



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA PRÁCTICAS
DE EXTENSOMETRÍA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

CHRISTIAN SANTIAGO DOMÍNGUEZ ECHEVERRÍA

JAIRO IVÁN TIERRA CARRAZCO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA PRÁCTICAS
DE EXTENSOMETRÍA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: CHRISTIAN SANTIAGO DOMÍNGUEZ ECHEVERRÍA

JAIRO IVÁN TIERRA CARRAZCO

DIRECTOR: Ing. JAVIER ENRIQUE ORNA CHÁVEZ

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Christian Santiago Domínguez Echeverría; y Jairo Iván Tierra Carrasco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Christian Santiago Domínguez Echeverría; y Jairo Iván Tierra Carrazco, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 11 de enero de 2022



Christian Santiago Domínguez Echeverría
180401359-5



Jairo Iván Tierra Carrazco
060469774-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto técnico, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA PRÁCTICAS DE EXTENSOMETRÍA**” realizado por el señor **CHRISTIAN SANTIAGO DOMÍNGUEZ ECHEVERRÍA** y el señor **JAIRO IVÁN TIERRA CARRAZCO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. M.Sc. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-01-11
Ing. M.Sc. Javier Enrique Orna Chávez DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	_____	2022-01-11
Ing. M.Sc. Javier José Gavilanes Carrión MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022-01-11

DEDICATORIA

A mis padres Tatiana y Santiago quienes con su amor, paciencia y sacrificio me han permitido llegar a cumplir una de las metas más importantes para mi vida, en especial a mi madre por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, dedicación, trabajo, perseverancia y valentía, a mis hermanas Carolina y Ana, por su apoyo y amor incondicional. A toda mi familia en especial a mis abuelos Luis y Publia quienes me apoyaron a lo largo de la carrera, gracias por su confianza, cariño y dedicación que me ayudaron a crecer profesional y personalmente. Finalmente, a mí, por nunca rendirme a pesar de las dificultades que se presentaron en el camino.

Christian Santiago Domínguez Echeverría

A mis padres Carlos y Rosa quienes me apoyaron, guiaron y me educaron de una manera correcta y así llegar a cumplir una de las metas que siempre he soñado desde que entre a la universidad, en especial agradezco a mi madre por todo su amor y por todo el apoyo económico y moralmente que me brindo a lo largo de toda mi carrera como estudiante, y a todos mis hermanos que con su apoyo incondicional no me dejaron solo. A mi abuelita María Carmen por su apoyo y su amor, y a toda mi familia tíos, primos, les agradezco por todo su apoyo y darme ánimos, y por último a mi porque a pesar de todos los obstáculos que tuve nunca me di por rendido y así llegar hasta esta instancia.

Jairo Iván Tierra Carrazco

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme con salud, fuerza y empeño durante toda mi vida universitaria. A mis padres, abuelos, tíos y demás familiares que nunca dejaron de creer en mí. A todos quienes me apoyaron en momentos difíciles y me supieron guiar por un buen camino.

Al Ing. Javier Orna por ser un excelente docente y una guía excepcional para el desarrollo del presente trabajo.

A mis amigos por su respaldo, palabras de aliento y colaboración, siempre gracias.

Finalmente, a la ESPOCH, y a la Carrera de Ingeniería Mecánica por la oportunidad de formarme en su seno.

Christian Santiago Domínguez Echeverría

En primer lugar, agradezco a Dios por tenerme con salud y vida hasta estos momentos. A mis padres, hermanos, abuela y tíos por poner toda su confianza en mí y nunca dejaron de creer en mí durante toda mi carrera universitaria, les agradezco por sus consejos y ánimos que me ayudaron a no rendirme jamás.

Al Ing. Javier Orna por ser un excelente docente y una guía excepcional para el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, a la ESPOCH, y a la Carrera de Ingeniería Mecánica por la oportunidad de formarme en su seno.

Jairo Iván Tierra Carrazco

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xx
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Delimitación.....	3
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i>	3
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i>	3
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
CAPÍTULO II.....	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. Diseño mecánico.....	5
2.1.1. <i>Ley de Hooke</i>	5
2.1.1.1. <i>Esfuerzo</i>	6
2.1.1.2. <i>Deformación</i>	6
2.1.1.3. <i>Límite de fluencia</i>	6

2.1.1.4.	<i>Módulo de Young</i>	7
2.1.1.5.	<i>Coefficiente de Poisson</i>	7
2.2.	Extensometría	8
2.3.	Galgas extensiométricas	8
2.3.1.	Principio de funcionamiento	9
2.3.2.	Limitaciones	11
2.3.3.	Tipos	11
2.3.3.1.	<i>Galgas metálicas</i>	11
	<i>Hilo metálico</i>	11
	<i>Película metálica</i>	11
	<i>Metal depositado</i>	12
2.3.3.2.	<i>Galgas por resistencia</i>	12
2.3.3.3.	<i>Galgas por capacitancia</i>	12
2.3.3.4.	<i>Galgas fotoeléctricas</i>	12
2.3.3.5.	<i>Galgas semiconductoras</i>	12
2.3.3.6.	<i>Según su geometría</i>	12
	<i>Galga uniaxial</i>	12
	<i>Galga biaxial</i>	13
	<i>Galga tipo roseta</i>	13
	<i>Galga tangencial o de diafragma</i>	14
2.3.4.	Características	15
2.3.4.1.	<i>Ancho y longitud de la galga</i>	15
2.3.4.2.	<i>Resistencia de la galga</i>	15
2.3.4.3.	<i>Factor de la galga</i>	15
2.3.4.4.	<i>Histéresis</i>	15
2.3.4.5.	<i>Material del elemento sensible de la galga</i>	17
2.3.4.6.	<i>Material de la matriz portadora</i>	17
2.3.4.7.	<i>Fluencia</i>	18
2.3.4.8.	<i>Comportamiento a la fatiga</i>	18

2.3.4.9.	<i>Deformación máxima</i>	18
2.3.4.10.	<i>Sensibilidad transversal</i>	18
2.3.4.11.	<i>Estabilidad</i>	18
2.3.4.12.	<i>Influencia de la temperatura</i>	19
2.3.4.13.	<i>Disipación de calor</i>	19
2.3.4.14.	<i>Influencia de los campos magnéticos</i>	19
2.3.5.	<i>Campos de aplicación</i>	20
2.3.5.1.	<i>Diseño mecánico y estructural</i>	20
	<i>Medición de desplazamiento</i>	21
	<i>Medición de fuerza axial y peso</i>	21
	<i>Medición de presión</i>	21
	<i>Medición de torque</i>	22
	<i>Medición de vibraciones</i>	22
	<i>Medición de aceleración</i>	23
2.3.5.2.	<i>Diseño y construcción de obras civiles</i>	23
2.3.5.3.	<i>Otras aplicaciones</i>	24
	<i>Pantalla táctil</i>	24
	<i>Inclinómetro</i>	24
	<i>Detección de obstáculos</i>	24
2.3.6.	<i>Accesorios</i>	24
2.3.6.1.	<i>Equipo para implantación</i>	24
	<i>Preparación del material</i>	24
	<i>Pegado de la galga</i>	25
	<i>Soldado de terminales</i>	25
	<i>Protección de la galga</i>	25
2.3.	<i>Sistema de medida</i>	26
2.3.1.	<i>Transductor</i>	27
2.3.2.	<i>Circuito de adaptación</i>	27
2.3.3.	<i>Puente de Wheatstone</i>	28

2.3.3.1.	<i>Tipos de configuración del puente de Wheatstone</i>	29
	<i>Configuración de cuarto de puente</i>	29
	<i>Configuración de medio puente</i>	30
	<i>Configuración de puente completo</i>	30
2.3.3.2.	<i>Puente de Wheatstone equilibrado</i>	31
2.3.3.3.	<i>Puente de Wheatstone desequilibrado</i>	32
2.3.4.	<i>Tratamiento de la señal</i>	32
2.3.5.	<i>Sistema de adquisición de datos</i>	34
2.3.6.	<i>Dispositivo DAQ</i>	34
2.3.7.	<i>Dispositivo de salida</i>	35
2.3.8.	<i>LabVIEW</i>	36
2.3.8.1.	<i>Aplicaciones</i>	36
2.3.8.2.	<i>Programación gráfica</i>	36
2.4.	Metodología QFD	36
2.4.1.	<i>Definición</i>	36
2.4.2.	<i>Fases de la metodología QFD</i>	36
2.4.3.	<i>Pasos para desarrollar el QFD</i>	37
2.4.4.	<i>Beneficios del QFD</i>	38
2.5.	Diagrama de flujo	38
2.5.1.	<i>Simbología según norma ASME</i>	38
CAPÍTULO III		39
3.	MARCO METODOLÓGICO	39
3.1.	Definición del producto	39
3.1.1.	<i>Identificación de las necesidades</i>	39
3.1.2.	<i>Despliegue de la función de calidad (casa de la calidad)</i>	39
3.1.2.1.	<i>Evaluación del usuario</i>	40
3.1.2.2.	<i>Análisis de competitividad</i>	40
3.2.	Diseño conceptual	46

3.2.1.	<i>Análisis funcional y modular</i>	46
3.2.2.	<i>Matriz morfológica</i>	47
3.2.3.	<i>Análisis funcional</i>	48
3.2.3.1.	<i>Función: módulo estructural</i>	48
3.2.3.2.	<i>Función: módulo de control</i>	50
3.3.	Selección de prácticas	52
3.3.1.	<i>Determinación del módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.</i>	53
3.3.2.	<i>Ensayo de flexión en elementos mecánicos en voladizo</i>	53
3.3.3.	<i>Ensayo de flexión en elementos mecánicos doblemente empotradas</i>	53
3.4.	Selección de galgas y accesorios	53
3.4.1.	<i>Generalidades</i>	53
3.4.2.	<i>Proceso de selección</i>	54
3.4.2.1.	<i>Modelo y serie de la galga extensiométrica</i>	54
3.4.2.2.	<i>Longitud de la galga extensiométrica</i>	55
	<i>Galgas cortas</i>	56
	<i>Galgas largas</i>	57
3.4.2.3.	<i>Resistencia nominal de la galga extensiométrica.</i>	57
3.4.2.4.	<i>Almohadillas de conexión</i>	58
3.4.2.5.	<i>Adhesivo</i>	58
3.5.	Selección de equipo	59
3.5.1.	<i>Adquisición de señales analógicas</i>	59
3.5.2.	<i>Digitalización</i>	60
3.6.	Equipos seleccionados	62
3.6.1.	<i>Galga extensiométrica</i>	62
3.6.2.	<i>Almohadillas de conexión</i>	63
3.6.3.	<i>Adhesivo</i>	64
3.6.4.	<i>Equipo de medición</i>	64
3.7.	Construcción	65
3.8.	Evaluación de costos	68

3.8.1.	<i>Costos directos</i>	68
3.8.2.	<i>Costos indirectos</i>	69
3.8.3.	<i>Costo total</i>	70
CAPÍTULO IV		71
4.	RESULTADOS	71
4.1.	Procedimiento para el pegado de las galgas extensiométricas	71
4.1.1.	<i>Preparación de la superficie</i>	71
4.1.1.1.	<i>Eliminar grasa</i>	72
4.1.1.2.	<i>Lijado</i>	72
4.1.1.3.	<i>Limpieza fina</i>	72
4.1.1.4.	<i>Delimitar la superficie</i>	72
4.1.1.5.	<i>Alcalinidad óptima</i>	72
4.1.2.	<i>Adhesión de las galgas extensiométricas</i>	72
4.1.2.1.	<i>Posicionamiento de la galga</i>	72
4.1.2.2.	<i>Alineación de la galga</i>	73
4.1.2.3.	<i>Adhesión</i>	74
4.1.3.	<i>Procedimiento para soldar</i>	75
4.1.3.1	<i>Equipo y técnica de soldadura</i>	75
4.1.3.2.	<i>Soldadura</i>	76
4.1.3.3.	<i>Comprobación del montaje</i>	77
4.2.	Guía de procedimiento para el uso del sistema de medición.	77
4.2.1.	<i>Tarjeta de adquisición de datos NI ENET-9219</i>	77
4.2.2.	<i>Uso de la tarjeta de adquisición de datos mediante LabVIEW</i>	79
4.2.3.	<i>Conexión de los elementos principales en LabVIEW</i>	81
4.2.4.	<i>Estructura en el panel frontal de LabVIEW</i>	82
4.3.	Validación del banco de pruebas	83
4.3.1.	<i>Verificación práctica 1</i>	83
4.3.2.	<i>Verificación práctica 2</i>	84

4.4.	Guía de prácticas de laboratorio	85
	GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIOS, TALLERES Y CENTROS DE SIMULACIÓN DE (NOMBRE DE ASIGNATURA).....	86
4.	ACTIVIDADES POR DESARROLLAR.....	93
	GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIOS, TALLERES Y CENTROS DE SIMULACIÓN DE (NOMBRE DE ASIGNATURA).....	96
7.	ACTIVIDADES POR DESARROLLAR.....	100
	CONCLUSIONES.....	103
	RECOMENDACIONES	104
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Tipos de materiales de las galgas	17
Tabla 2-2: Materiales de la matriz portadora	17
Tabla 3-2: Valores comunes de inducción magnética	20
Tabla 4-2: Tipos de configuración del puente de Wheatstone	29
Tabla 5-2: Configuraciones de puente y ecuaciones de deformación.	33
Tabla 6-2: Diagrama de Conexiones.	35
Tabla 7-2: Símbolos de la norma ASME para elaborar diagramas de flujo.....	38
Tabla 1-3: Voz del usuario	39
Tabla 2-3: Resultados de las encuestas aplicadas	40
Tabla 3-3: Análisis de competitividad.....	41
Tabla 4-3: Voz del usuario y voz del ingeniero.....	42
Tabla 5-3: Matriz morfológica	47
Tabla 6-3: Evaluación de los criterios más importantes para la selección de la estructura	48
Tabla 7-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio peso	49
Tabla 8-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio costo	49
Tabla 9-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio estabilidad	49
Tabla 10-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio dimensiones	49
Tabla 11-3: Tabla de conclusiones de la estructura del equipo.	50
Tabla 12-3: Evaluación de los criterios más importantes para la selección del módulo de control	50
Tabla 13-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio costo	51
Tabla 14-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio de programación	51
Tabla 15-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio de precisión	51
Tabla 16-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio de memoria.....	52
Tabla 17-3: Tabla de conclusiones del módulo de control del equipo.....	52
Tabla 18-3: Características galga OMEGA SGD-10/120-LY11	63
Tabla 19-3: Tabla de selección de almohadilla para la galga SGD-10/120-LY11.....	63
Tabla 20-3: Características almohadillas para galga BTP-5	64
Tabla 21-3: Características del adhesivo Loctite SG-496.....	64
Tabla 22-3: Equipo de medición NI-9219.....	65
Tabla 23-3: Costos de materiales	68
Tabla 24-3: Costo de mano de obra.....	68
Tabla 25-3: Costos de equipos y herramientas	69
Tabla 26-3: Costo por transporte.....	69

Tabla 27-3: Costo directo total.....	69
Tabla 28-3: Costos directos.....	69
Tabla 29-3: Costo total.....	70
Tabla 1-4: Tiempos mínimos para adhesión.....	71
Tabla 2-4: Tiempos mínimos de curado previo a la medición.....	71
Tabla 3-4: Resultados coeficiente de Poisson AISI 304	84
Tabla 4-4: Resultados módulo de Young AISI 304.....	84
Tabla 5-4: Resultados deformaciones y deflexiones calculadas y medidas	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Diagrama esfuerzo-deformación	7
Figura 2-2: Parámetros principales galgas extensiométricas	9
Figura 3-2: Esquema galga sobre superficie	9
Figura 4-2: Cambio de dimensiones de un hilo conductor sometido a un esfuerzo mecánico ...	10
Figura 5-2: Galga uniaxial	13
Figura 6-2: Galga biaxial	13
Figura 7-2: Galgas tipo roseta	14
Figura 8-2: Galga de diafragma	15
Figura 9-2: Ciclo de Histéresis.....	16
Figura 10-2: Variaciones en las curvas de histéresis	16
Figura 11-2: Colocación de galgas extensiométricas	21
Figura 12-2: Dispositivo de medición de masas.....	21
Figura 13-2: Sistema medidor de presión.....	22
Figura 14-2: Sistema de medición de torque.....	22
Figura 15-2: Sistema mecánico con presencia de vibraciones.....	23
Figura 16-2: Acelerómetro.....	23
Figura 17-2: Equipo de implantación.....	26
Figura 18-2: Proceso para la visualización de datos.....	26
Figura 19-2: Esquema de un sistema para la medición de deformaciones con galgas extensiométricas.....	27
Figura 20-2: Puente de Wheatstone equilibrio	28
Figura 21-2: Puente de Wheatstone	29
Figura 22-2: a) Conexión de dos cables, b) Conexión de tres cables	30
Figura 23-2: Configuración del puente para mejorar la medición	30
Figura 24-2: Configuración de puente completo	31
Figura 25-2: Ejemplo del sistema de adquisición de datos.....	34
Figura 26-2: Tarjeta de adquisición de datos NI 9219.	34
Figura 1-3: Banco de pruebas de la Universidad Politécnica Salesiana	43
Figura 2-3: Equipo de medición banco de pruebas UPS	43
Figura 3-3: Banco de pruebas de la Universidad Santo Tomás	43
Figura 4-3: Equipo de medición banco de pruebas UST	44
Figura 5-3: Casa de calidad.....	45
Figura 6-3: Nivel 0 función primaria del equipo.....	46
Figura 7-3: Módulos funcionales	46

Figura 8-3: Proceso de selección de galgas y accesorios.....	54
Figura 9-3: Proceso para la selección de la serie y el modelo de galga	55
Figura 10-3: Longitud galgas	56
Figura 11-3: Zona de medición de una galga extensiométrica	56
Figura 12-3: Proceso para la selección de la longitud de la galga	57
Figura 13-3: Guía para la selección de las almohadillas de conexión.	58
Figura 14-3: Esquema de bloques de una tarjeta de adquisición de datos	59
Figura 15-3: Esquema típico de un canal de entrada analógico.....	59
Figura 16-3: Flujograma del proceso de captura de la señal.	60
Figura 17-3: Proceso de muestreo de una señal.	61
Figura 18-3: Representación de la señal en digital.....	61
Figura 19-3: Diagrama de operaciones del sistema de adquisición de datos.	62
Figura 20-3: Flujograma de procesos de construcción	67
Figura 21-3: Banco de pruebas.	67
Figura 1-4: Posicionamiento de la galga en la probeta.....	73
Figura 2-4: Posicionamiento de la galga en la probeta.....	73
Figura 2-4: Método para alinear la galga.	73
Figura 4-4: Disposición de la galga previo a la aplicación del adhesivo.	74
Figura 5-4: Aplicación del pegamento	74
Figura 6-4: Adhesión de la galga en la probeta.	74
Figura 7-4: Aplicación de presión.....	75
Figura 8-4: Retirar la cinta.	75
Figura 9-4: Consideraciones para soldar con cautín.....	76
Figura 10-4: Protección a la galga previo a la soldadura.....	76
Figura 11-4: Montículo de soldadura.	77
Figura 12-4: Selección de dispositivos.....	78
Figura 13-4: Utilización del DAQ ASSISTANT	78
Figura 14-4: Parámetros para la galga.....	79
Figura 15-4: Entrada analógica para la galga.	79
Figura 16-4: Canales físicos para el puente y galga.	80
Figura 17-4: Canales físicos para el puente y galga.	80
Figura 18-4: Adquisición de muestras y muestreo por segundo.....	80
Figura 19-4: Bloque para la ejecución del canal físico.....	81
Figura 20-4: Lectura para la entrada física	81
Figura 21-4: Conexión de todos los elementos tanto de lecturas de entrada como de salida	82
Figura 22-4: Pantalla frontal de LabVIEW	82
Figura 23-4: Verificación práctica 1	83

Figura 24-4: Viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-4: Curva de error practica flexión viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro.....	82
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Encuesta

ANEXO B: Planos de detalle

ANEXO C: Data Sheet de la tarjeta de datos NI ENET-9219

ANEXO D: Data Sheet de las galgas extensométricas

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue el desarrollo del banco de pruebas para prácticas de extensometría cuyo fin fue determinar el estado tensorial de elementos mecánicos se utilizaron varios criterios aportados por la norma ASTM E83-10a, así como también recomendaciones por parte de los fabricantes de galgas extensométricas y del módulo de adquisición de datos. Así a través del uso de diagramas de flujo se seleccionaron de una manera adecuada cada elemento que interviene en el proceso. Para la determinación del estado tensorial, se aplicó una carga estática sobre el elemento mecánico en el cual se encuentra una galga extensométrica capaz de medir la deformación del mismo, esta información es enviada a través de un puente de Wheatstone a la tarjeta adquisidora de datos, la cual es el intermediario entre el banco de pruebas y la Pc. En LabVIEW se desarrolló un interfaz el cual permite mostrar los datos obtenidos por las galgas y determinar a través de ecuaciones los valores de sus esfuerzos, módulo de Young y coeficiente de Poisson, obteniendo resultados cercanos a los datos entregados por fabricantes de aceros y calculados manualmente. El porcentaje de error arrojado por el banco de pruebas es inferior al 1%. El banco de pruebas cuenta con un sistema de medición portátil, el cual permite al operador, trasladar la unidad y obtener el estado tensorial de cualquier elemento mecánico. Se concluye que la información arrojada por el banco de pruebas es verás y confiable a la vez que permite a los estudiantes de ingeniería comparar los datos arrojados por el mismo con obtenidos en las aulas de clase.

Palabras clave: <BANCO DE PRUEBAS> <EXTENSOMETRÍA> <ESTADO TENSORIAL> <GALGAS EXTENSOMÉTRICAS> <CARGA ESTÁTICA>.



