQ 6211 esté correcta caso contrario no existirá señal de salida de la misma.
- Verificar que el cable de conexión USB de la tarjeta DAQ 6211 esté conectado correctamente tanto de la salida de la misma como a la entrada del puerto USB del ordenador, comprobar el led de la tarjeta se encuentre encendido y parpadeando, caso contrario no existirá la comunicación y la transmisión de datos.

- En el funcionamiento del software especialmente en el ensayo de tracción calibrar correctamente los dígitos del display del deformímetro enviados por la webcam.
- Se recomienda antes de ejecutar el programa UniversalResistance.mj. conectar por lo menos 15 minutos antes la tarjeta NI USB 6211 al ordenador.
- Se recomienda calibrar la tarjeta NI USB 6211 cada año.

En la tabla 5.1 se muestra un diagrama de ubicación del sistema de adquisición de datos.

Tabla 5.1: DIAGRAMA DE UBICACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS



CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE COSTOS

6.1. Costos Directos

Dentro de los costos directos se ha considerado todos los costos que afectan al proyecto como son:

- Costos de materiales
- Costos de máquina-herramientas
- Costos de mano de obra
- Costos por transporte

6.1.1. Costos de materiales

Los costos de los materiales para la implementación del sistema de adquisición de datos se detallan a continuación.

Tabla 6.1: COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DEL TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
1	Tee de diámetro 7/16"	2,5	2,5
3	Acople de 7/16"	2	6
1	Teflón	0,5	0,5
2	Cable TPL	1,5	3
SUBTOTAL			12

Tabla 6.2: COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DEL ENCODER VEX
OPTICAL SHAFT

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
1	Encoder Vex Optical Shaft	22,39	22,39
5	Rodamientos FAG 627	3	15
1	Plancha de Tool (50x30) cm	5	5
4	Poleas de acero (30x5) mm	7	28
1	Polea de acero (13,6x5) mm con eje cuadrado de (3x3.5)mm	10	10
8	Pernos de acero(5/16 x 1) plg con tuerca y arandela de presión	0,9	7,2
1	Eje de acero con aditamento cuadrado de agujero (1x22) cm	20	20
2	Pernos de acero (1/4 x 2 1/2) plg con tuerca y arandela de presión	1	2
1	Resorte de tracción de (3/16x1/2)in	1	1
5	Hilo nylon	0,1	0,5
6	Cable TPL	1,5	9
2	Molex	0,5	1
SUBTOTAL			121,09

Tabla 6.3: COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DE LA WEBCAM EYE 312

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
1	Webcam Eye 312	15	15
1	Soporte para la webcam	20	20
2	Perno (1/4x3/4) plg con mariposa y arandela de presión	0,5	1
1	Perno (1/4x1) plg con tuerca y arandela de presión	0,35	0,35
SUBTOTAL			36,35

Tabla 6.4: COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
1	Tarjeta DAQ 6211	1200	1200
1	Adaptador EVE 1000 (1000 mA, 9V)	6,5	6,5
1	Interruptor ON/OFF	1,1	1,1
1	Cajetín metálico cuadrado (20x20x9) cm	5,65	5,65
1	Circuito eléctrico de regulación voltaje (12V-10V)	30	30
1	Circuito eléctrico de regulación voltaje (9V-5V)	11,5	11,5
4	Perno (1/4x3/4) plg con tuerca y arandela de presión	0,35	1,4
SUBTOTAL			1256,15

Tabla 6.5: RESUMEN DE COSTO TOTAL DE MATERIALES

Denominación	Valor (USD)
Instalación del transductor	12
Instalación de la webcam	36,35
Instalación del encoder	12,09
Instalación del sistemas de adquisición de datos	1256,15
COSTO TOTAL DE MATERIALES	1425,59

6.1.2. Costos de máquinas y herramientas

Tabla 6.6: COSTO TOTAL DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS

Máquinas y Herramientas	Horas-Equipo (h)	Costo/Hora (USD)	Valor total (USD)
Taladro de pedestal	6	10	60
Taladro de mano	8	5	40
Soldadora Eléctrica	4	10	40
Torno	3	15	45
COSTO TOTAL DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS			185

6.1.3. Costos de mano de obra

Tabla 6.7: COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA

Operario	Trabajo a realizar	Horas-Hombre	Salario Real/Hora (USD)	Valor total (USD)
Ayudante de fierro	Taladrado de 4 agujeros con rosca en la Máquina Universal	5	3,5	17,5
Ayudante de fierro	Taladrado de 7 agujeros en el Tool	1	3,5	3,5
Ayudante de fierro	Taladrado de 5 agujeros en la Máquina Universal	3	3,5	10,5
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA				31,5