Fundado económicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA

0248-DBRA-UPT-2022

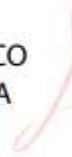
2022-02-11

ABSTRACT

The objective of this study was the development of the test bench for extensometry practices whose purpose was to determine the tensile state of mechanical elements, several criteria provided by the ASTM E83-10a Standard were used, as well as recommendations by the manufacturers of strain gauges and data acquisition module. Thus, using flowcharts, each element that intervenes in the process was selected in an appropriate way. To determine the tensor state, a static load was applied to the mechanical element in which there is a strain gauge capable of measuring its deformation. This information is sent through a Wheatstone bridge to the data acquisition card, which is the intermediary between the test bench and the PC. In LabVIEW, an interface was developed which allows displaying the data obtained by the gauges and determining through equations the values of their efforts, Young's modulus and Poisson's ratio, obtaining results close to the data provided by steel manufacturers and calculated manually. The percentage of error thrown by the test bench is less than 1%, the test bench has a portable measurement system, which allows the operator to move the unit and obtain the tensile state of any mechanical element. It is concluded that the information provided by the test bench is true and reliable while allowing engineering students to compare the data provided by it with those obtained in the classroom.

Keywords: <TEST BENCH> <EXTENSOMETRY> <TENSORIAL STATE>
<STENSOMETRY GAUGE> <STATIC LOAD>.

LUIS
FRANCISCO
MANTILLA
CABRERA



Firmado digitalmente
por LUIS FRANCISCO
MANTILLA CABRERA
Fecha: 2022.02.21
09:39:17 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Determinar el estado tensorial de elementos mecánicos sometidos a cargas estáticas es de gran utilidad en el campo ingenieril. En el presente proyecto se utilizó el descubrimiento realizado por Lord Kelvin, quien determinó que al aplicarse una fuerza en un hilo conductor este presenta una variación en su resistencia eléctrica.

La utilidad de este principio empleado en galgas eléctricas nos permite obtener estas variaciones de resistencia y transformarlas a través de un sistema DAQ y así obtener la deformación resultante de un elemento mecánico.

Las galgas extensométricas tienen un amplio campo de aplicación sobre todo a nivel de investigación en ingeniería ya que entregan mediciones precisas. Las mediciones pueden variar según el tipo de carga que se desee aplicar, ya sean estáticas, dinámicas o mixtas. Para este caso en particular, únicamente se utilizaron cargas estáticas, las cuales se colocan en las probetas sujetas al banco de pruebas.

El banco de pruebas está compuesto de dos partes fundamentales, la mesa y el sistema de adquisición de datos. Para obtener los datos se realiza el siguiente proceso.

Se coloca una carga sobre la probeta que deseamos determinar el estado tensorial, y este al deformarse juntamente con la galga extensométrica emite una variación en su resistencia eléctrica la cual es captada por un sistema de adquisición de datos DAQ el cual transforma las señales analógicas en digitales, las mismas que ingresan al computador en el cual se encuentra un interfaz desarrollado en el software LabVIEW el cual nos permite visualizar gráfica y numéricamente las deformaciones longitudinales y transversales que sufre el elemento mecánico y de este modo obtener su estado tensorial y la determinación de sus constantes propias del material.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El avance de la tecnología en la última década en el mundo ha permitido un desarrollo importante en la mecánica clásica, sobre todo en los métodos de adquisición de datos en prácticas de laboratorio. La fortaleza y resistencia de materiales representadas por la deformación mecánica son la manera usual de realizar las evaluaciones de elementos mecánicos de distintos tipos sometidos a fuerzas externas. La adquisición, registro y análisis de datos nos permiten caracterizar a los elementos y a los materiales de los que están compuestos. El uso de galgas extensométricas conectadas a un interfaz de adquisición de datos cada vez tiene un mayor campo sobre todo en el mundo investigativo, donde se aprovecha su gran capacidad sensorial para transmitir datos de cargas y deformaciones de un elemento mecánico.

La investigación de las deformaciones mecánicas fue ampliamente desarrollada por Robert Hooke, quién en su estudio descubrió la relación existente entre las fuerzas externas aplicadas a un elemento y su deformación. (1).

Un par de siglos después Lord Kelvin descubrió la variación producida en la resistencia eléctrica de un conductor cuando la geometría sufría deformaciones. La combinación de estos dos principios se aplica en el diseño y uso de las galgas extensométricas. (2).

En Sudamérica diferentes compañías están aplicando el uso de galgas extensométricas para comprobar las deformaciones, cargas y pares a las que se someten ciertos elementos en el desarrollo de equipos mecánicos y dispositivos médicos, dándoles ventaja sobre su competencia al tener un análisis preciso del comportamiento de los elementos mencionados. (3)

En Ecuador, las industrias carrocería y metalmeccánica aportan en conjunto un aproximado del 14% del PIB. (4) El estudio de las deformaciones que los elementos fabricados sufren puede beneficiar a la industria ecuatoriana con un mejor producto final, y permitirles una ventaja competitiva en el mercado internacional.

La presente investigación tiene referencia a dos estudios realizados por universidades locales, en los cuales se puede apreciar el uso de las galgas extensométricas para medir deformaciones en vigas y elementos de equipos médicos.

1.2. Delimitación

1.2.1. Delimitación espacial

La presente investigación se desarrollará en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador.

1.2.2. Delimitación sectorial

El estudio y desarrollo del presente trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, en base al objetivo 5.6 el cual manifiesta: “Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y universidades”. (5).

1.3. Formulación del problema

La demanda siempre creciente para el mejoramiento en el diseño de maquinaria y estructuras llevó al desarrollo de varias técnicas experimentales para determinar los esfuerzos a los que éstos están sometidos. Estos métodos experimentales son utilizados para revisar las predicciones teóricas, y para evaluar esfuerzos en situaciones en donde resultan muy complicadas las aproximaciones matemáticas. Hasta ahora no se ha desarrollado un aparato para medir esfuerzos con todas las características que se desean, pero las galgas extensiométricas de resistencia eléctrica están muy cerca de satisfacer todos estos requerimientos. Esta es la razón por la cual es el dispositivo más utilizado para el análisis de esfuerzos o como sensores en transductores diseñados para medir fuerza, par, presión y aceleración. Basados en estos hechos nos surge la interrogante de: ¿Cómo realizar el diseño y construcción de un banco de pruebas de extensometría para realizar ensayos de flexión en elementos mecánicos?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir un banco de pruebas para prácticas de extensometría para determinar el estado tensional de elementos mecánicos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar el banco de pruebas para determinar el estado tensional de elementos mecánicos a través de galgas extensiométricas basados en la norma ASTM E83-10a.
- Seleccionar adecuadamente el tipo de galga extensiométrica necesaria para la obtención de datos en el banco de pruebas.
- Representar gráficamente la deformación de los elementos sometidos a cargas a través de software.

- Desarrollar guías de laboratorio para determinar el estado tensional de elementos mecánicos, que permitan a los estudiantes de ingeniería desarrollar prácticas de laboratorio en el banco de pruebas.
- Obtener resultados que validen la eficiencia del banco de pruebas con un margen de error admisible en laboratorio.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Diseño mecánico

El diseño mecánico es una labor compleja que requiere de varias habilidades por parte del diseñador. Su objetivo es el diseño de objetos, piezas, estructuras, mecanismos o sistemas mecánicos con fines diversos. Es un proceso iterativo en donde interactúan muchas variables y en las cuales se deben tomar en cuenta códigos, normas, seguridad, economía y la responsabilidad legal del producto. El diseño debe considerar la supervivencia de un componente mecánico para lo cual relacionamos el límite de fluencia y el esfuerzo aplicado. El diseño analiza aspectos de incertidumbre, analizados como factores de diseño y seguridad, una vez superados estos factores los materiales comenzarán a deformarse permanentemente. El diseño mecánico considera las dimensiones, tolerancias, unidades y cálculos necesarios para el desarrollo. Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad particular o resolver un problema en específico. Por lo tanto, el diseño debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, de fabricación posible y comercializable. En consecuencia, durante el diseño es muy importante la toma de decisiones por parte del diseñador. (6).

El diseño mecánico se puede definir como un proceso de emplear técnicas variadas y los respectivos principios mecánicos con el propósito de definir un dispositivo o un sistema con el suficiente detalle para permitir su diseño y realización. (7).

2.1.1. Ley de Hooke

La ley de Hooke establece que un cuerpo elástico se estira proporcionalmente a la fuerza que actúa sobre él. Cuando la carga aplicada en el cuerpo lo deforma, pero este al retirarse la carga vuelve a su estado original, lo denominamos un cuerpo elástico. (6).

En la siguiente expresión podemos apreciar la Ley de Hooke.

$$dl = k. \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde:

F: fuerza

A: área

k: constante elástica

dl: variación de longitud

2.1.1.1. Esfuerzo

Se denomina esfuerzo a la cantidad de fuerza aplicada por unidad de área. (6). Se lo define con la siguiente expresión

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Donde:

σ : esfuerzo

P: carga

A: área

2.1.1.2 Deformación

La deformación mecánica es la variación en la longitud un elemento resultante de la aplicación de una fuerza externa, presión, cambio de temperatura o modificación estructural. Esta puede ser de extensión o de compresión. (8)

Se denomina deformación a la variación en la longitud de un elemento mecánico cuando está sometido a una fuerza. En la ecuación (3) podemos observar su definición.

$$S = \frac{dl}{l} \quad (3)$$

Donde:

S: deformación

dl: variación de longitud

l: longitud

2.1.1.3 Límite de fluencia

Se denomina límite de fluencia, a la tensión máxima antes de la primera caída, que, dividida por el coeficiente de seguridad, no puede sobrepasar en el diseño de una estructura o en un proyecto. (9). En la siguiente figura podremos observar un diagrama esfuerzo- deformación de un material.

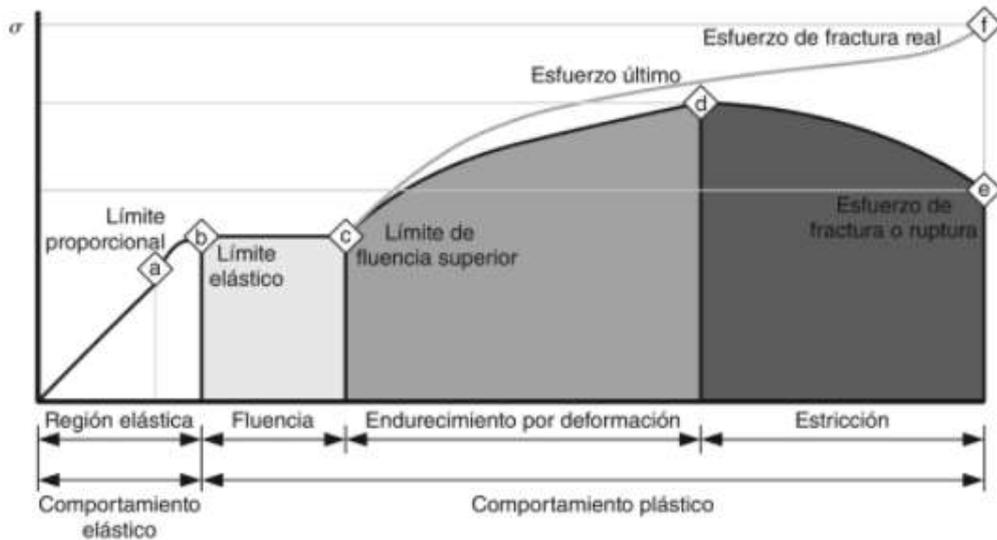


Figura 1-2: Diagrama esfuerzo-deformación
Fuente: (10)

2.1.1.4. Módulo de Young

El módulo de Young es un parámetro que determina el comportamiento de un material elástico, se lo denomina así porque es la razón entre el aumento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. (10). Se define matemáticamente con la siguiente expresión.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

Donde:

E : módulo de Young

σ : esfuerzo

ε : deformación unitaria

2.1.1.5. Coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson es una cantidad adimensional que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma de material elástico, es un indicativo de la deformación que tiene un trozo de material ante la aplicación de ciertos esfuerzos. (10).

$$\mu = \frac{S_{transversal}}{S_{longitudinal}} \quad (5)$$

Donde:

μ : coeficiente de Poisson

$S_{transversal}$: deformación transversal

$S_{longitudinal}$: deformación longitudinal

2.2. Extensometría

La extensometría es uno de los métodos tradicionales usados por Universidades y centros de investigación para definir el estado tensional de elementos mecánicos. La extensometría nos permite medir deformaciones, fuerzas y desplazamientos. (11).

La extensometría eléctrica es una técnica que permite la adquisición del estado de deformación de un elemento con un alto grado de precisión, lo que sumado a su bajo costo e instalación la convierte en una herramienta de gran potencial para el desarrollo de investigaciones. Su principio está basado en la transformación de las variaciones de su resistencia eléctrica a deformación unitaria a través de ecuaciones, con lo cual nosotros podemos medir magnitudes como la fuerza, presión, par torsor, desplazamiento entre otros. (12).

La extensometría, se denomina a la técnica experimental en la cual se calcula las deformaciones de dicho material, que se está sometiendo a esfuerzos. Es de gran importancia en la ingeniería porque con esta técnica se puede lograr experimentalmente las deformaciones de un sólido, y por consiguiente el estado tensional del mismo. (13)

2.3. Galgas extensiométricas

Son sensores cuya resistencia eléctrica varía con relación a la deformación de su estructura debido a una fuerza aplicada. De este modo transforman la fuerza, tensión, par, presión a un cambio en la resistencia eléctrica el mismo que puede ser medido. Las galgas extensiométricas son sensores cuya resistencia varía con la fuerza aplicada.

Estos sensores convierten la fuerza, presión, tensión, peso, etc., en un cambio de la resistencia eléctrica el cual puede ser medido. Su funcionamiento se debe a la aplicación de una fuerza sobre un cuerpo produciendo tensión y estrés en el material. Las galgas extensiométricas son capaces de medir la expansión o la contracción, distinguiéndolas con un signo. Las tensiones que producen dicha expansión o compresión nos ayudan a predecir la seguridad y resistencia del material. (8).

Es un sensor que calcula cambios referentes a la longitud de dicho material (deformación), como consecuencia de las fuerzas que se aplicaron. Se han convertido en un instrumento fundamental para el análisis de las tensiones, los ensayos de seguridad, la optimización de piezas, y la investigación técnica.

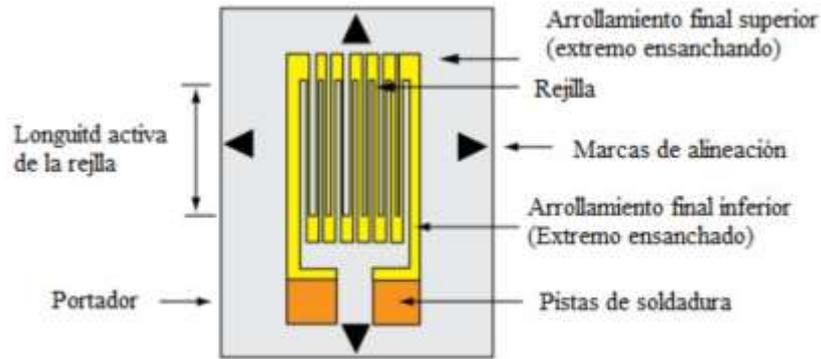


Figura 2-2: Parámetros principales galgas extensiométricas
Fuente: (14)

2.3.1. Principio de funcionamiento

Su principio de funcionamiento no es tan complejo, se debe al acontecimiento en simultáneo de varios fenómenos. Un elemento conductor sufre cambios en sus dimensiones cuando es sometido a un esfuerzo.

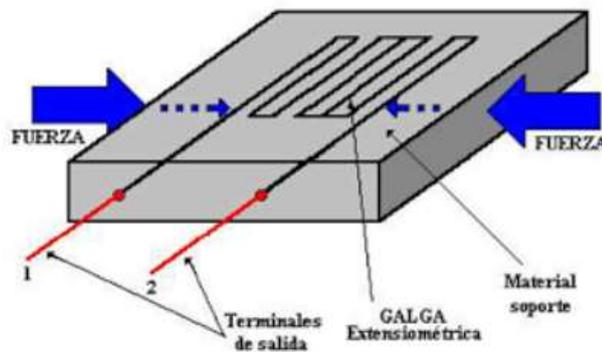


Figura 3-2: Esquema galga sobre superficie
Fuente: (15)

Cuando el hilo se alarga se reduce su sección determinada por el efecto Poisson. El principio de funcionamiento se basa en el efecto piezorresistivo de metales y semiconductores, según el cual, su resistividad varía en función de la deformación a la que está siendo sometido, al material del cual está hecho y el diseño que ha sido adoptado. (16).

$$v = - \frac{\Delta D/D}{\Delta l/l} \quad (6)$$

Donde:

v : coeficiente de Poisson

ΔD : cambio de diámetro debido a la deformación

D : diámetro del hilo

Δl : cambio en la longitud del hilo

l : longitud del hilo

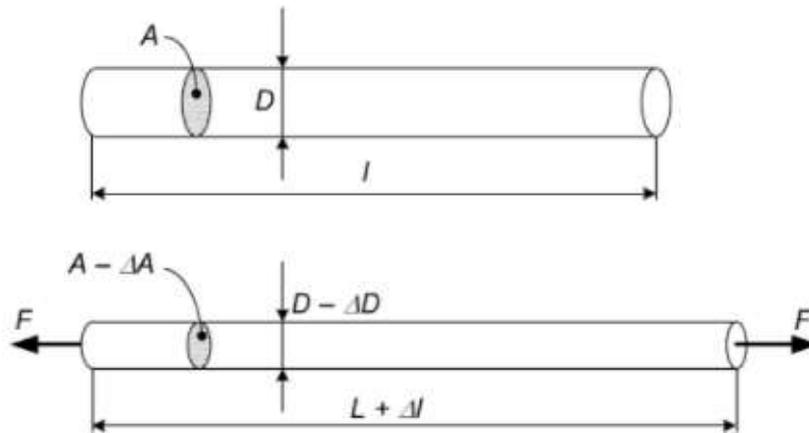


Figura 4-2: Cambio de dimensiones de un hilo conductor sometido a un esfuerzo mecánico

Fuente: (16)

Si consideramos un hilo metálico el valor de su resistencia eléctrica es:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = \rho \frac{4l}{\pi D^2} \quad (7)$$

Donde:

R : resistencia eléctrica

ρ : resistividad

A : sección transversal

D : diámetro

l : longitud del hilo

La resistividad del metal se incrementa debido a los cambios en las dimensiones de las estructuras cristalinas del material causadas por los esfuerzos. (16) Por lo tanto, el valor de su resistencia varía y su valor es:

$$\partial R = \frac{\rho}{A} \cdot \partial l - \frac{\rho \cdot l}{A^2} \cdot \partial A + \frac{l}{A} \cdot \partial \rho \quad (8)$$

$$\frac{\partial R}{R} = \frac{\partial l}{l} - \frac{\partial A}{A} + \frac{\partial \rho}{\rho} \quad (9)$$

Donde:

∂R : variación de la resistencia eléctrica

ρ : resistividad

A: sección transversal

D: diámetro

l: longitud del hilo conductor

El cambio de longitud que resulta de la aplicación de la fuerza F a una pieza está dado por la Ley de Hooke, siempre y cuando no se supere el límite elástico. (17).

2.3.2. *Limitaciones*

- El esfuerzo usado no debe llevar a la galga fuera del margen elástico.
- Se necesita una excelente adhesión al objetivo, para que la medida de la deformación sea la adecuada.
- Un aumento en la temperatura tiene como resultado una variación de la resistencia aun sin usar ningún esfuerzo.
- Coeficiente de dilatación de la galga semejante a la del soporte para impedir tensiones mecánicas.
- Autocalentamiento de la galga por la disipación de potencia de alimentación.

2.3.3. *Tipos*

2.3.3.1. *Galgas metálicas*

Las galgas metálicas se forman por un base muy delgada y fina, a la cual se le une un hilo muy fino metálico que puede ser bobinado o plegable. Las dos terminales en las que termina el hilo se unen a los transductores, para su elaboración se utilizan varios conductores, como aleaciones constatan, isoelástica, karma y aleaciones de platino. (14).

Hilo metálico

Están adjuntas a una base con medidas constates. Muestran errores cuando existen estados tensionales y son las más naturales. Están compuestas por una película de ayuda, un soporte, un hilo de medida y terminales de conexión. (14).

Película metálica

Este tipo de galga tiene una característica de fabricación parecida a la de los circuitos impresos que tienen bases flexibles. Se desarrollan por el medio de creación de placas usando fotografías, llamado el método de fotograbado. (14).

Metal depositado

Son aplicadas directamente sobre la superficie mediante dos métodos: El bombardeo químico o la evaporación. (14).

2.3.3.2. Galgas por resistencia

Este tipo de galga es también conocida como conductor eléctrico que al sufrir una deformación incrementa su resistencia, puesto que los conductores se vuelven más finos y largos. (14).

2.3.3.3. Galgas por capacitancia

Estas galgas están asociadas a características de tipo geométrico y son utilizadas para calcular deformaciones y esfuerzos. Las propiedades eléctricas de los materiales usados para deformación tienen propiedades eléctricas insignificantes, por lo cual los materiales de estas galgas pueden estar más calibrados según los requerimientos mecánicos. (14).

2.3.3.4. Galgas fotoeléctricas

Mediante el uso de un extensómetro podemos ampliar el desarrollo del modelo, mientras un rayo de luz es pasado a través de una abertura variable, operando con el extensómetro y directamente con la célula fotoeléctrica. A medida que varía la abertura de la galga también lo hace la cantidad de luz que adquiere a la célula lo que conlleva que la intensidad de la energía producida por la celda presente una variación, la cual podemos calcular, y de la misma obtener la deformación. (14).

2.3.3.5. Galgas semiconductoras

Se elaboran de silicio u otro material semiconductor. Su cambio resistivo es menos lineal que las de metal y tienen una gran dependencia de la temperatura. Se utilizan en la elaboración de sensores integrados de presión donde se establecen en micro diafragmas para calcular la presión. (14).

2.3.3.6. Según su geometría

Galga uniaxial

Son capaces de medir las deformaciones de la galga únicamente en la dirección de sus hilos conductores, por lo cual su sensibilidad a la deformación transversal es nula. Son utilizadas para medir deformaciones unidireccionales denominadas simples. (17). En la figura de a continuación podemos observar la geometría de este tipo de galga

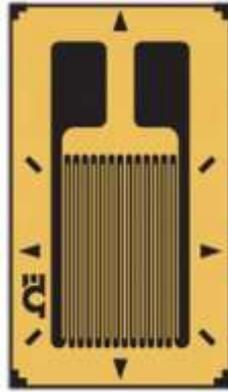


Figura 5-2: Galga uniaxial
Fuente: (18)

Galga biaxial

Este tipo de galga es capaz de medir en simultáneo, esfuerzos en dos direcciones. Nos permiten realizar mediciones longitudinales y transversales. Son utilizadas para aumentar la precisión de las mediciones en cargas simples en donde exista un alargamiento o reducción de la barra a lo largo y de sección transversal. (17). En la siguiente figura podemos observar la geometría de este tipo de galga.

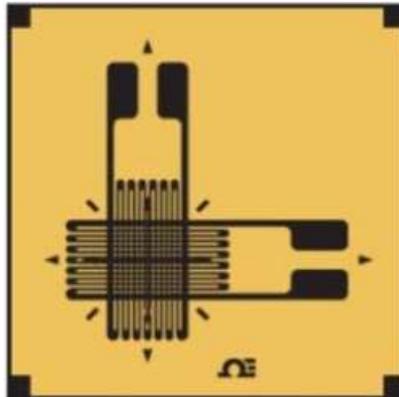


Figura 6-2: Galga biaxial
Fuente: (18)

Galga tipo roseta

Las galgas de este tipo son el resultado de la unión de tres galgas extensiométricas para medición de las deformaciones en un elemento plano, lo que implica medir la deformación normal en x (ϵ_x), y (ϵ_y), y la deformación cortante en el plano (γ_{xy}).

Se titulan las galgas utilizando las primeras letras del abecedario en sentido opuesto al giro de las manecillas del reloj, la primera en nombrar siempre será la roseta horizontal. Así tenemos, ϵ_a , ϵ_b y ϵ_c por lo que para obtener los valores de ϵ_x , ϵ_y , y γ_{xy} se tiene que resolver las siguientes ecuaciones. (19)

$$\epsilon_a = \epsilon_x \cdot \cos^2\theta_a + \epsilon_y \cdot \sin^2\theta_a + \gamma_{xy} \cdot \sin\theta_a \cdot \cos\theta_a \quad (10)$$

$$\epsilon_b = \epsilon_x \cdot \cos^2\theta_b + \epsilon_y \cdot \sin^2\theta_b + \gamma_{xy} \cdot \sin\theta_b \cdot \cos\theta_b \quad (11)$$

$$\epsilon_c = \epsilon_x \cdot \cos^2\theta_c + \epsilon_y \cdot \sin^2\theta_c + \gamma_{xy} \cdot \sin\theta_c \cdot \cos\theta_c \quad (12)$$

Donde:

ϵ_x : deformación normal en x

ϵ_y : deformación normal en y

γ_{xy} : deformación cortante en el plano

ϵ_a : deformación galga 0°

ϵ_b : deformación galga 60°

ϵ_c : deformación galga 120°

En la figura 7-2 podemos observar la geometría de dos galgas tipo roseta, la de la izquierda es una roseta tipo rectangular y a la derecha una roseta delta.

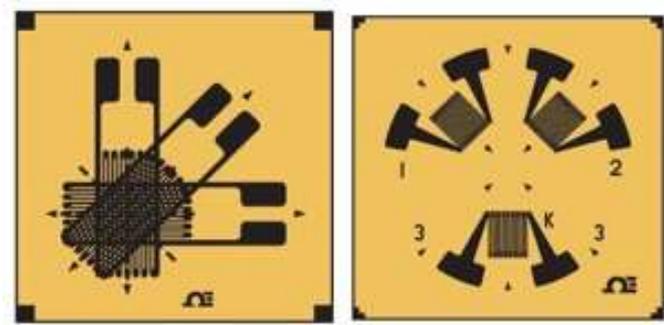


Figura 7-2: Galgas tipo roseta
Fuente: (18)

Galga tangencial o de diafragma

Se utilizan para medir deformaciones sobre grietas donde no existen direcciones principales de esfuerzo. Son de tipo membrana. (17). A continuación, podemos visualizar una galga de tipo diafragma.



Figura 8-2: Galga de diafragma
Fuente: (18)

2.3.4. Características

2.3.4.1. Ancho y longitud de la galga

Son dos parámetros que debemos considerar el momento de seleccionar el tipo de galga extensiométrica, ya que, al momento de adherir la galga al elemento mecánico, esta debe tener relación al tamaño de este. (17).

2.3.4.2. Resistencia de la galga

Los valores nominales de las resistencias de las galgas son de 120Ω , 350Ω o 1000Ω , con tolerancias de entre el 0,15% y el 0,8%, su deformación media a la tensión es del 2% y de compresión de -1%. La corriente máxima de calibración oscila entre 15 y 100 mA. (8)

2.3.4.3. Factor de la galga

El factor de la galga viene dado por una constante característica usualmente proporcionada por el fabricante de esta y se determina en función de las aleaciones utilizadas durante su elaboración. (17).

2.3.4.4. Histéresis

Se denomina histéresis a la variación en la longitud de las galgas extensiométricas después de ser sometidas a un ensayo de tracción o compresión cuando estas no retornan a su valor inicial.

El ciclo de histéresis demuestra la naturaleza “dependiente de la historia” de la magnetización de un material ferromagnético. Una vez que el material ha sido llevado a la saturación, el campo de magnetización puede desplomarse a cero y el material retendrá la mayor parte de su magnetización. En la siguiente figura podemos visualizar el fenómeno de la histéresis. (20).

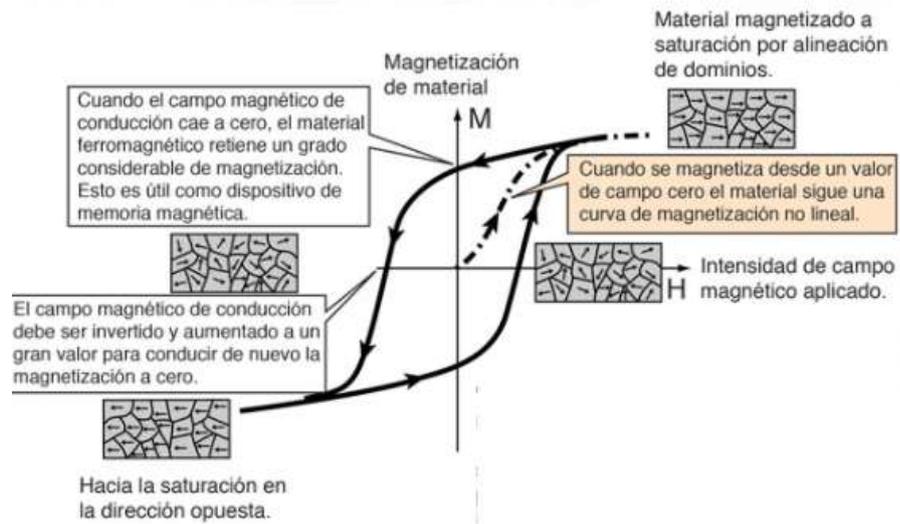


Figura 9-2: Ciclo de Histéresis
Fuente: (20).

Hay una considerable variación de los diferentes materiales magnéticos. Este fenómeno se produce tras haber sometido al elemento mecánico a varios ciclos de carga y descarga, sin embargo, este fenómeno no es muy significativo debido a la calidad con la que se fabrican las galgas actualmente. (17)

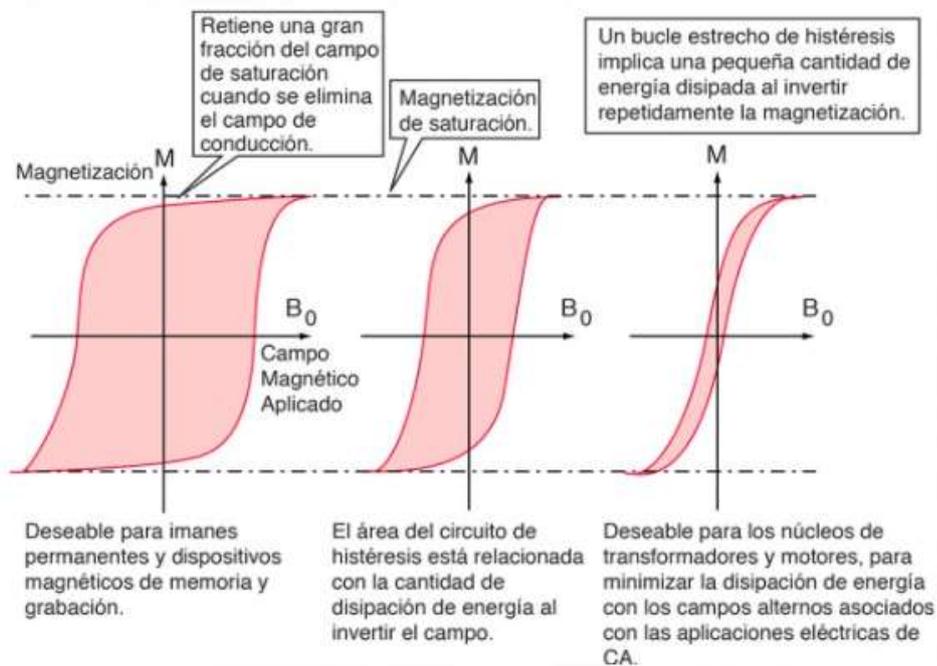


Figura 10-2: Variaciones en las curvas de histéresis
Fuente: (20)

2.3.4.5. Material del elemento sensible de la galga

Esta característica nos define el material del que está hecho el hilo conductor o el material semiconductor. En la siguiente tabla podemos apreciar las características y aplicaciones de los distintos materiales de las galgas. (17).

Tabla 1-2: Tipos de materiales de las galgas

Material	Características	Aplicaciones
Constantán	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas estáticas • Material más usado y muy barato • Auto compensación térmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes elongaciones (estado plástico de deformación)
Isoelastic	<ul style="list-style-type: none"> • Gran relación S/N • Precisan control de temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas dinámicas • Medidas de fatiga
Karma	<ul style="list-style-type: none"> • Auto compensación térmica • La soldadura de terminales es compleja 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas a temperaturas bajas • Medidas con temperatura variable no controlada
Aleación Pt	<ul style="list-style-type: none"> • Coste alto 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas a altas temperaturas

Fuente: (16)

Realizado: Domínguez C; Tierra, I, 2021.

2.3.4.6. Material de la matriz portadora

Esta característica nos define el material del que está constituida la base noconductora de la galga.

Tabla 2-2: Materiales de la matriz portadora

Material	Características	Aplicaciones
Poliamida	<ul style="list-style-type: none"> • Es el soporte estándar • No soporta condiciones extremas de trabajo • Espesor habitual de 0.025mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediciones estáticas • Aplicaciones habituales
Epoxi	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación delicada • Requiere mano de obra especializada 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas precisas
Fibra de vidrio reforzada con epoxi	<ul style="list-style-type: none"> • Soporta temperaturas moderadas • Soporta muy bien el trabajo a fatiga 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas cíclicas y de fatiga

Fuente: (17).

Realizado: Domínguez C; Tierra, I, 2021.

2.3.4.7. Fluencia

La fluencia en las galgas extensiométricas se debe a la modificación de su longitud después de haber sido sometida a una carga constante durante un periodo de tiempo y no regresar a su tamaño original. Es importante notar que esta deformación nos va a generar error en la toma de datos. Ya que estos dependen directamente de la forma y tipo de rejilla, el material soporte del elemento conductor, el adhesivo usado, el tiempo de aplicación de la carga y la temperatura. (17).

2.3.4.8. Comportamiento a la fatiga

El sometimiento a esfuerzos de carga y descarga en ciclos ocasiona un deterioro continuo del elemento resistivo, así como también del adhesivo y del elemento portador, lo que ocasiona una variación en la resistencia de la galga afectando de manera sustancial al factor de la galga. (17). Las galgas fabricadas por Omega Spectris Company soportan entre 105 y 107 ciclos trabajando siempre en la zona elástica. (8).

Otro factor que se debe considerar para el comportamiento a fatiga de las galgas es su tamaño, puesto que aquellas de mayor tamaño presentan una resistencia más alta a la fatiga. (8).

2.3.4.9. Deformación máxima

La deformación máxima en alargamiento de las galgas extensiométricas está sujeta a las propiedades del elemento conductor, soporte y adhesivo utilizado. Su deformación límite viene dada por el catálogo del fabricante y este oscila entre el 0,15% y un 5%. (8).

2.3.4.10. Sensibilidad transversal

El diseño de las galgas está previsto para un trabajo unidireccional, sin embargo, en ocasiones se producen deformaciones transversales las cuales causan una variación en la resistencia del elemento resistivo. El fabricante proporciona la información de esta deformación en manera porcentual, y suele ser inferior al 1%. (8).

2.3.4.11. Estabilidad

Se recomienda el uso de un protector de tipo silicona o epoxi de tipo opaco para recubrir a la galga extensiométrica, debido a que con el uso durante lapsos largos de tiempo sumado a las condiciones climáticas y de laboratorio estas se ven afectadas y se degradan, ocasionando que las galgas se deterioren lo que genera un cambio en el comportamiento de estas. Por lo tanto, el recubrimiento recomendado, protege a las galgas de humedad, tierra, luz, calor y cambios térmicos. (17).

2.3.4.12. *Influencia de la temperatura*

La influencia de la temperatura en el funcionamiento de la galga es primordial, ya que puede existir una variación en la adquisición de datos si la medida es tomada a distintas temperaturas. La deformación real puede desviarse de la deformación medida. (17).

2.3.4.13. *Disipación de calor*

Al ser la galga extensiométrica un elemento resistivo, formará parte de un circuito eléctrico que será atravesado por una corriente eléctrica. El consumo de potencia de la galga es un aspecto por el cual debemos prestar un cuidado especial, ya que hay que garantizar que la disipación de calor producida por la galga sea menor que la potencia que la galga es capaz de transmitir al material sobre el que está adherida. Un sobrecalentamiento de la galga puede desencadenar en mediciones erróneas, e incluso quemar a la galga en sí. (17).

2.3.4.14. *Influencia de los campos magnéticos*

La presencia de campos magnéticos durante la toma de mediciones con galgas extensiométricas puede alterar los resultados debido a los efectos de la magnetostricción y la magneto-resistencia. Si el material del elemento mecánico a ensayar tiene características ferromagnéticas, el efecto de magnetostricción influye en los cambios de la dimensión. Así mismo si el elemento mecánico es paramagnético, la magneto-resistencia puede dar lugar a una adquisición de datos erróneos. El efecto magneto resistivo se manifiesta mediante cambios en la resistencia eléctrica de un conductor debido a la presencia de campos magnéticos, lo cual sucede en casi todos los materiales ferromagnéticos.

La presencia de campos magnéticos variables puede inducir tensiones en los conductores eléctricos que generan errores en las medidas. Para evitar este efecto existen galgas no inductivas gracias a la forma del elemento conductor o a un apantallamiento. Los cables de conexión también se ven sometidos a este fenómeno, por lo cual es conveniente utilizar cables no inductivos o magnéticamente apantallados cuando se sospecha la presencia de campos magnéticos.

Los sistemas de alimentación y amplificación basados en modulación de frecuencia permiten eliminar por filtrado las interferencias creadas por campos magnéticos que no estén dentro de su ancho de banda. (17)

Utilizando sistemas de compensación, como por ejemplo configuraciones del puente de Wheatstone de $\frac{1}{2}$ puente, se consigue amortiguar los efectos de la presencia de los campos magnéticos. En algunos ensayos realizados para comprobar esto con diferentes tipos de galgas extensiométricas los resultados de las medidas no se vieron afectados hasta alcanzar el valor de inducción magnética de 2 Teslas (T).

Este valor es bastante alto, si tenemos en cuenta que el valor del campo magnético terrestre es de aproximadamente 5×10^{-5} T. (21). Por esta razón a modo orientativo se indica en la siguiente

tabla los valores más comunes de inducción magnética en nuestro medio:

Tabla 3-2: Valores comunes de inducción magnética

Inducción magnética	Elementos generadores de campos magnéticos
$\leq 2\text{mT}$	<ul style="list-style-type: none"> • Transformadores, fluorescentes, cableseleéctricos a $\approx 1\text{m}$. • Motores eléctricos.
2 50mT	<ul style="list-style-type: none"> • Los anteriores a distancias inferiores a 1m. • Cables y conductores con intensidades $\geq 5000\text{A}$ entre 3 y 5m o 1000A hasta 2m.
50 3200mT	<ul style="list-style-type: none"> • Motores eléctricos y generadores en las inmediaciones

Fuente: (21)

Realizado: Domínguez C; Tierra, I, 2021.

2.3.5. Campos de aplicación

Las galgas extensiométricas tienen una inmensidad de aplicaciones en varias ramas. Su principal estudio se basa en la medida de los esfuerzos y deformación de elementos mecánicos y estructuras.

Las galgas se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones a nivel industrial, de investigación en ingeniería y en todos los campos donde se requieran mediciones precisas de fuerza. Esas mediciones pueden ser de tres tipos:

- Estáticas: las referidas a soportes y estructuras resistentes sometidas a cargas fijas.
- Mixtas: cuando se realizan sobre soportes y estructuras sometidas a la acción de cargas de variación rápida.
- Dinámicas: realizadas sobre acciones de variación rápida como fenómenos de vibración, impacto, etc.

(22).

A continuación, se muestran algunas de las aplicaciones en donde se utilizan estos sensores.

2.3.5.1. Diseño mecánico y estructural

Su mayor aplicación la encontramos en las industrias del diseño mecánico y estructural, en donde es necesario realizar un control minucioso de la deformación en elementos mecánicos o estructurales como por ejemplo partes de aviones, automóviles, motocicletas, barcos, vagones y vías para tren, grúas, entre otros. (17).

Medición de desplazamiento

Relaciona la deformación que sufre un elemento con el desplazamiento de un punto específico en el cual se colocan las galgas extensiométricas. (17). En la figura 11-2 se puede apreciar la ubicación de las galgas en una viga en voladizo sometida a una fuerza.

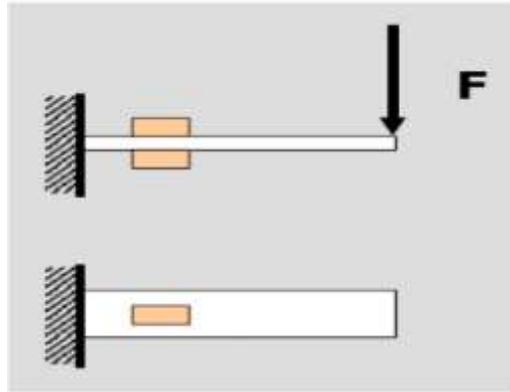


Figura 11-2: Colocación de galgas extensiométricas
Fuente: (22)

Medición de fuerza axial y peso

Relaciona la deformación sufrida por la galga con la fuerza o peso que actúa sobre el elemento mecánico o estructural. Es de las más comunes en el campo industrial. (17). En la figura 12-2 se aprecia la deformación que sufre el elemento al ser sometido a un peso.

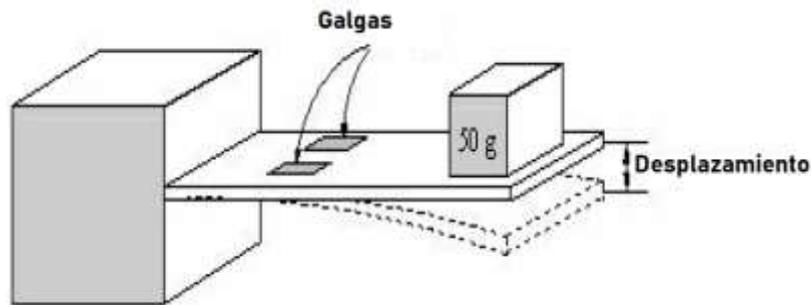


Figura 12-2: Dispositivo de medición de masas
Fuente: (22)

Medición de presión

La galga al ser adherida a un tipo de membrana nos permite la medición de presiones manométricas o absolutas. La galga fleja al existir una diferencia de presión entre los lados de la membrana elástica, esta deformación es medida por la galga y expresada a manera de presión. Como podemos observar en la siguiente figura. (17).

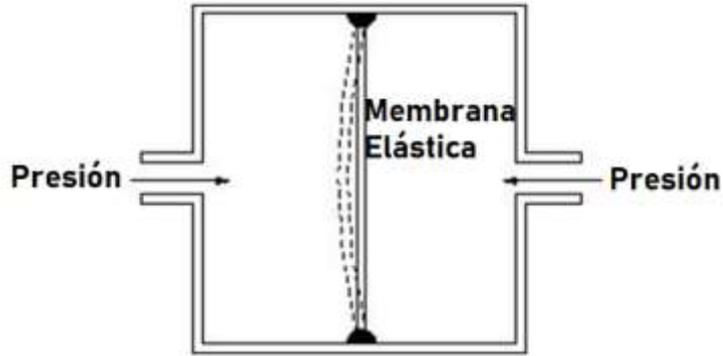


Figura 13-2: Sistema medidor de presión
Fuente: (17)

Medición de torque

El torque de un elemento mecánico es posible medirlo a través de una galga de tipo roseta al relacionar la deformación sufrida en el elemento y la de la galga. (17). En la figura 14-2 se esquematiza la ubicación de las galgas en un elemento sometido a torsión.