6.1.4. Costos por transporte

Tabla 6.8: COSTO TOTAL DE TRANSPORTE

Denominación	Valor (USD)
Movilización de los materiales	40
Costo total de transporte	40

6.2. Costos indirectos

Son aquellos costos que no pueden asignarse con precisión, dentro de los costos indirectos tenemos:

- Costos de ingeniería

Tabla 6.9: COSTO TOTAL DE INGENIERÍA

Denominación	Valor (USD)
Capacitación	150
Criterio de ingeniería	600
COSTO TOTAL DE INGENIERÍA	750

6.3. Costo total de la implementación del sistema electrónico-informático

El costo total de la implementación del sistema electrónico-informático está dado por la suma de todos los costos especificados anteriormente, como se muestra en la Tabla 6.9.

Tabla 6.10: RESUMEN DE COSTOS TOTALES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Costo	Valor (USD)
Materiales	1425,59
Máquinas y herramientas	185
Mano de obra	31,5
Transporte	40
Indirectos	750
COSTO TOTAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA	2432,09

El costo total de la implementación del sistema electrónico-informático es de \$ 2432,09 (Dos mil cuatrocientos treinta y dos dólares americanos con 9 centavos).

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se estudió la señal analógica enviada por el transductor de presión de membrana instalado en la Máquina Universal.
- Se analizó el acondicionamiento de señal debido a que la mayoría de los sensores generan señales que se deben acondicionar antes de que un dispositivo DAQ pueda adquirir con precisión la señal. Este procesamiento incluye funciones como amplificación, filtrado, aislamiento eléctrico que adaptan la señal proveniente del transductor a la entrada del convertidor analógico digital.
- Se seleccionó y se instaló el transductor de presión de membrana PRESSURE TRANSDUCER BHL ELECTRONICS con un rango de 0 a 1 500 psi, instalado en su interior un puente de Wheastone que se alimenta con 10 Vcc.
- Se seleccionó y se instaló el encoder VEX OPTICAL ENCODER con número infinito de revoluciones y salida digital que se alimenta con 5 Vcc. Para medir el desplazamiento del pistón hidráulico de la Máquina Universal y obtener toda la curva esfuerzo vs. deformación.
- Se seleccionó y se instaló la webcam Eye 312 con conexión USB, para medir la deformación de la probeta al ser sometida a esfuerzo de tracción.
- Se seleccionó la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6211, circuito electrónico que permita transformar las señales analógicas a digitales.
- Se procesaron los datos o a las señales enviadas por la DAQ USB 6211 mediante el puerto USB 2.0 del ordenador.
- Se diseñó y se construyó el software electrónico-informático UniversalResistance.mj. para la visualización de los resultados en un ordenador mejorando la sensibilidad de 2 kgf a 1,52 kgf.

- Se implementó el sistema electrónico-informático UniversalResistance.mj. para la adquisición de datos reales para aplicaciones de ensayos realizados en la Máquina Universal.
- Se calibró primeramente la Máquina Universal para calibrar el software instalado.
- Se comparó los ensayos de tracción, compresión, flexión y corte con probetas normalizadas de forma manual con el sistema electrónico-informático UniversalResistance.mj teniendo un error bajo 0,9%.
- Se elaboró un manual de usuario para el correcto funcionamiento del software.