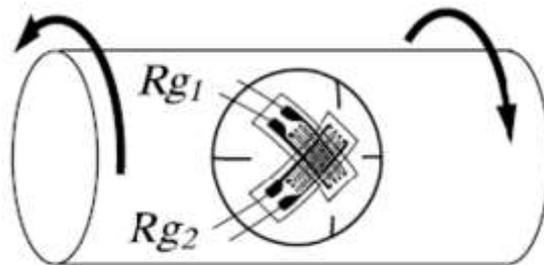


Figura 14-2: Sistema de medición de torque.
Fuente: (17)

Medición de vibraciones

Cuando un elemento mecánico vibra o genera vibraciones en una máquina debido a su desgaste genera esfuerzos los cuales se pueden medir con las galgas extensiométricas. (17). En la siguiente figura se visualiza un sistema con vibraciones medibles a través del uso galgas.

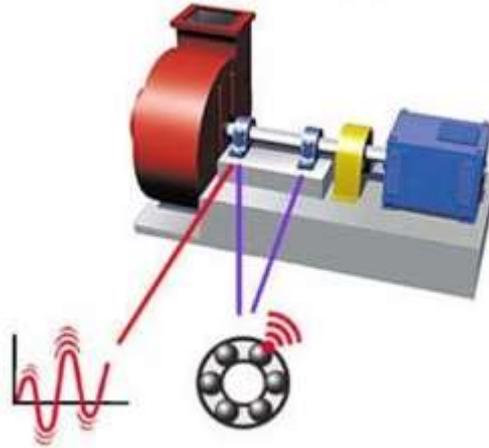


Figura 15-2: Sistema mecánico con presencia de vibraciones
Fuente: (17)

Medición de aceleración

Cuando un sistema está sometido a aceleración se produce una fuerza aplicada en la masa sísmica la cual ocasiona una flexión en la lámina de la galga extensiométrica ubicada en la unión del soporte y la masa. (17). En la figura 16-2 se puede apreciar el sistema mencionado en el cual se puede calcular la aceleración.

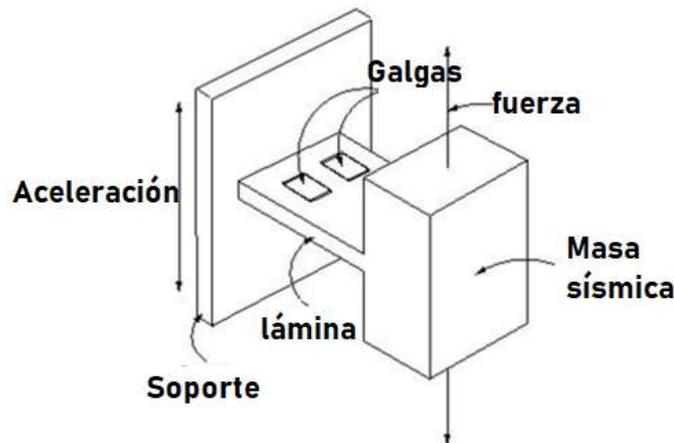


Figura 16-2: Acelerómetro
Fuente: (17)

2.3.5.2. Diseño y construcción de obras civiles

En ingeniería civil las galgas extensiométricas son usadas en el estudio de movimientos de diferentes estructuras, lo que permite realizar un monitoreo de las estructuras. Estos sensores se sitúan en edificios para saber si existe algún movimiento con el paso del tiempo de la estructura. La galga usada en esta aplicación es de tipo roseta, que se compone de dos o más redes que calculan la superficie de una estructura.

También se usan galgas extensiométricas para ejecutar estudios sobre materiales, como por ejemplo el hormigón. Esta aplicación se ejecuta cogiendo dos placas de metal donde se adhieren

las galgas, estas placas son situadas en la pieza de hormigón, material sobre el cual se realizan los estudios. Con esto, se puede obtener la deformación de la pieza y así poder ejecutar un estudio y análisis del comportamiento del material. (23).

2.3.5.3. Otras aplicaciones

Pantalla táctil

Es una pantalla que mediante el contacto táctil sobre su superficie admite la interacción entre el usuario y el ordenador. Este contacto también se puede ejecutar con lápiz u otros materiales parecidos. En la actualidad hay pantallas táctiles que logran instalarse sobre la pantalla normal. Las galgas extensométricas determinan la posición donde la pantalla ha sido palpada, por la presión aplicada en la pantalla.

Inclinómetro

Este dispositivo es manejado en topografía, para medir la inclinación del plano con respecto a la horizontal. Cuando esta herramienta es diseñada con galgas extensométricas, se usa el principio de deformación sobre un soporte de acero. Esta deformación es debida a la variación de fuerza de relación a la variación de ángulo respecto a la normal que tiene la base del dispositivo.

Detección de obstáculos

Se pueden usar galgas extensométricas en la obtención de obstáculos, como sensor de un robot. Se puede adherir estas a unas finas placas de metal que, al estrellarse con algún objeto del ambiente, se deformen ligeramente y esto provoque la variación de la resistencia de las galgas. Detectando esta variación se señalaría al robot que ha colapsado con algún objeto cercano.

2.3.6. Accesorios

Para garantizar un adecuado funcionamiento de las galgas extensométricas, y en consecuencia una correcta medición de las deformaciones y las cargas es necesario el uso de ciertos accesorios indicados cuyo uso imprescindible en la implantación y en la medición.

2.3.6.1. Equipo para implantación

Es menester el uso de varios accesorios para la implantación de la galga extensométrica en el elemento mecánico en el que se va a realizar las mediciones. El proceso para una correcta implantación es el siguiente:

Preparación del material

Es necesario garantizar una superficie sin rugosidades mayores, limpia de cualquier contaminante y químicamente apropiada, para lo cual utilizamos los siguientes materiales:

- Lijas: Limpia la superficie y reduce la cantidad de imperfecciones en la misma, con esto logramos que la superficie de contacto sea más efectiva y la adhesión sea mejor. Se recomienda el uso de lija de hierro #180 hasta obtener una superficie uniforme.
- Acetona: Remueve la grasa o aceite que se pudiera encontrar en la superficie donde se instalará la galga.
- Neutralizador: Limpia la superficie de adhesión, en el caso de que esta superficie este contaminada con alguna suciedad. (17).

Pegado de la galga

En esta etapa, la galga es adherida a la superficie previamente preparada tan pronto como sea posible para minimizar contaminación. (17).

- Pinzas: Se utilizan para impedir el contacto físico con las galgas.
- Cinta adhesiva transparente: Permite ubicar la galga de una manera precisa en el material.
- Adhesivo: Es un pegamento especial para galgas extensiométricas.

Soldado de terminales

Se suelda los filamentos de la galga al cable. Hay que hacerlo con cuidado en no quemar los filamentos.

- Terminales para las galgas: Se ocupan como apoyos para soldar los filamentos de las galgas con el cable que llevará la señal al puente, esta terminal se encontrará adherida al material a una distancia aproximada de 1.6mm del extremo de la galga.
- Soldador: Con un cautín se soldará los filamentos de las galgas con los cables que llevará la señal al puente de Wheatstone; se debe considerar del soldador sea de terminación plana tipo desarmador, el tiempo contacto debe ser mínimo.
 - Estaño: Utilizaremos estaño como material de aporte a la soldadura.
 - Cable: Conecta la galga extensiométrica con el puente de Wheatstone, el fabricante recomienda el uso de cables AWG #20 al #28. (17)

Protección de la galga

La galga necesita ser protegida de partículas externas de polvo, humedad, grasa e incluso cambios bruscos de temperatura que puedan afectar su correcto funcionamiento. La protección de la galga se lo realiza con un barniz, con el cual debemos cubrir la instalación completa. En ocasiones cuando el ambiente es muy hostil se recomienda la colocación de una capa extra de silicón o cera para protección mecánica y contra humedad. (17).

En la figura 17 podemos apreciar el equipo de implantación de la galga recomendado por el fabricante.



Figura 17-2: Equipo de implantación
Fuente: (18)

2.3. Sistema de medida

En la figura de a continuación se detalla el proceso para la adquisición de datos a través de galgas extensiométricas. El proceso cuenta de cuatro etapas concatenadas. La primera etapa es la galga extensiométrica, conectada a la siguiente etapa que es el puente de Wheatstone, la tercera etapa es el acondicionamiento de la señal a través de un adquisidor de datos y finaliza con la última etapa que es la de visualización.

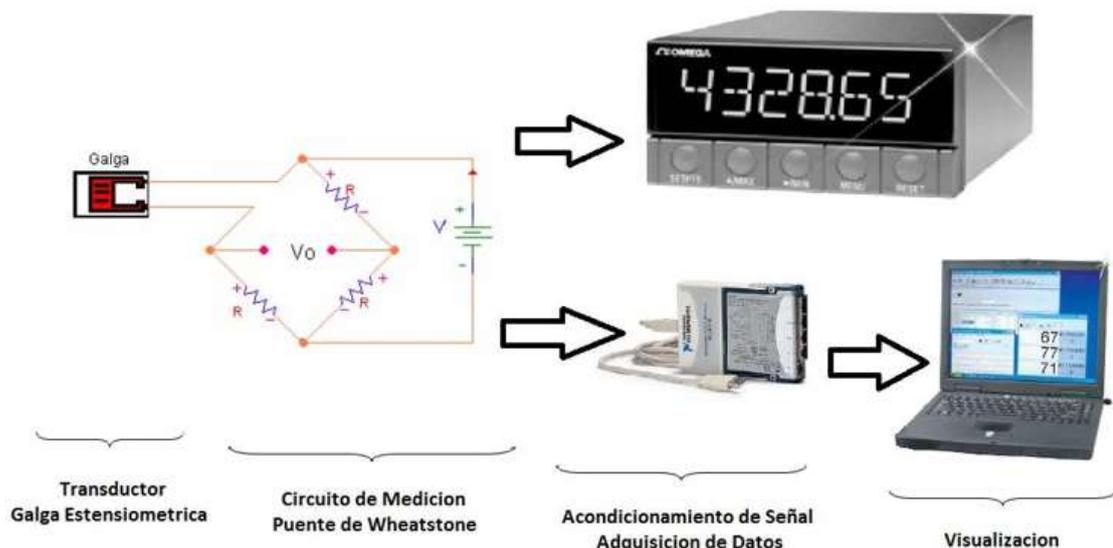


Figura 18-2: Proceso para la visualización de datos
Fuente: (17)

Las deformaciones que arrojan las galgas extensiométricas están en un rango de medidas o valores demasiado bajas, por lo tanto, los cambios en las resistencias también son muy pequeñas como para ser medidas de una forma directa, como se lo podría hacer con un equipo de baja sensibilidad como es el caso del ohmímetro.

Por lo tanto, las galgas extensiométricas deben ser adaptadas a un sistema de medición que sea más precisa y que se puedan registrar estas pequeñas variaciones, como se la puede ver en la

figura. Por lo tanto, para la medición con galgas extensiométricas lo componen: un circuito de adaptación, un sensor y un dispositivo de salida. (24).

En la figura 19-2 se puede observar el esquema del sistema para la obtención de datos a través del uso de galgas extensiométricas.

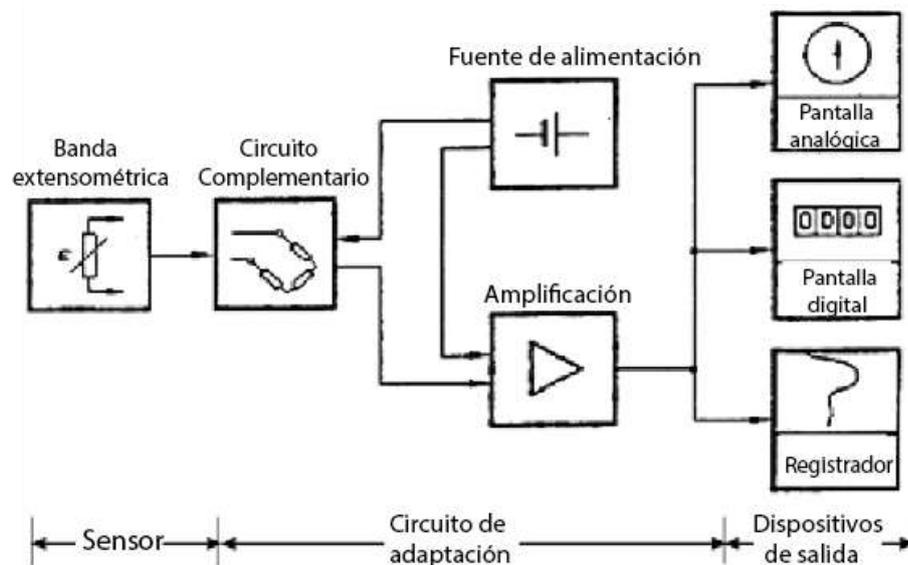


Figura 19-2: Esquema de un sistema para la medición de deformaciones con galgas extensiométricas
Fuente: (24)

2.3.1. Transductor

Son dispositivos que transforman los fenómenos físicos a señales eléctricas, en nuestro caso las galgas extensiométricas convierten la deformación sufrida por un elemento mecánico en variaciones mínimas de resistencia, las mismas que serán captadas por un circuito eléctrico. (17). Las galgas extensiométricas es uno de los primeros componentes que conforman el sistema de medición, ya que estas convierten la deformación mecánica en variaciones de resistencia (Puente de Wheatstone). (24)

2.3.2. Circuito de adaptación

Para la obtención de datos fiables de deformación a través del uso de galgas extensiométricas es necesario que se detecten la más mínima variación de voltaje, para lo cual nos valemos de un instrumento eléctrico conocido como puente de Wheatstone, el cual permite medir variaciones de voltaje muy pequeñas gracias a la disposición de sus resistencias. (17).

El puente es diseñado de tal forma que se encuentra en balance cuando la galga no está sometida a deformación alguna, es decir el voltaje obtenido de la medición de sus terminales es cero. A medida que la galga sufre deformaciones existe un desbalance en el puente y por ende existe una variación en las resistencias del voltaje el cual es proporcional a la deformación mencionada. (17).

El circuito de medición es el segundo componente, este circuito se muestra a continuación como un puente de Wheatstone la cual posee una galga en uno de sus brazos. Por esta galga pasa una energía para obtener una señal útil, dicha energía es tomada de una fuente externa habitualmente se usa un voltaje que sea constante. Cuando en la galga la resistencia cambia es debido a una deformación y a su vez el circuito del puente se desequilibra, por la cual se logra obtener una tensión la cual es proporcional al desequilibrio del puente. (24).

Como podemos observar en la figura 20-2 una manera sencilla para comprobar el estado de equilibrio del puente es la observancia de un valor de cero en el multímetro al medir el voltaje entre los puntos AB.

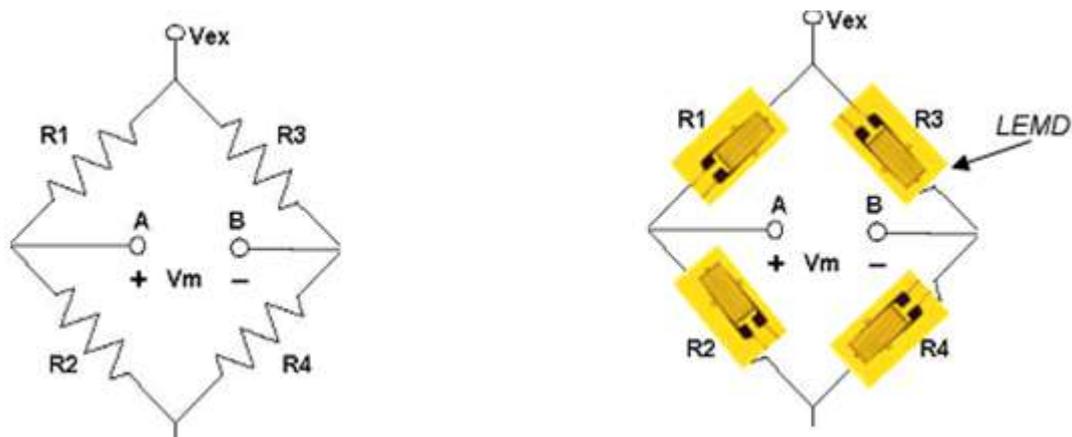


Figura 20-2: Puente de Wheatstone equilibrio
Fuente: (24)

2.3.3. *Puente de Wheatstone*

El científico inglés Sir Charles Wheatstone (1802-1875), en el año de 1843 realizó un circuito mediante el cual se hacía una medición muy precisa de una resistencia eléctrica, dicho circuito es nombrado hoy en día como “Circuito de puente de Wheatstone”. Dicho puente es muy necesario ya que a la hora de medir las deformaciones mecánicas se necesita detectar hasta la más mínima vibración, en pocas palabras micro deformaciones que son generadas por los espectros presentes en el entorno.

Para sus respectivas medidas de variaciones de voltaje de las galgas el puente se debe diseñar para que este balanceado cuando dicha galga extensiométrica no haya sufrido ninguna variación, en pocas palabras su voltaje de salida tiene que ser igual a cero. (24)

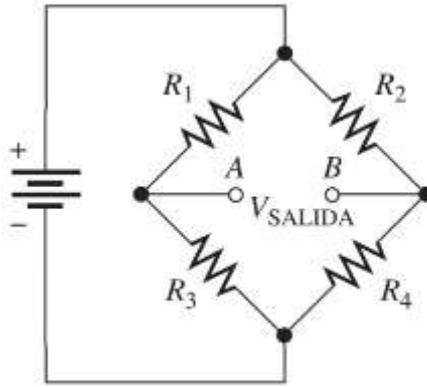


Figura 21-2: Puente de Wheatstone
Fuente: (24)

2.3.3.1. Tipos de configuración del puente de Wheatstone

Las galgas extensiométricas pueden ocupar una, dos o cuatro ramas del puente, como se observa en la siguiente tabla. En el caso de utilizarse una o dos galgas, el resto de las ramas del puente estarán ocupadas por resistencias fijas de alta exactitud y estabilidad.

Tabla 4-2: Tipos de configuración del puente de Wheatstone

Cuarto de puente	Medio puente	Puente completo

Fuente: (24).

Realizado: Domínguez C; Tierra, I, 2021.

En dicho sistema se debe incluir un amplificador de voltaje como tercer y último componente, ya que la función de dicho amplificador es la de elevar los datos o valores del voltaje para que se pueda realizar la lectura en los instrumentos indicadores y así registrar los valores de la variación del voltaje. (24).

Actualmente los módulos de adquisición de datos tienen en su interior el amplificador de voltaje, y también cuentan con otras características muy importantes para mejorar la calidad y nitidez de la señal y su lectura. (24).

Configuración de cuarto de puente

Se caracteriza por su baja sensibilidad en la medida, otro inconveniente con este tipo de configuración es que al existir una sola galga la auto compensación del puente se ve afectada por la temperatura lo que ocasiona una variación en el valor de la resistencia de la galga desequilibrando el puente. Otro problema que existe al ocupar esta configuración es la resistencia

que genera los cables que unen la galga extensiométrica con el resto el puente, pero esta puede ser compensada utilizando una conexión de tres cables para la galga. (17).

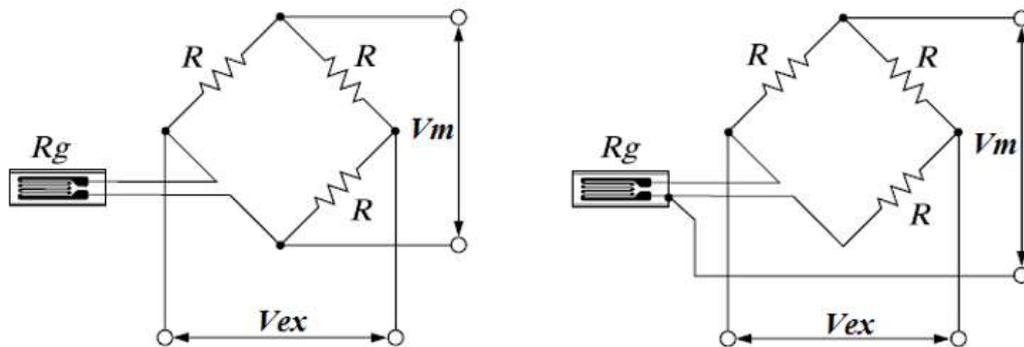


Figura 22-2: a) Conexión de dos cables, b) Conexión de tres cables
Fuente: (17)

Configuración de medio puente

Sirve para mejorar la sensibilidad de la medición y compensar los efectos de la temperatura que se puede generar en el momento de la medición. La temperatura se compensa con la utilización de una galga inactiva ubicada transversalmente con respecto a la primera, afectando así a ambas galgas el cambio de temperatura. (17).

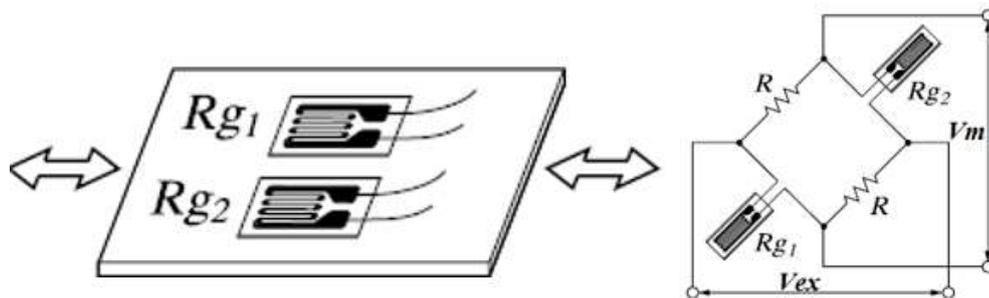


Figura 23-2: Configuración del puente para mejorar la medición
Fuente: (17)

Configuración de puente completo

La utilización de cuatro galgas mejora sustancialmente la sensibilidad del puente, también mejora la compensación de la temperatura en el momento de la medición, debido a sus características esta configuración se utiliza para la construcción de celdas de carga. (17).

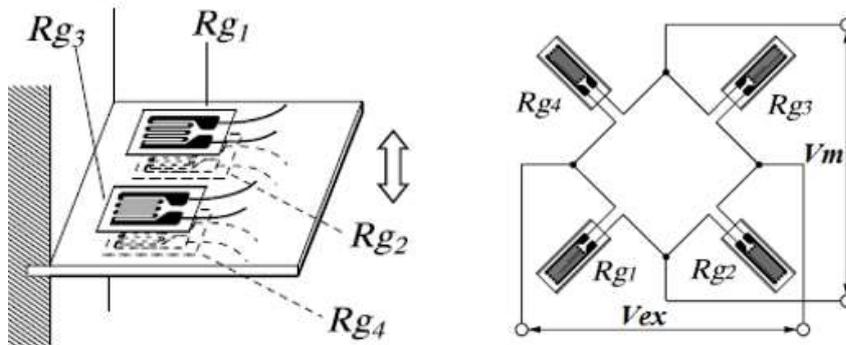


Figura 24-2: Configuración de puente completo
Fuente: (17)

2.3.3.2. Puente de Wheatstone equilibrado

Para que el puente de Wheatstone este equilibrado de una manera correcta se debe asegurar que el voltaje de salida en las terminales A y B sea 0; esto a su vez los voltajes en los extremos R_1 y R_2 sean igual a $V_1 = V_2$ y también los voltajes en R_3 y R_4 tienen que ser lo mismo a $V_3 = V_4$, a su vez esto se lo puede expresar como una relación de voltajes. (24).

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{V_2}{V_4} \quad (13)$$

También es posible reemplazar $V_x = I_x R_x$, de acuerdo con la ley de Ohm.

$$\frac{I_1 * R_1}{I_3 * R_3} = \frac{I_2 * R_2}{I_4 * R_4} \quad (14)$$

Ya que $I_1 = I_2$ y $I_3 = I_4$, se puede eliminar los términos de la corriente y llegar a esto:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (15)$$

Resolviendo para R_1 se logra obtener:

$$R_1 = R_3 \left(\frac{R_2}{R_4} \right) \quad (16)$$

Donde:

R : resistencia

V : voltaje

I : intensidad

Con esta última ecuación podemos encontrar el valor de la resistencia R_1 en función de las tres resistencias restantes cuando el puente estese equilibrado, de igual manera se puede encontrar el valor de cualquiera de las otras resistencias.

2.3.3.3. *Puente de Wheatstone desequilibrado*

El desequilibrio del puente de Wheatstone se efectúa cuando el voltaje de salida es diferente de cero, dicho puente en este estado se utiliza para medir cantidades físicas como presión, temperatura y deformación mecánica.

Esto se logra poniendo o integrando un transductor en dicho puente, esto hace que la resistencia del transductor varié en proporción a los calores que se esté midiendo. Con la conexión de las resistencias en los cuatro brazos del puente se debe obtener una expresión que esta a su vez no varié linealmente con respecto a su voltaje medido. (24).

$$V_m = V_{ex} \left(\frac{R_0(\Delta R_2 - \Delta R_1 + \Delta R_3 - \Delta R_4) + (\Delta R_2 * \Delta R_3 - \Delta R_1 * \Delta R_4)}{4 * R_0^2 + 2 * R_0 * (\Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4) + (\Delta R_1 + \Delta R_2) * (\Delta R_3 + \Delta R_4)} \right) \quad (17)$$

2.3.4. *Tratamiento de la señal*

Los valores registrados que se obtienen en la medición de esfuerzos son las variaciones del voltaje relacionados directamente con su cambio de longitud, por esta razón se debe o es necesario conocer el factor de la galga. (24).

Ya que dicho factor de galga extensiométrica es uno de los parámetros fundamentales de la misma, porque muestra dicha sensibilidad a la deformación, por lo cual se tiene la siguiente expresión:

$$k = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta l / l_0} \quad (18)$$

Donde:

k : factor de galga

ΔR : variación de la resistividad

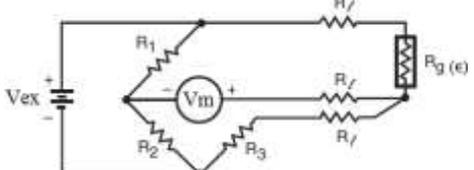
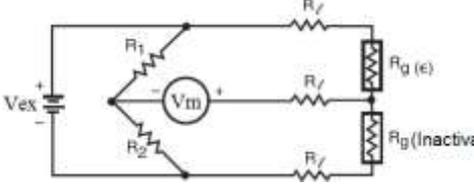
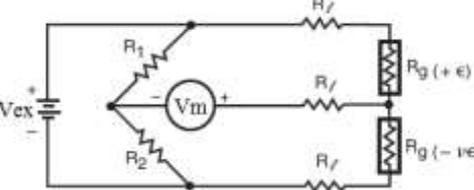
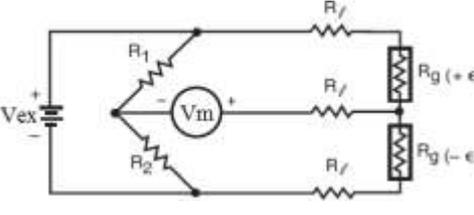
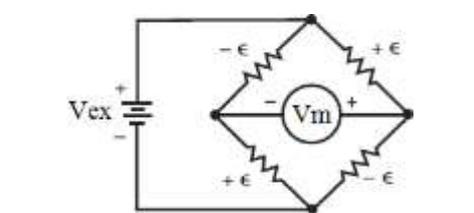
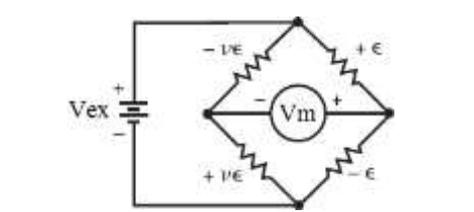
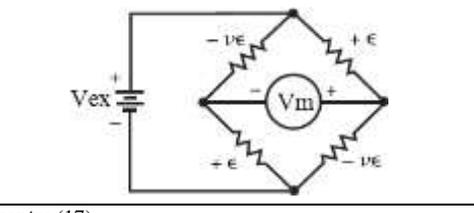
Δl : deformación

R_0 : resistencia inicial

l_0 : longitud inicial

Este valor del factor k es adimensional y sus respectivas ecuaciones de la deformación están en función del voltaje de salida, y este voltaje a su vez debe ser conocido; en la siguiente tabla se puede apreciar las ecuaciones de deformación para cada caso de puente. (24).

Tabla 5-2: Configuraciones de puente y ecuaciones de deformación.

Esquema del Puente de Wheatstone	Fórmulas de Deformación
	$\varepsilon = \frac{-4V_R}{GF \cdot (2V_R + 1)} * \left(1 + \frac{R_l}{R_g}\right) \quad (19)$
	$\varepsilon = \frac{-4V_R}{GF \cdot (2V_R + 1)} * \left(1 + \frac{R_l}{R_g}\right) \quad (20)$
	$\varepsilon = \frac{-4V_R}{GF \cdot [(1 + \mu) - 2V_R \cdot (\mu - 1)]} * \left(1 + \frac{R_l}{R_g}\right) \quad (21)$
	$\varepsilon = \frac{-2V_R}{GF} * \left(1 + \frac{R_l}{R_g}\right) \quad (22)$
	$\varepsilon = \frac{-V_R}{GF} \quad (23)$
	$\varepsilon = \frac{-V_R}{GF \cdot (\mu + 1)} \quad (24)$
	$\varepsilon = \frac{-2V_R}{GF \cdot [(\mu + 1) - V_R \cdot (\mu + 1)]} \quad (25)$

Fuente: (17)

Realizado: Domínguez C; Tierra, I, 2021.

2.3.5. Sistema de adquisición de datos

Los sistemas de adquisiciones de datos (DAQ) son muy utilizados para aplicaciones de laboratorios. Estos tipos de dispositivos son instrumentos utilizados específicamente para la medición de señales de voltaje, la mayoría de los transductores y sensores generan señales que se deben acondicionar antes que él (DAQ) pueda adquirir la señal con mucha precisión. (23). En la siguiente figura se puede apreciar un sistema de adquisición de datos.



Figura 25-2: Ejemplo del sistema de adquisición de datos
Fuente: (24).

2.3.6. Dispositivo DAQ

Para la adquisición de los datos se cuenta con la tarjeta NI 9219, el cual es un módulo universal de la serie C, con dicha tarjeta se logra medir diversas señales que provienen de los sensores como por ejemplo termocuplas, celdas de cargas, galgas extensiométricas, etc. Este tipo de tarjeta cuenta con cuatro canales por lo que en cada canal se registra una señal diferente a la otra. (24).

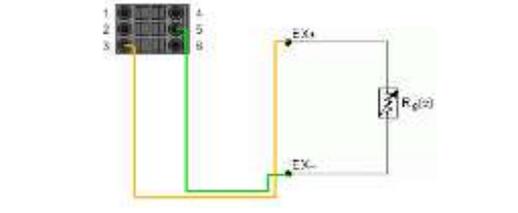
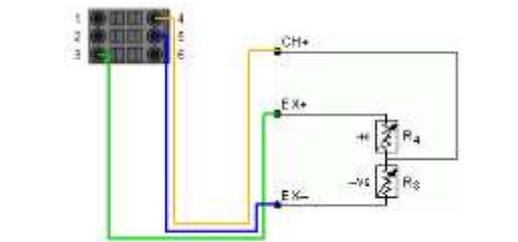
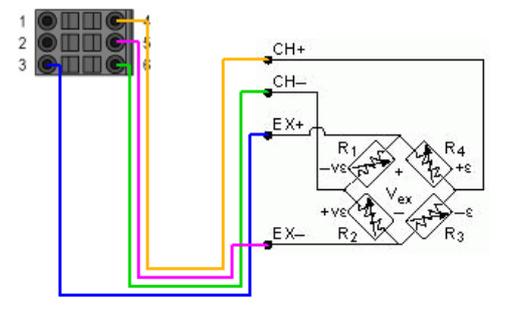


Figura 26-2: Tarjeta de adquisición de datos NI 9219.
Fuente: (25).

La tarjeta de la adquisición de los datos NI 9219 consta de 4 puertos físicos independientes, por lo que se registra valores diferentes en cada canal, ya que en cada canal se puede hacer la conexión de un arreglo desde cuatro puentes hasta un puente completo. (24).

Para su conexión de las galgas extensiométricas a la tarjeta de adquisición se tienen que seguir las instrucciones que vienen en el manual del fabricante para los diferentes arreglos del puente.

Tabla 6-2: Diagrama de Conexiones.

Diagrama de conexión	Tipo de puente
	$\varepsilon = \frac{-4V_R}{k(1 + 2V_R)} * \left(1 + \frac{R_l}{R_g}\right) \quad (26)$
	$\varepsilon = \frac{-4V_R}{k[(1 + \nu) + 2V_R(\nu + 1)]} * \left(1 + \frac{R_l}{R_g}\right) \quad (27)$
	$\varepsilon = \frac{-V_R}{k} \quad (28)$

Fuente: (24)

Realizado: Domínguez C; Tierra, I, 2021.

2.3.7. Dispositivo de salida

El monitor es el componente del sistema de medición que se realiza con las galgas, en la cual se convierte la señal del amplificador a otra señal que se pueda observar o visualizar en la pantalla por el usuario, ya que en la pantalla se mostrara las variaciones de amperios o voltios y su respectiva variación con el tiempo.

Para la adquisición de los datos existen varios softwares que no son licenciados o como se les dicen en pocas palabras pirateados, tales como pueden ser: Test Stand, Genera, Wonderware, etc. Por otro lado, también se puede hacer la adquisición de datos con programación de tarjetas Arduino, y así realizar las lecturas de estos valores en una pantalla, esta pantalla puede ser C++, Matlab o LabVIEW.

La principal ventaja de realizar la adquisición de los datos con la compañía National Instruments y LabVIEW es porque es muy compatible del software con los equipos físicos. (24).

2.3.8. LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación grafica que está diseñada para el diseño de adquisición y recolección de datos, control e instrumentación. Dicho programa permite diseñar al usuario mediante una consola basado en un software. Se puede diseñar según sea su requerimiento especificando su sistema funcional, ya sea con notación de diseño de ingeniería o también se puede diseñar con diagrama de bloques. (23)

2.3.8.1. Aplicaciones

Su mayor aplicación que tiene LabVIEW es en sistemas de medición, con monitorización de procesos de control, unos ejemplos pueden ser: laboratorios para clases virtuales, monitoreo en transportación, en procesos de controles industriales, etc. Dicho software es muy utilizado en procesamiento de señales digitales, también procesos en tiempo real, así como también la manipulación de imágenes y audio, etc. (23).

2.3.8.2. Programación gráfica

Cuando se estén diseñando programas con LabVIEW, siempre se debe trabajar bajo algo denominado VI (instrumento virtual).

Este VI se lo puede utilizar en cualquier otra aplicación como un subprograma dentro de un programa general. Los VI's se caracteriza por tener una interfaz con el usuario, también con la entrada de color de identificación de datos etc. (23).

2.4. Metodología QFD

2.4.1. Definición

El despliegue de función calidad (QFD), se define como: “La conversión de las demandas del consumidor en características de calidad y el desarrollo de una calidad de diseño para el producto terminado, mediante el despliegue sistemático de relaciones entre demandas y características, comenzando con la calidad de cada componente funcional y extendiendo el despliegue de la calidad a cada parte del proceso. La calidad global del producto se logra a través de la red de relaciones” (Akao y Asahi University 1997).

Esta metodología tiene como objetivo transformar los requerimientos expresados por el usuario, en requerimientos técnicos del producto, mediante una serie de fases y matrices específicamente delimitadas.

2.4.2. Fases de la metodología QFD

La esencia de la metodología es trasladar los requerimientos del usuario, traducirlos y transformarlos hasta obtener los requerimientos de producción, mediante una serie de fases y matrices.

- Fase 1.- La primera fase se enfoca totalmente en el diseño general del producto. Traduce las necesidades del cliente (los denominados QUE's) a medidas técnicas (los COMO's).
- Fase 2.- Se lleva a cabo la correlación y valoración entre las especificaciones de diseño y las características primordiales de los principales componentes.
- Fase 3.- La fase del proceso donde las especificaciones de los componentes se correlacionan y evalúan con las características del proceso de producción. Obteniendo las especificaciones de esta última.
- Fase 4.- La última fase, de producción. Se correlacionan las especificaciones del proceso con las características de producción para obtener las especificaciones de producción más apropiadas (Kim 1997).

2.4.3. Pasos para desarrollar el QFD

Se presenta los nueve pasos necesarios para desarrollar el despliegue de la función de calidad QFD con su respectiva descripción.

1. Consiste en determinar las necesidades del cliente (QUE's) para el producto o servicio concerniente. Para recolectar las necesidades del cliente se emplean encuestas, entrevistas, etc. Después un diagrama de afinidad puede ser usado para organizar las necesidades del cliente.
2. Las necesidades del cliente tienen diferente grado de importancia (del 1 al 5) por lo que es crítico trabajar sobre las más importantes. Esto se logra gracias a la puntuación que asigna el cliente a través de encuestas o entrevistas.
3. Saber las fortalezas y limitaciones de la compañía en todos los aspectos de un producto es esencial si quiere mejorar su competitividad en los mercados relevantes. Esto se hace mediante encuestas al cliente en donde se pide evaluar el desempeño relativo del producto de la compañía y el de sus competidores en cada uno de sus requerimientos.
4. Considerando la puntuación a la importancia relativa y a las prioridades competitivas para cada QUE, la puntuación final de la importancia sobre los QUE's puede ser obtenida para el producto de la compañía. Los QUE's son puntuaciones finales altas indican importancia y beneficios potenciales al negocio de la compañía.
5. Las medidas técnicas (COMO's), pueden relacionarse con medir las necesidades del cliente (QUE's). Son identificadas por técnicos o directamente por el equipo de desarrollo del producto.
6. La matriz de relaciones entre los QUE's y los COMO's es un medio sistemático para identificar el grado de relacionan entre cada QUE y cada COMO.
7. La puntuación técnica para cada COMO es una medida comprensiva que indica el grado en el que un COMO está relacionado con todos los QUE's. Estas puntuaciones están decididas por dos

factores: las puntuaciones finales de importancia de los QUE's y la relación entre los COMO's y los QUE's.

8. La comparación técnica es la evaluación del desarrollo del producto de la compañía y los productos de sus principales competidores en cada COMO.

9. Las puntuaciones finales técnicas para los COMO's se producen al integrar la información de las puntuaciones y las comparaciones técnicas (Chan y Wu 1998).

2.4.4. Beneficios del QFD

- *Orientado al cliente.* - Comparación entre la organización y la competencia en satisfacer las necesidades del cliente.

- *Eficiente en tiempo.* - Reduce el tiempo de desarrollo al centrarse en requerimientos de los clientes específicos y claramente identificados.

- *Orientado al trabajo en equipo.* - Las decisiones están basados en el consenso e incluye discusión a fondo y tormenta de ideas.

- *Orientado a la documentación.* - Reúne todos los datos pertinentes acerca de todos los procesos.

2.5. Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo es una herramienta en la cual se puede identificar las diversas tareas que componen un proceso, ayudando a identificar posibles costos ocultos que no generan valor al producto, asimismo muestra todos los procesos, retrasos, transportes, almacenajes e inspecciones. Este tipo de diagramas contiene los tiempos, costos y las distancias utilizadas en la elaboración de un producto (Niebel y Freivalds, 2009).

2.5.1. Simbología según norma ASME

Tabla 7-2: Símbolos de la norma ASME para elaborar diagramas de flujo

Símbolo	Descripción
	Operación: Indica las fases del proceso.
	Inspección: Verificación de calidad y/o cantidad.
	Desplazamiento o transporte: Movimiento de empleados, material y equipo de un lugar a otro.
	Depósito provisional o espera: Indica demora en el desarrollo de los hechos
	Almacenamiento permanente: Indica depósito de un documento o información dentro de un archivo u objeto cualquiera en un ensamble.

Fuente: (Vanegas Useche 2018)

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Definición del producto

3.1.1. Identificación de las necesidades

En la Facultad de Mecánica, carrera de Mecánica existen cátedras que ayudaran con el desarrollo del proyecto, y estas son: mecánica de sólidos, diseño de elementos de máquina y diseño de sistemas y equipos mecánicos. En estas se analiza contenidos referentes a la resistencia y deformaciones a las que están sometidos elementos mecánicos cuando están expuestos a cargas externas. Estos conocimientos se ven en la necesidad de ser complementados con prácticas de laboratorio que le permitan al estudiante desarrollar esos conocimientos y lograr un mejor aprendizaje. En la actualidad la carrera si bien dispone de laboratorios, estos se ven incompletos ante la antigüedad o ausencia de ciertos bancos de pruebas. Por lo que se vio la necesidad de la implementación de un banco de prácticas de extensometría, el cual ayudará al estudiante a diagnosticar las deformaciones que sufren los elementos mecánicos cuando están sometidos a diferentes cargas.

3.1.2. Despliegue de la función de calidad (casa de la calidad)

Mediante el siguiente análisis es posible obtener los requisitos o requerimientos del usuario, el mismo indica las necesidades en lo que comprende al desempeño, costos, usabilidad y por último el diseño para luego estos requerimientos traducirlos en requerimientos técnicos para que se lleve a cabo el proyecto.

Tabla 1-3: Voz del usuario

Desempeño	Visibilidad correcta de datos	B
	Silencioso	B
	Multifuncionalidad para diferentes practicas	B
	Seguridad de operación	E
Usabilidad	Pedagógico	B
	Simplicidad en el cambio de probeta	E
	Dimensiones compactas	O
	Fácil manejo	B
	Peso ligero	O
	Fácil control y toma de datos	B
Costos	Costos de construcción	B
	Costo de adquisición de componentes	B

Diseño	Eficiente	B
	Materiales resistentes	O
	Estéticamente atractiva	E
	Diseño seguro	B

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

3.1.2.1. Evaluación del usuario

Tabla 2-3: Resultados de las encuestas aplicadas

	Referencia	Muy importante 5	Importante 4	Relativamente importante 3	Poco importante 2	Nada importante 1	Total encuestados	Promedio de importancia	Promedio aproximado
Pregunta 1	Visibilidad correcta de datos	20	9	1	0	0	30	4.63	5
Pregunta 2	Silencioso	10	13	4	2	1	30	3.97	4
Pregunta 3	Multifuncional para diferentes practicas	13	10	5	1	0	30	4.07	4
Pregunta 4	Seguridad de operación	26	2	0	1	1	30	4.70	5
Pregunta 5	Pedagógico	19	9	2	0	0	30	4.57	5
Pregunta 6	Simplicidad en el cambio de probeta	15	11	3	1	0	30	4.33	4
Pregunta 7	Dimensiones compactas	11	10	5	4	0	30	3.93	4
Pregunta 8	Fácil manejo	17	9	4	0	0	30	4.43	4
Pregunta 9	Peso ligero	5	11	10	3	1	30	3.53	4
Pregunta 10	Fácil control y toma de datos	16	11	3	0	0	30	4.43	4
Pregunta 11	Costos de construcción	10	11	7	2	0	30	3.97	4
Pregunta 12	Costo de adquisición de componentes	9	14	6	1	0	30	4.03	4
Pregunta 13	Eficiente	17	11	2	0	0	30	4.50	5
Pregunta 14	Materiales resistentes	17	10	3	0	0	30	4.47	4
Pregunta 15	Estéticamente atractiva	5	10	11	4	0	30	3.53	4
Pregunta 16	Diseño seguro	22	7	1	0	0	30	4.70	5

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

3.1.2.2. Análisis de competitividad

Una parte de la matriz QFD está compuesta por la ponderación de algunos equipos ya existentes en el mercado, para este caso se tomó en cuenta dos equipos similares que tienen características muy similares.