7.2. Recomendaciones

- Para calibrar el software UniversalResistance.mj. se recomienda que se lo haga siempre y cuando haya sido calibrada la Máquina Universal.
- Para determinar el coeficiente de Poisson se puede utilizar el mismo programa que se utilizó para determinar la deformación mediante la webcam.
- La mecánica, la electrónica y la informática se encuentran estrechamente vinculados por lo que se recomienda que en la escuela de ingeniería mecánica exista profesionales que puedan guiar y asesorar en estos tipos de trabajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TINIUS OLSEN TESTING MACHINE CO. Instruction Manual. EE.UU: Willow Grove, Penna. 1990. pp. 9, 10, 14, 15, 16.
- [2] STIOPIN, P.A. Resistencia de Materiales. México: Mir. pp. 66.
- [3] NTE INEN 109. Norma Técnica Ecuatoriana. Ecuador: Quito. 2009. pp. 15-20.
- [4] DAVIS, H. Ensaye e Inspección de los Materiales de Ingeniería. 4ta.ed. México: Continental S.A., pp. 184-195.
- [5] Referencia [4], pp. 216- 227.
- [6] Referencia [5], pp. 199-210.
- [7] Sensores y transductores. http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor#Caracter.C3.ADsticas_de_un_sensor (2009-05-01).
- [8] SIEMENSAG, A. Componentes Electrónicos. México, Mc Graw Hill. pp. 91-95.
- [9] TESIS ESPOCH. Rediseño del Sistema Electrónico para cambio de Señal Analógica a Digital del Equipo del Equipo de Pruebas Dinamométricas para Maquinaria Agrícola. Ecuador: Riobamba. 2008. pp. 23-25.
- [10] Transductores de presión de membrana. http://www2.uca.es/grupinvest/instrument_electro/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T17_Pressure.PDF (2009-05-22).
- [11] Sensor de deformación. <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>. (2009-06-01).
- [12] Reloj comparador analógico. <http://es.wikipedia.org/wiki/Metrolog%C3%ADa>. (2009-06-02).
- [13] Tipos de encoder. www.todopic.com.ar/foros/index.php?topic.../url. (2009-06-03).
- [14] Sistema numérico. www.gnu.org/copyleft/fdl.es.html. (2009-07-02).
- [15] TOCCI, R. Sistemas digitales. 4ta.ed. México: Hall Hispanoamericana. pp. 190-199.
- [16] Tipo de señales. <http://cnx.org/content/m12818/latest/>. (2009-07-04).

- [17] Sistema de adquisición de datos. www.asifunciona.com/electronica/af_conv_ad/conv_ad_4.htm. (2009-09-12).
- [18] Estructura de un sistema de adquisición de datos. www.angelfire.com/al3/PLL/index.html. (2009-09-16).
- [19] Acondicionamiento de Señales. www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/emulti.html. (2009-10-19).
- [20] Fuentes de alimentación. http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema4/Paginas/Pagina16.htm. (2010-04-12).

BIBLIOGRAFÍA

- DAVIS, H. Ensaye e Inspección de los Materiales de Ingeniería. 4ta. Ed. México: Continental S.A
- SIEMENSAG, A. Componentes Electrónicos. México: Mc Graw Hill.
- STIOPIN, P. Resistencia de Materiales. Mir.
- TESIS ESPOCH. Rediseño del Sistema Electrónico para cambio de Señal Analógica a Digital del Equipo del Equipo de Pruebas Dinamométricas para Maquinaria Agrícola. Ecuador: Riobamba. 2008.
- TOCCI, R. Sistemas digitales. 4ta.ed. México: Hall Hispanoamericana. pp.
- CARROBLES, M. Manual de Mecánica Industrial, Automatas y Robótica. 3era. ed. Madrid: Cultural SA. 2006.
- BOLTON, W. Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 2da.ed. México: Alfaomega. 2001.
- LAJARA, J. LABVIEW, Entorno Gráfica de Programación. México: Alfaomega. 2007.
- GRANTHAM, W. Sistemas de Control Moderno, Análisis y Diseño. México: Limusa. 1998.
- SOISSON, H. Instrumentación Industrial. México: Limusa. 2001.

LINKOGRAFÍA

Definición de esfuerzo y deformación

<http://es.wikipedia.org/wiki/Probeta>
(2009-01-25).

Diagrama de esfuerzos

<http://es.wikipedia.org/wiki/Probeta>
(2009-02-12).

Ensayo de tracción

<http://www.ensayodetraccion.8m.com/>
(2009-02-25).

Ensayo de compresión

<http://daniel.fime.uanl.mx/laboratorios/practica7,8.pdf>
(2009-03-15).

Ensayo de flexión

<http://ocw.usal.es>
(2009-04-18).

Ensayo de corte directo

<http://tq.educ.ar/grp0128/Ensayos/corte.htm>
(2009-04-24).

Sensores

http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor#Caracter.C3.ADsticas_de_un_sensor
(2009-05-01).

Transductor de Presión de Membrana

www2.uca.es
(2009-05-22).

Deformímetro

http://www.relojeria.org/tienda_relojes/

(2009-06-25).

Sistema Numérico

<http://www.upsam.com/175>

(2009-07-02).

Señal

<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.es.html>

(2009-08-15).

El Sistema de Adquisición de Datos

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1#Serial>

(2009-09-12).

Acondicionamiento de Señales

<http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/demulti.html>

(2009-10-19).

Conversión Analógico Digital

http://es.wikipedia.org/wiki/Conversi3n_anal3gica-digital

(2010-02-16).

Etapa de Salida

<http://andigabagaba.blogspot.com/2008/09/ventajas-y-desventajas-de-puertos.html>

(2010-03-25).

Fuentes de Alimentación

www.unicrom.com

(2010-04-12).