Tabla 3-3: Análisis de competitividad

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
		Importancia	Propia empresa	Politécnica salesiana	Universidad Santo Tomás	Objetivo	Índice de mejora	Factor de venta	Ponderación	% Ponderación	
Desempeño	Visibilidad correcta de datos	B	5	1	4	4	3	3	●	22.5	10.32
	Silencioso	B	4	1	3	4	2	2		8	3.67
	Multifuncionalidad para diferentes practicas	B	4	1	2	4	2	2	●	9.6	4.40
	Seguridad de operación	E	5	1	4	4	3	3		15	6.88
Usabilidad	Pedagógico	B	5	1	3	4	3	3	●	22.5	10.32
	Simplicidad en el cambio de probeta	E	4	1	4	4	3	3	●	14.4	6.60
	Dimensiones compactas	O	4	1	3	3	3	3		12	5.50
	Fácil manejo	B	4	1	3	3	2	2		8	3.67
	Peso ligero	O	4	1	2	4	2	2		8	3.67
	Fácil control y toma de datos	B	4	1	2	4	3	3	●	18	8.26
Costos	Costo de construcción	B	4	1	3	3	3	3		12	5.50
	Costos de adquisición de componentes	B	4	1	3	3	3	3		12	5.50
Diseño	Eficiente	B	5	1	3	4	3	3	●	18	8.26
	Materiales resistentes	O	4	1	3	2	3	3		12	5.50
	Estéticamente atractiva	E	4	1	2	3	2	2		8	3.67
	Diseño seguro	B	5	1	4	4	3	3	●	18	8.26
									218	100	

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

Tabla 4-3: Voz del usuario y voz del ingeniero

Desempeño	Visibilidad correcta de datos	B
	Silencioso	B
	Multifuncionalidad para diferentes practicas	B
	Seguridad de operación	E
Usabilidad	Pedagógico	B
	Simplicidad en el cambio de probeta	E
	Dimensiones compactas	O
	Fácil manejo	B
	Peso ligero	O
	Fácil control y toma de datos	B
costos	Costo de construcción	B
	Costos de adquisición de componentes	B
Diseño	Eficiente	B
	Materiales resistentes	O
	Estéticamente atractiva	E
	Diseño Seguro	B

Estándares y normas
Carga máxima en la probeta
Sensibilidad mínima de la galga
Didáctico
Operatividad
Multifuncionalidad
Versatilidad
Espacio máximo de trabajo
Intuitivo
Volumen del equipo
Diseño eficiente
Costos directos
Costos indirectos
Ergonomía
Materiales resistentes
Interface de usuario

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

Competencia 1:

Universidad Politécnica Salesiana

Producto. – Banco de pruebas para laboratorio de extensometría

Descripción:

La Universidad Politécnica Salesiana cuenta con una prensa hidráulica para las prácticas de laboratorio, con lo que se refiere a deformaciones de los elementos.



Figura 1-3: Banco de pruebas de la Universidad Politécnica Salesiana
 Fuente: (17)

Equipo de medición



Figura 2-3: Equipo de medición banco de pruebas UPS
 Fuente: (17)

Competencia 2:

Universidad Santo Tomás

Producto. – Mesa para medición de deformaciones mediante galgas

Descripción:

La plataforma que se observa se encuentra en el laboratorio de Mecánica de dicha Universidad, a la cual se le implemento el uso de las galgas extensiométricas para medición de deformaciones.



Figura 3-3: Banco de pruebas de la Universidad Santo Tomás

Fuente: (24)

Equipo de medición



Figura 4-3: Equipo de medición banco de pruebas UST
Fuente: (24)

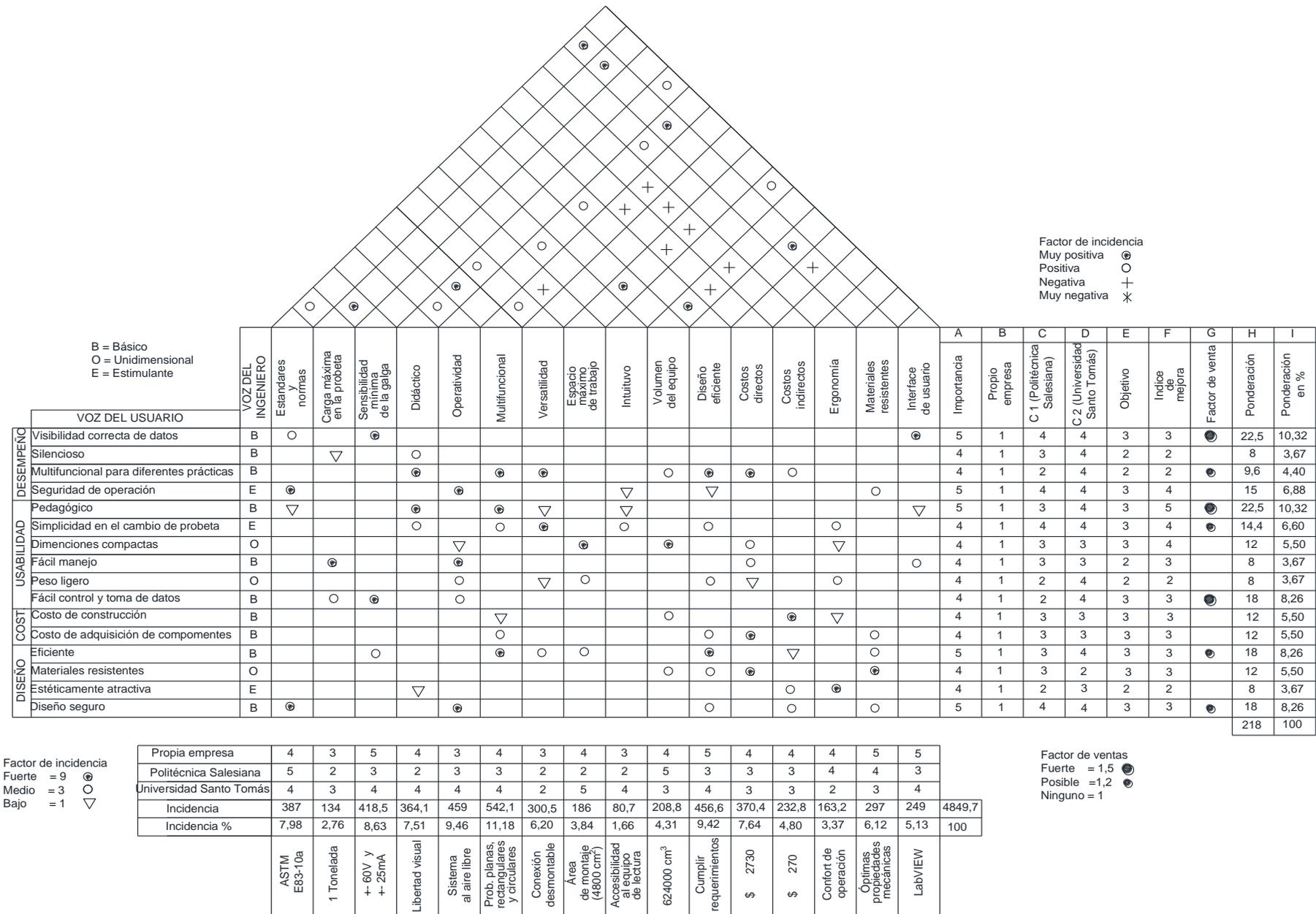


Figura 5-3: Casa de calidad
 Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

3.2. Diseño conceptual

3.2.1. Análisis funcional y modular

Una de las principales funciones de esta máquina es poder visualizar en una pantalla las deformaciones que se generan en los diferentes materiales mediante galgas extensiométricas, por esta razón en esta parte se pretende descomponer las funciones básicas, para que dicha máquina tenga un funcionamiento y operación correcta, y así ser una máquina de ensayos cuyas características sean intuitivas y también didácticas.

Al momento que se logre definir los tipos de funcionamiento de la máquina, se lograra una estructura funcional/modular, y así se indicara los niveles o subniveles de todo el sistema.

Análisis funcional nivel 0



Figura 6-3: Nivel 0 función primaria del equipo

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

Definición de módulos funcionales

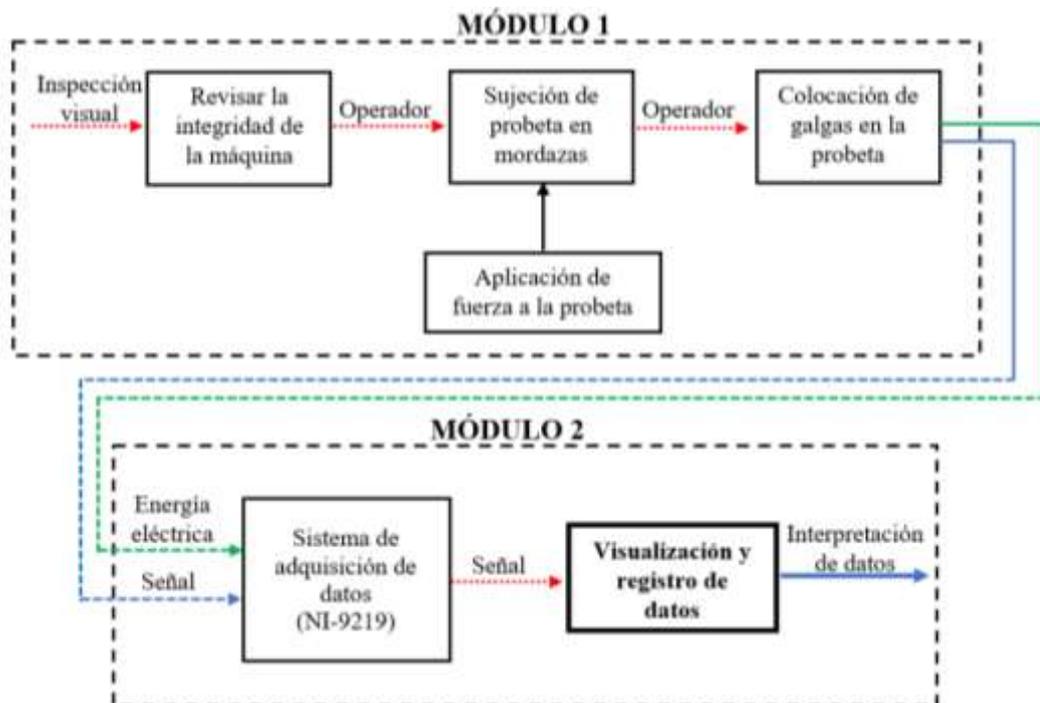


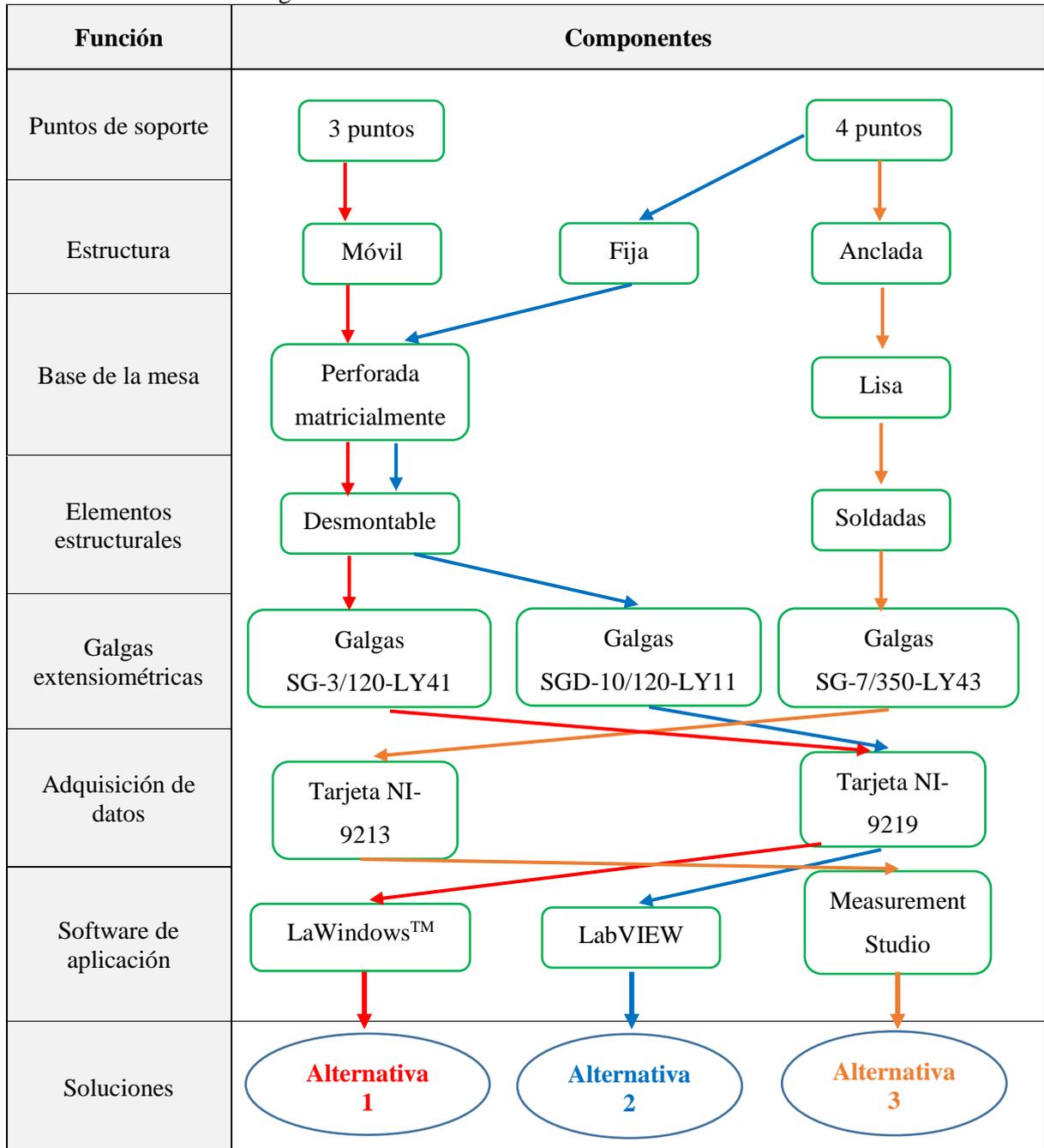
Figura 7-3: Módulos funcionales

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

3.2.2. Matriz morfológica

En la matriz morfológica se muestra los diferentes equipos que se pueden realizar mediante una adecuada selección, para si poder satisfacer las necesidades del cliente, ya que de todas las posibles alternativas solo una seria la más adecuada para su construcción, cumpliendo con las expectativas de la voz del usuario.

Tabla 5-3: Matriz morfológica



Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

3.2.3. Análisis funcional

En esta parte se va a establecer la evaluación de las características funcionales principales de la propuesta del diseño y construcción del prototipo, las mismas que fueron analizadas desde los materiales de la masa hasta el software de programación.

3.2.3.1. Función: módulo estructural

Para esta función existen las siguientes soluciones:

Solución A: Estructura móvil

Solución B: Estructura fija

Solución C: Estructura anclada

Criterios de valoración

A continuación, se describen los criterios de valoración más importantes:

- Bajo peso: Ya que el prototipo tiene que ser desplazado de un lugar a otro con una o dos personas sin la utilización de maquinaria para su levantamiento y desplazamiento.
- Costo: Debe tener un costo accesible para poder construirlo en su totalidad y así garantizar su funcionamiento.
- Estabilidad: Es de gran importancia su estabilidad para que el prototipo no tenga vibraciones al momento de su funcionamiento.
- Dimensiones: Para que el operario tenga comodidad al momento de realizar los ensayos en la máquina.

Con lo que se detalló anteriormente se va a evaluar cada peso específico existente en este módulo.

$$\text{peso} > \text{costo} > \text{estabilidad} = \text{dimensiones}$$

Tabla 6-3: Evaluación de los criterios más importantes para la selección de la estructura

Criterio	Peso	Costo	Estabilidad	Dimensiones	$\Sigma+1$	Ponderación
<i>Peso</i>	-	1	1	1	4	0,40
<i>Costo</i>	0	-	1	1	3	0,30
<i>Estabilidad</i>	0	0	-	0.5	1.5	0,15
<i>Dimensiones</i>	0	0	0.5	-	1.5	0,15
				Suma	10	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

A continuación, se procede a evaluar los pesos específicos de cada criterio

$$\text{solución A} > \text{solución B} = \text{solución C}$$

Tabla 7-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio peso

Peso	Soluc. A	Soluc. B	Soluc. C	$\Sigma+1$	Ponderación
<i>Soluc. A</i>	-	0	0	1	0,167
<i>Soluc. B</i>	1	-	0,5	2,5	0,417
<i>Soluc. C</i>	1	0,5	-	2,5	0,417
				6	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

*solución C > solución A > solución B***Tabla 8-3:** Evaluación del peso específico con respecto al criterio costo

Costo	Soluc. A	Soluc. B	Soluc. C	$\Sigma+1$	Ponderación
<i>Soluc. A</i>	-	0	0	1	0,167
<i>Soluc. B</i>	1	-	1	3	0,50
<i>Soluc. C</i>	1	0	-	2	0,333
				6	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

*solución B > solución A > solución C***Tabla 9-3:** Evaluación del peso específico con respecto al criterio estabilidad

Estabilidad	Soluc. A	Soluc. B	Soluc. C	$\Sigma+1$	Ponderación
<i>Soluc. A</i>	-	0	0	1	0,167
<i>Soluc. B</i>	1	-	0	2	0,333
<i>Soluc. C</i>	1	1	-	3	0,50
				6	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

*solución A > solución B = solución C***Tabla 10-3:** Evaluación del peso específico con respecto al criterio dimensiones

Estabilidad	Soluc. A	Soluc. B	Soluc. C	$\Sigma+1$	Ponderación
<i>Soluc. A</i>	-	0	0	1	0,167
<i>Soluc. B</i>	1	-	0,5	2,5	0,417
<i>Soluc. C</i>	1	0,5	-	2,5	0,417
				6	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

Por último, se efectúa la tabla de conclusiones para a si observar la tabla de ponderación para cada alternativa.

Tabla 11-3: Tabla de conclusiones de la estructura del equipo.

Conclusión	Peso	Costo	Estabilidad	Dimensiones	Σ	Prioridad
Soluc. A	0,167x0,4	0,167x0,30	0,167x0,15	0,167x0,15	0,167	3
Soluc. B	0,417x0,4	0,50x0,30	0,333x0,15	0,417x0,15	0,429	1
Soluc. C	0,417x0,4	0,333x0,30	0,50x0,15	0,417x0,15	0,404	2

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

En la Tabla 18-3, se muestran las prioridades con respecto a la estructura, en donde según la ponderación se llega a la conclusión que la solución B (estructura fija) es la de mayor importancia, seguida de la solución C (estructura anclada) y por último la solución A (estructura móvil). Por esta razón la solución B cumple con los requerimientos del usuario.

3.2.3.2. Función: módulo de control

Para esta función existen las siguientes soluciones:

Solución A: Tarjeta NI- 9219 + LaWindows™

Solución B: Tarjeta NI-9219 + LabVIEW

Solución C: Tarjeta NI-9213 + Measurement Studio

Criterios de valoración

A continuación, se describen los criterios de valoración más importantes:

- a) Costo: Tiene que ser accesible para poder adquirirlo
- b) Facilidad de programación: Su programación y su interfaz tiene que ser de fácil realización para que el usuario pueda operarla.
- c) Precisión: Los datos que se adquieren y se procesan en la tarjeta deben tener una exactitud muy alta.
- d) Capacidad de memoria: Debe tener una memoria grande para que los datos adquiridos se procesen de una forma nítida

Con los datos recopilados se va evaluar el peso específico para el módulo de control.

$$\text{costo} > \text{programación} > \text{precisión} > \text{memoria}$$

Tabla 12-3: Evaluación de los criterios más importantes para la selección del módulo de control

Criterio	Costo	Programación	Precisión	Memoria	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	1	1	1	4	0,40
Programación	0	-	1	1	3	0,30

<i>Precisión</i>	0	0	-	1	2	0,20
<i>Memoria</i>	0	0	0	-	1	0,10
				Suma	10	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

A continuación, se va a evaluar cada peso específico, para encontrar su ponderación de cada una de ellas.

solución C > solución A > solución B

Tabla 13-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio costo

Costo	<i>Soluc. A</i>	<i>Soluc. B</i>	<i>Soluc. C</i>	$\Sigma+1$	Ponderación
<i>Soluc. A</i>	-	1	0	2	0,333
<i>Soluc. B</i>	0	-	0	1	0,167
<i>Soluc. C</i>	1	1	-	3	0,50
				6	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

solución B > solución A > solución C

Tabla 14-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio de programación

Programación	<i>Soluc. A</i>	<i>Soluc. B</i>	<i>Soluc. C</i>	$\Sigma+1$	Ponderación
<i>Soluc. A</i>	-	0	1	2	0,333
<i>Soluc. B</i>	1	-	1	3	0,50
<i>Soluc. C</i>	0	0	-	1	0,167
				6	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

solución B = solución A > solución C

Tabla 15-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio de precisión

Precisión	<i>Soluc. A</i>	<i>Soluc. B</i>	<i>Soluc. C</i>	$\Sigma+1$	Ponderación
<i>Soluc. A</i>	-	0,5	1	2,5	0,417
<i>Soluc. B</i>	0,5	-	1	2,5	0,417
<i>Soluc. C</i>	0	0	-	1	0,167
				6	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

solución B = solución A > solución C

Tabla 16-3: Evaluación del peso específico con respecto al criterio de memoria

Memoria	Soluc. A	Soluc. B	Soluc. C	Σ+1	Ponderación
Soluc. A	-	0,5	1	2,5	0,417
Soluc. B	0,5	-	1	2,5	0,417
Soluc. C	0	0	-	1	0,167
				6	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

Por último, se efectúa la tabla de conclusiones para a si observar la tabla de ponderación para cada alternativa

Tabla 17-3: Tabla de conclusiones del módulo de control del equipo

Conclusión	Costo	Programación	Precisión	Memoria	Σ	Prioridad
Soluc. A	0,333x0,4	0,333x0,30	0,417x0,20	0,417x0,10	0,2582	3
Soluc. B	0,167x0,4	0,50x0,30	0,417x0,20	0,417x0,10	0,3419	1
Soluc. C	0,50x0,40	0,167x0,30	0,167x0,20	0,167x0,10	0,300	2

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021

Finalmente, en la Tabla 17-3, se muestran las prioridades con respecto al módulo de control, en donde según la ponderación se llega a la conclusión que la solución B (Tarjeta NI-9219 + LabVIEW) es la de mayor importancia, seguida de la solución C (Tarjeta NI-9213 + Measurement Studio) y por último la solución A (Tarjeta NI- 9219 + LaWindows™). Por esta razón la solución B cumple con los requerimientos del usuario.

3.3. Selección de prácticas

Las prácticas de laboratorio permitirán a los estudiantes de la Carrera de Mecánica fortalecer y esclarecer conceptos y verificarlos a través de la experimentación en el banco de pruebas para prácticas de extensometría.

Para la selección de las prácticas de laboratorio realizables en el banco de pruebas, se realizó una revisión del sílabo de las asignaturas Mecánica de Sólidos y Diseño de Elementos de Máquinas, correspondientes a la malla curricular de la Carrera de Mecánica de la ESPOCH. Se realizó una revisión de guías de laboratorio existentes y se determinó si las condiciones y equipos de laboratorio existentes permitirían aplicarlas.

Las prácticas a realizar en el laboratorio con el banco de pruebas para prácticas de extensometría serán de tipo no destructivo, es decir que durante las mismas no se sobrepasará el límite elástico del material de las probetas, debido a que, de hacerlo, no solo se deformará permanentemente el material si no también las

galgas extensiométricas dejándolas con alteraciones en sus mediciones y en algunas ocasiones inservibles, lo que desencadenaría en un mayor costo en el desarrollo del proyecto. A continuación, se detallan las prácticas que se propone realizar.

3.3.1. *Determinación del módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.*

Como primera práctica se propone la determinación del módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson de elementos mecánicos elaborados con materiales utilizados frecuentemente en ingeniería. En esta práctica los estudiantes podrán realizar una comparativa entre los datos obtenidos en la medición con las galgas extensiométricas y los datos existentes en libros.

3.3.2. *Ensayo de flexión en elementos mecánicos en voladizo*

En esta práctica los estudiantes podrán colocar varios elementos mecánicos empotrados gracias a las mordazas del banco de pruebas para prácticas de extensometría en una configuración en voladizo. Esta práctica permitirá a los estudiantes calcular la deformación, la deflexión y la deformación en determinados puntos del elemento mecánico y compararlo con los resultados obtenidos con las galgas extensiométricas.

3.3.3. *Ensayo de flexión en elementos mecánicos doblemente empotradas*

En esta práctica los estudiantes podrán colocar varios elementos mecánicos doblemente empotrados en las columnas a través de las mordazas del banco de pruebas para prácticas de extensometría. Esta práctica permitirá a los estudiantes calcular la deformación, la deflexión y la deformación en determinados puntos del elemento mecánico y compararlo con los resultados obtenidos con las galgas extensiométricas.

3.4. Selección de galgas y accesorios

3.4.1. *Generalidades*

Una correcta selección de galga extensiométrica es el paso más importante a realizar para el desarrollo de este proyecto, por lo tanto, es el primer paso a seguir. La selección adecuada de un tipo de galga conlleva una selección racional de las características de la galga y sus parámetros de funcionamiento. Una acertada selección de tipo de galga extensiométrica nos permite:

- Optimizar el rendimiento de la galga extensiométrica bajo condiciones de operación específicas.
- Adquirir datos precisos y confiables.
- Minimizar el costo de instalación.
- Colocar las galgas extensiométricas con una geometría adecuada en número y posición.

3.4.2. Proceso de selección

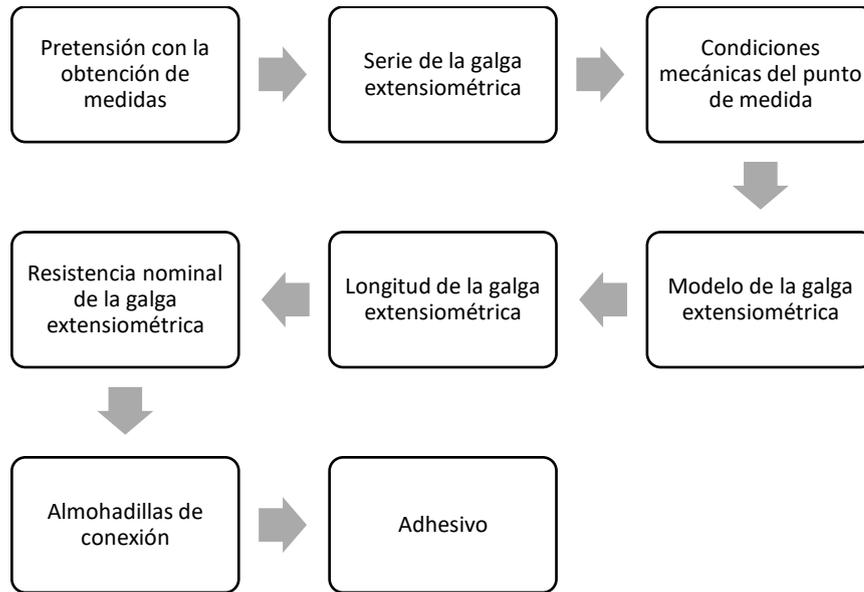


Figura 8-3: Proceso de selección de galgas y accesorios.

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.4.2.1. Modelo y serie de la galga extensiométrica

La serie y el modelo de la galga extensiométrica establecen las tres características más importantes en la selección de las galgas.

La serie define la aleación con la que está fabricada la rejilla de la galga y el material de la matriz portadora. El modelo por su parte establece la configuración de la rejilla de la galga extensiométrica.

En conjunto estos parámetros definen la selección de una galga para un trabajo específico. Por lo tanto, se presenta el siguiente diagrama de flujo el cual nos ayudará a la correcta selección.

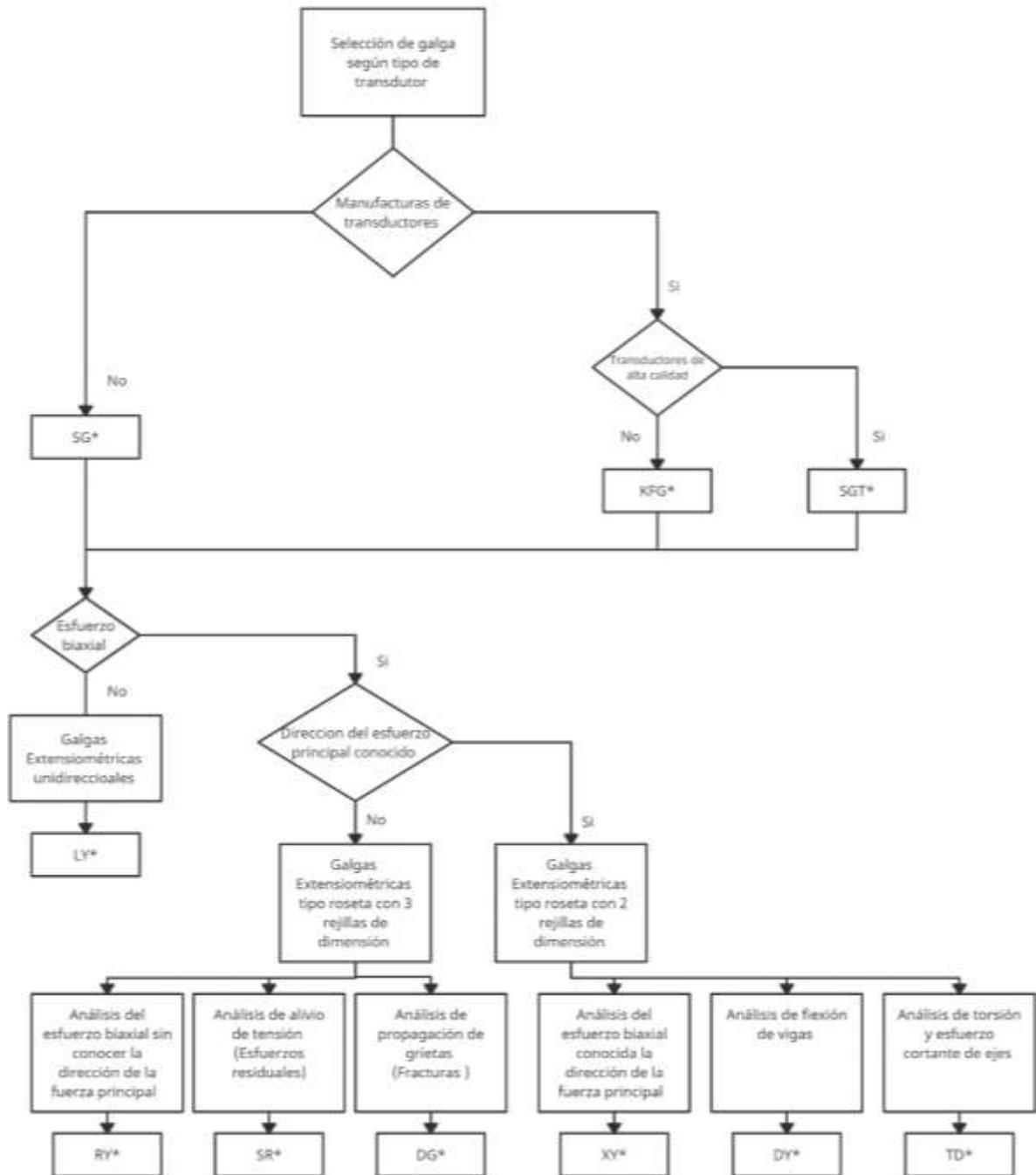


Figura 9-3: Proceso para la selección de la serie y el modelo de galga
 Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.4.2.2. Longitud de la galga extensiométrica

Se debe considerar que la longitud activa de la galga extensiométrica debe considerarse únicamente la rejilla, ya que los demás componentes de esta son insensibles a la deformación debido a su sección.

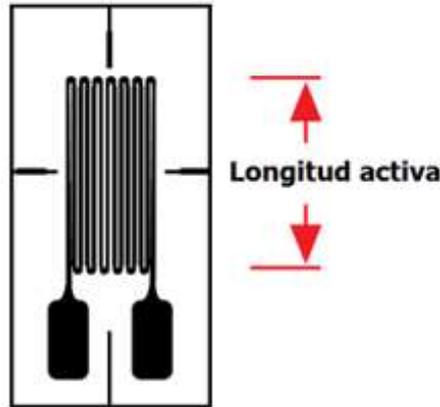


Figura 10-3: Longitud galgas
Fuente: (17)

Las galgas extensiométricas tienden a medir el valor promedio de la deformación de la zona en la que están ubicadas, debido a que su medición no es uniforme a lo largo de toda la rejilla. Es importante una selección adecuada de longitud de la galga ya que, si se coloca una galga sobredimensionada con respecto a la región a medir, está medirá una deformación inferior a la real.

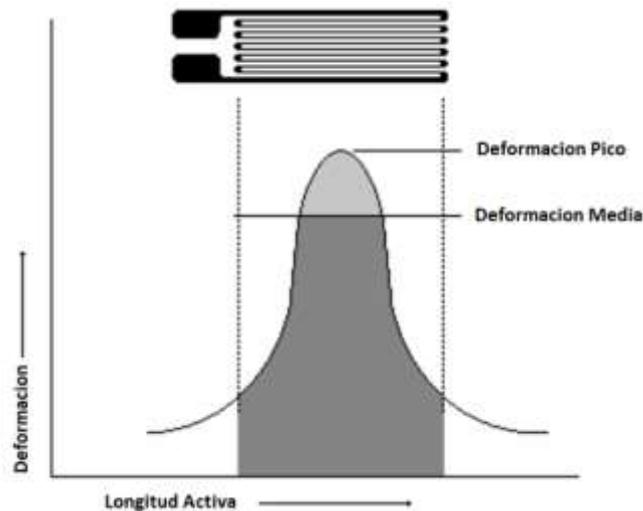


Figura 11-3: Zona de medición de una galga extensiométrica
Fuente: (17)

Existen dos tipos de galgas según su longitud y se detallan a continuación:

Galgas cortas

Tienen una longitud entre 1,5mm hasta 6mm y tienden a presentar pérdidas en el rendimiento, sobre todo en alargamiento máximo y su resistencia a fatiga por cargas cíclicas.

Galgas largas

Su longitud es superior a 6mm, entre sus principales ventajas, estas galgas ofrecen una mayor manejabilidad al momento de la instalación y en el proceso de cableado. Su mayor área de contacto permite una mayor disipación de calor manteniendo un buen rendimiento y precisión cuando se colocan sobre materiales que tengan una alta transferencia de calor.

No obstante, (18), en su guía general para selección de galgas extensiométricas sugiere que, si durante la medición no se van a realizar mediciones de concentración de esfuerzos o mediciones en materiales no homogéneos, se utilice galgas cuya longitud oscile entre 3 y 6 milímetros.

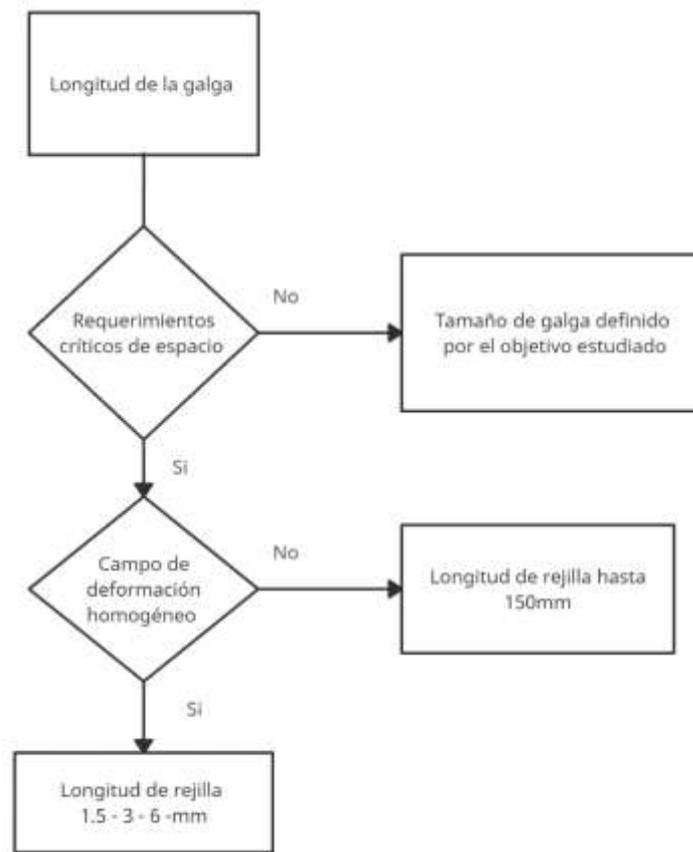


Figura 12-3: Proceso para la selección de la longitud de la galga
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.4.2.3. Resistencia nominal de la galga extensiométrica.

El valor nominal de la resistencia es uno de los principales factores a tomar en cuenta en la selección de la galga. Para este caso en particular debido a la libertad de escoger la resistencia para el desarrollo del proyecto, se busca una galga con características resistivas altas para disminuir la sensibilidad del circuito y minimizar las variaciones en la señal inesperadas por fluctuaciones en la temperatura.

Comercialmente en Ecuador hay galgas extensométricas que tienen valores nominales entre 120 Ω y 350 Ω , el fabricante OMEGA oferta galgas para importación directa que alcanzan resistencias de hasta 1000 Ω .

3.4.2.4. Almohadillas de conexión.

Son las encargadas de actuar como puntos de anclaje, alivian la tensión del sistema de galgas, es decir protegen el conductor fino ante el movimiento del conector grueso.

Son utilizadas como puntos de soldadura para unir el conductor fino de la galga extensiométrica con el conductor de calibre grueso.

Se seleccionan a partir del número de identificación de las galgas, el fabricante en su catálogo nos ilustra en la tabla de información de la galga, el tipo de almohadilla adecuada. Así lo podemos observar en la figura 39-3.

Número de identificación de la galga extensiométrica Código de la almohadilla de conexión

To Order (Specify Model Number)										
TYPE SERIES Diagrams to Actual Size	MODEL NO.	PRICE PER PKG OF 10	NOMINAL RESISTANCE (Ω)	DIMENSIONS (MM) GRID CARRIER				MAX. PERMITTED BRIDGE ENERGIZING VOLTAGE (V RMS)	ACCESSORY TERMINAL PADS	
				A	B	C	D		PART NO.	FIG.
✓ Encapsulated with Solder Pads (Accessory Terminal Pads Are Used for Strain Relief and Connecting Different Wire Gages)	SG-1.5/120-LY41	\$45	120	1.5	1.1	4.8	3.5	2.5	TP-1	1
	SG-2/350-LY41	45	350	2.0	2.5	7.8	6.0	4	TP-1	2
	SG-3/120-LY41	49	120	3.0	1.5	8.0	4.0	4	TP-2	3
	SG-3/350-LY41	45	350	3.0	2.5	8.0	6.0	8	TP-2	3
	SG-6/120-LY41	62	120	6.0	3.0	12.5	6.0	9	TP-3	4
LY41 Temperature characteristics matched to steel	SG-7/350-LY41	65	350	7.0	3.5	14.0	8.0	15	TP-3	4
	SG-7/1000-LY41	135	1000	7.0	3.8	12.0	6.0	20	TP-3	4
	SG-10/120-LY41	69	120	10.8	3.2	16.4	6.3	15	TP-3	5
LY43 Temperature characteristics matched to aluminum	SG-13/1000-LY41	115	1000	13.5	5.5	24.0	12.0	30	TP-3	5
	SG-1.5/120-LY43	45	120	1.5	1.1	4.8	3.5	3	TP-1	1
	SG-2/350-LY43	45	350	2.0	2.5	7.8	6.0	5	TP-1	2
	SG-3/120-LY43	49	120	3.0	1.5	8.0	4.0	6	TP-2	3
	SG-3/350-LY43	45	350	3.0	2.5	8.0	6.0	8	TP-2	3
	SG-6/120-LY43	62	120	6.0	3.0	12.5	6.0	10	TP-3	4
	SG-7/350-LY43	65	350	7.0	3.5	14.0	8.0	15	TP-3	4
	SG-7/1000-LY43	135	1000	7.0	3.8	12.0	6.0	20	TP-3	4
	SG-10/120-LY43	69	120	10.8	3.2	16.4	6.3	15	TP-3	5
	SG-13/1000-LY43	115	1000	113.5	5.5	24.0	12.0	30	TP-3	

Figura 13-3: Guía para la selección de las almohadillas de conexión.
Fuente: (18).

3.4.2.5. Adhesivo

Una selección adecuada del tipo de adhesivo garantiza las condiciones idóneas para una toma de medidas correcta. El adhesivo condiciona el factor de la galga, la histéresis, la disipación de potencia y la transmisión térmica. Entre las características a considerarse en la selección debemos considerar las siguientes:

- Rango de temperatura en las que pueden utilizarse.
- Características de linealidad, fluencia e histéresis.
- Número de componentes.
- Tiempo de secado.
- Necesidad de presión y calentamiento.
- Capacidad de deformación.

- Estabilidad a largo plazo.

La utilización de un adhesivo tipo cianocrilato o de resinas epoxi, suele venir indicada por el fabricante de las galgas en función del material a ensayar, el rango de temperatura de trabajo y el tipo de galga utilizada.

3.5. Selección de equipo

Una adecuada selección del equipo de medición requiere tener en cuenta las características vistas con anterioridad, estas serán parte de los dos sistemas fundamentales para adquirir datos.

Las dos características para considerar son:

- Adquisición de datos
- Conversión digital

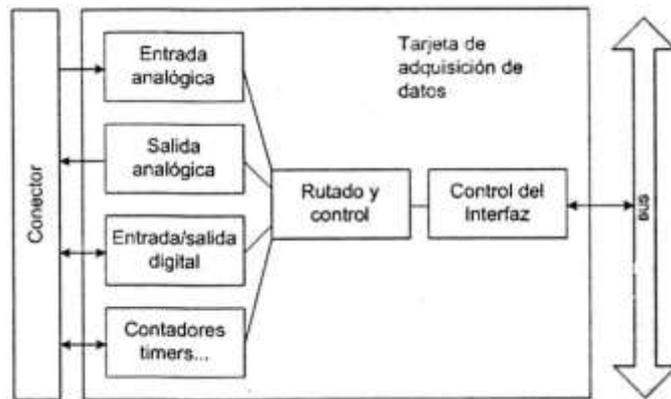


Figura 14-3: Esquema de bloques de una tarjeta de adquisición de datos
Fuente: (17)

3.5.1. Adquisición de señales analógicas

Los canales de entrada de la tarjeta de adquisición de datos se multiplexean y después pasan al siguiente bloque donde el amplificador de ganancia programable adecua el nivel de la señal con el afán de aprovechar la totalidad de su rango, el siguiente bloque elimina toda frecuencia que sobrepase el límite de la frecuencia seleccionada, posteriormente tenemos el circuito de muestreo y retención (SH) y un convertidor analógico a digital (A/D), y finalmente se almacena la información en una memoria FIFO como se puede apreciar en la siguiente figura.

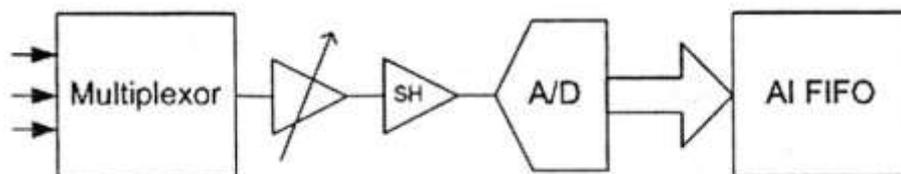


Figura 15-3: Esquema típico de un canal de entrada analógico
Fuente: (17)

La captura de la señal, es análoga la cual se realiza por medio de la galga, de acuerdo al funcionamiento antes descrito, el Flujoograma de la señal lo podemos visualizar de la siguiente manera:

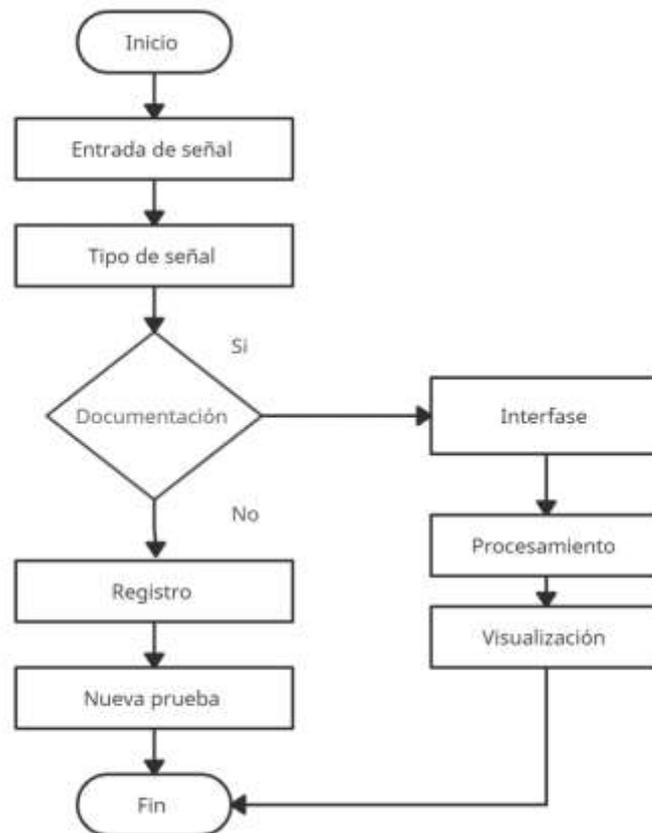


Figura 16-3: Flujoograma del proceso de captura de la señal.
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.5.2. Digitalización

La digitalización es el paso clave en la adquisición de datos, para lo cual se utiliza un circuito de muestreo y retención, el cual toma una tensión de entrada y la mantiene estable durante el tiempo necesario hasta que el conversor pueda calcular el valor digital de salida.

Muestrear una señal es obtener el valor de esta en ciertos momentos, esos valores son muestras de la señal o samples. En la adquisición continua se puede considerar por simplicidad que el tiempo entre una muestra y la siguiente será constante, a esto se lo denomina frecuencia de muestreo y lo podemos visualizar en la figura 36-3.

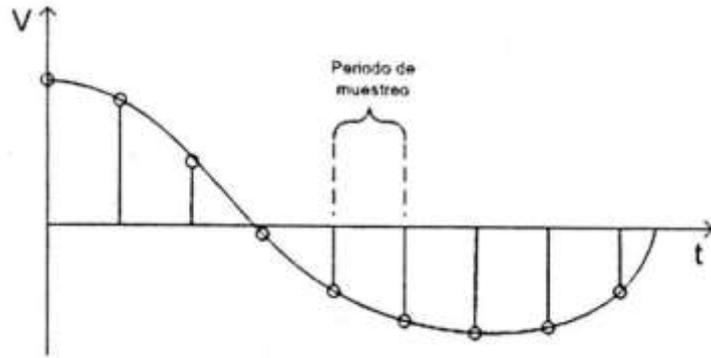


Figura 17-3: Proceso de muestreo de una señal.
Fuente: (17)

El otro paso es la codificación del valor muestreado a su representación digital. Para esto se divide todo el rango de tensiones de entrada del conversor en varios niveles y a cada uno de ellos se les asocia con un código binario.

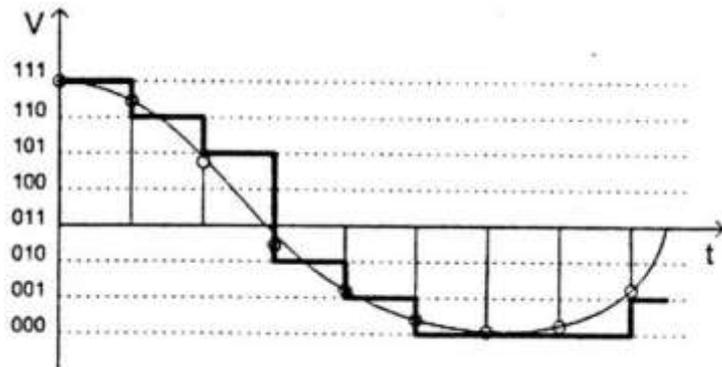


Figura 18-3: Representación de la señal en digital.
Fuente: (17)

El sistema de adquisición de datos se desarrolla en LabVIEW para dar cumplimiento a lo especificado en el diagrama de flujo, se debe realizar la adquisición y tratamiento de señales, para posteriormente exportarlas en un archivo el cual permita el análisis de los valores.

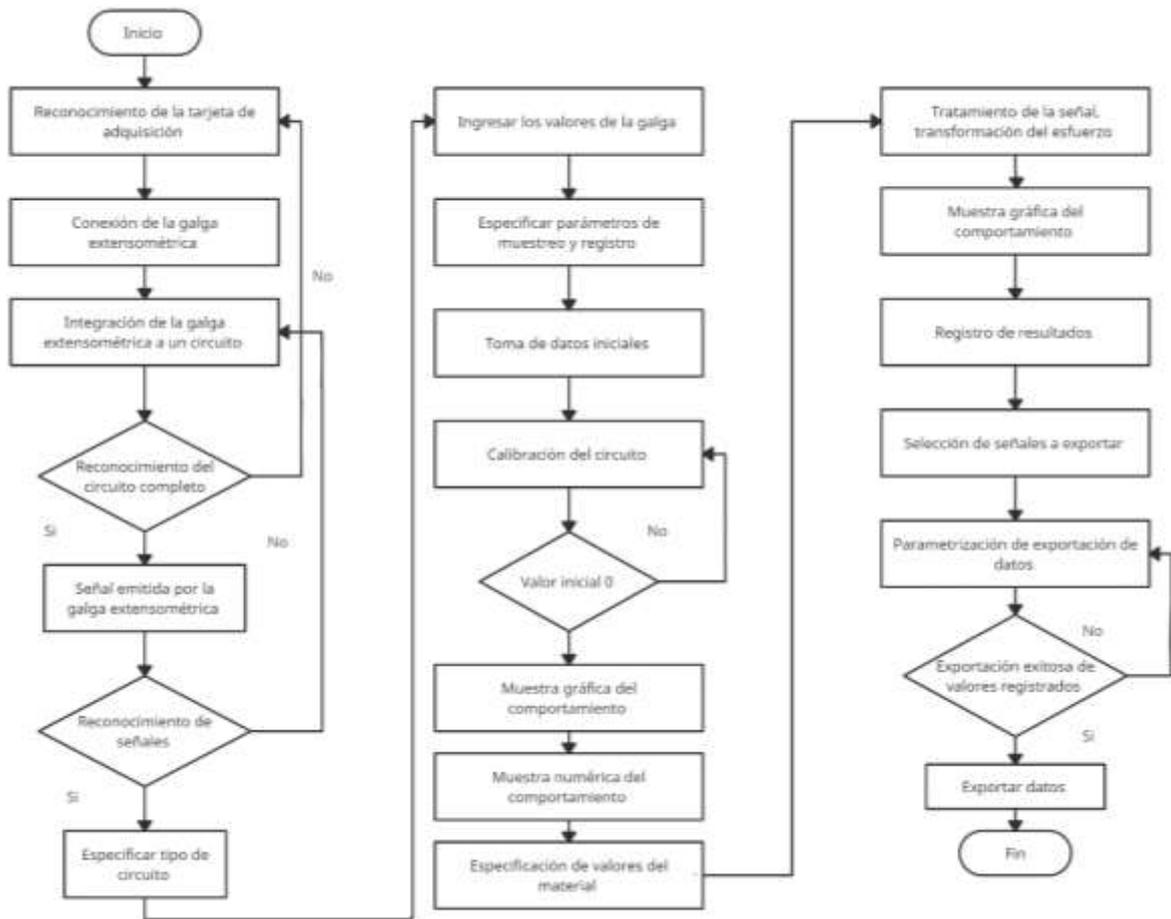


Figura 19-3: Diagrama de operaciones del sistema de adquisición de datos.
 Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.6. Equipos seleccionados

Una vez finalizado el proceso de selección de galgas extensiométricas y accesorios basados en las consideraciones necesarias y los requisitos que presenta el desarrollo del banco de pruebas, se seleccionó los elementos presentados a continuación:

3.6.1. Galga extensiométrica

Se seleccionó una galga unidireccional ya que cumple las condiciones para la determinación del módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y ensayos de flexión.

La longitud de la rejilla se seleccionó basados en las recomendaciones del fabricante OMEGATM y de las dimensiones de las probetas optando por una de resistencia de 120Ω que minimice el riesgo de sobrecalentamiento de la galga.

Tabla 18-3: Características galga OMEGA SGD-10/120-LY11

SGD-10/120-LY11	
Marca	OMEGA™
Procedencia	Estados Unidos
Material de la rejilla	Constantán
Material de la matriz portadora	Poliamida
Rango de temperatura	-75°C a 200°C
Rango de deformación	3%
Deformación máxima	30 000 micro deformaciones
Resistencia eléctrica	120 Ω
Factor de la galga	2.00
Voltaje de alimentación	6 V
Longitud activa	6.3 mm
Ancho de la rejilla	4.9 mm
Sensibilidad transversal	Insignificante
Tipo de conexión	Cables de cinta
Número STC	ST

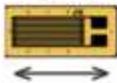
Fuente: (18)

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.6.2. Almohadillas de conexión

Como lo habíamos revisado en el punto 3.1.1.4 las almohadillas de conexión se seleccionan según el modelo de galga seleccionada, de este modo obtenemos la siguiente selección.

Tabla 19-3: Tabla de selección de almohadilla para la galga SGD-10/120-LY11

To Order										
GAGE PATTERN <small>Leads not shown</small>	MODEL NO. <small>Pkg of 10</small>	NOM. RESIS-TANCE <small>(Ω)</small>	DIMENSIONS <small>mm (inch)[†]</small>				MAX V* <small>(Vrms)</small>	TERMINATION	TEMP COMP	TERM PAD
			GRID		CARRIER					
			A	B	C	D				
	SGD-10/120-LY11	120	10.00	4.90	17.70	8.00	14	Ribbon Leads	ST	
	SGD-10/120-LY13	120	(0.394)	(0.193)	(0.697)	(0.315)	19	Ribbon Leads	AL	
	SGD-10/120-LY41	120	Linear pattern, Large size 120 Ω				14	Solder Pads	ST	
	SGD-10/120-LY43	120					19	Solder Pads	AL	

Fuente: (18)

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

Tabla 20-3: Características almohadillas para galga BTP-5

Número de identificación de la galga seleccionada					
SGD-10/120-LY11					
BTP seleccionado					
BTP-5					
Tiras por paquete	Dimensiones (mm)				
	A	B	C	D	E
20	6	8.5	2.3	32.4	1.8

Fuente: (18)

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.6.3. Adhesivo

El adhesivo es determinado por el fabricante de las galgas, en este caso, *OMEGATM* recomienda el uso del adhesivo SG-496 de Loctite.

Tabla 21-3: Características del adhesivo Loctite SG-496

SG-496			
Componente	Cianocrilato		
Contenido neto	1 oz		
Tiempo de mínimo de pegado	Acero	60 a 120	Seg.
	Aluminio	50 a 100	Seg.
	Plástico	10 a 60	Seg.
Tiempo de curado (20°C)	Dinámicas	10	Min.
	Estáticas	15	Min.
Tiempo de fijación	24 horas		
Tiempo de vida útil	1 año		
Temperatura de funcionamiento	-54°C a 82°C		

Fuente: (18)

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.6.4. Equipo de medición

La selección del equipo de medición se realizó analizando las características ofertadas por distintos proveedores, además de la versatilidad y facilidad de adquisición. El equipo seleccionado es de alta

resolución, por lo que se obtendrán datos confiables. En la tabla 29-3 se detallan las características del equipo.

Está diseñado para pruebas de usos múltiples. Con el NI-9219, usted puede medir señales desde sensores como galgas extensiométricas, detectores de resistencia de temperatura (RTDs), termopares, celdas de carga y otros sensores; así como medidas de corriente de cuarto de puente, medio puente y puente completo con excitación de voltaje y corriente integrada. Cada canal es seleccionado individualmente, así usted puede realizar un tipo de medida diferente en cada canal.

Tabla 22-3: Equipo de medición NI-9219

NI ENET-9219	
Canales de medición	4 canales universales independientes
Sistema de comunicación	Ethernet
Señales de medición	Galgas extensiométricas, RTDs, termopares, celdas de carga entre otras.
Resolución	24 bits
Rango de medidas	$\pm 60V$ para voltaje y $\pm 25mA$ para corriente
Aislamiento entre canales	250V _{rms}
Software de servicios	DAQ Assistant, LabVIEW SignalExpress
Software de aplicación	LabVIEW, LabWindows™, Measurement Studio, Visual Basic

Fuente: (25)

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.7. Construcción

Después de haber concluido con el diseño mecánico, análisis funcional dónde se encontró la mejor alternativa y un diseño eficiente, se procedió a desarrollar los planos por lo que se continua con la construcción para ello se ha buscado un taller calificado de tal manera que nos permita obtener un trabajo final garantizado y de excelencia.

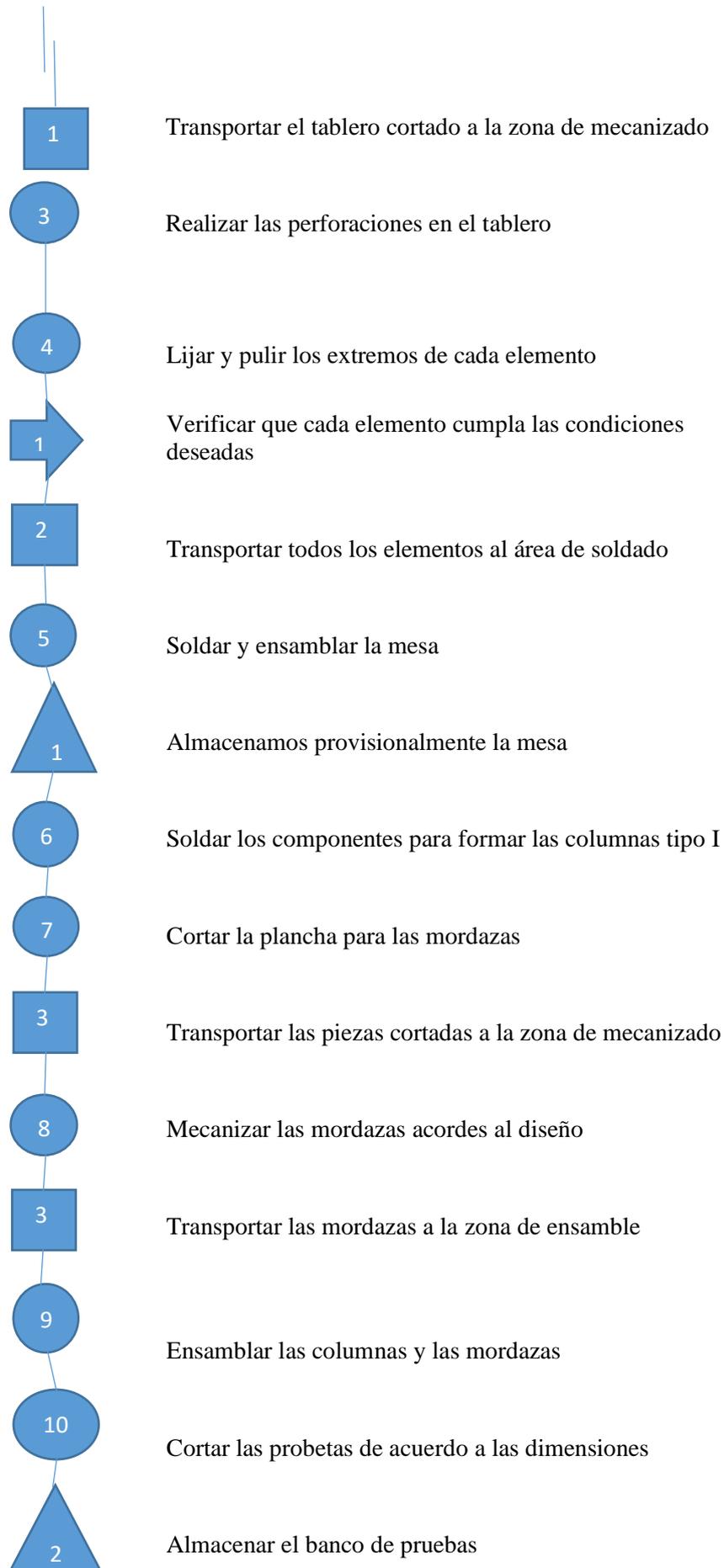
A continuación, se detalla de una manera general los procesos empleados en la construcción de un banco de pruebas para prácticas de extensometría.

1

Cortar los elementos estructurales para la mesa

2

Cortar plancha de acero para tablero de la mesa



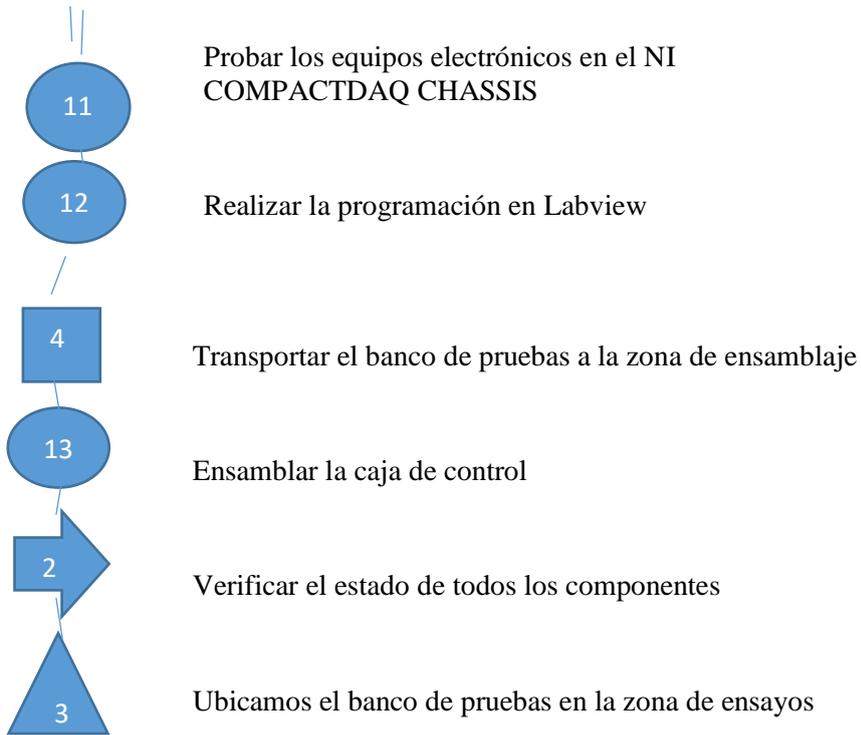


Figura 20-3: Flujograma de procesos de construcción

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.



Figura 21-3: Banco de pruebas.

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.8. Evaluación de costos

3.8.1. Costos directos

Son aquellos costos que se pueden identificar o cuantificar plenamente con los productos terminados, como, por ejemplo, los materiales directos y la mano de obra directa destinados a la fabricación del producto.

Costo de materiales

El equipo consta de una parte estructural, como lo es todo lo referente a materiales de acero, perfiles cuadrados, tubular, circulares, planchas, etc. Estos materiales estructurales se detallan a continuación en la Tabla 30-3.

Tabla 23-3: Costos de materiales

Cantidad	Unidad	Descripción	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	-	Módulo de entrada analógica Ni-9219	695	695
1	-	Galgas extensiométricas SGD-10/120-LY11	112,27	112,27
2	L	Pintura sintética negra	7,67	15,34
1	L	Pintura sintética Azul	7,67	7,67
1	L	Pintura sintética Amarilla	7,67	7,67
4	L	Thinner	3,25	13,00
2	-	Lija de hierro #2	0,70	1,40
4	m	Perfil cuadrado 40x40x2mm	21,00	84,00
1	m ²	Plancha de acero 6 mm	103,40	103,40
16	-	Perno Hexagonal M10	1,30	20,80
0,5	m ²	Plancha de acero 25 mm	406,48	203,24
0,5	m ²	Plancha acero 2mm	37,85	18,925
1,2	m	Perfil rectangular 20x10x2mm	17,00	20,4
1,2	m	Tubo circular 12,7 x 2 mm	25,00	30
Total				\$1333,12

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

Costo de mano de obra, equipos y herramientas

En costo de mano de obra se toma en cuenta sueldo para trabajadores que se desempeñan en el sector metal mecánica, mecánica industrial e ingeniería electrónica.

Tabla 24-3: Costo de mano de obra.

Cantidad	Descripción	Días/hombre	Costo/día (\$)	Total (\$)
1	Técnico en metal mecánica	22	30	660
1	Técnico en electrónica e instrumentación	20	30	600
Total				\$1260

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

Para determinar el valor monetario del uso de herramientas se considera el costo de los diferentes equipos y herramientas que se ha empleado en la construcción de cada elemento y en la armada total del banco de pruebas

Tabla 25-3: Costos de equipos y herramientas

Horas	Descripción	Costo/hora (\$)	Total (\$)
10	Torno	8	80
15	Fresadora	15	225
7	Soldadora	8	56
5	Amoladora	5	25
3	Prensa	1	3
10	Herramientas menores	0.5	5
		Total	\$ 322

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

Costos por transporte

Se toma en cuenta el desplazamiento de la materia prima hacia el área de trabajo, y del banco de pruebas desde el taller mecánico hacia el taller electrónico.

Tabla 26-3: Costo por transporte

Descripción	Valor (\$)
Transporte	\$ 30

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

Costo directo total

Para obtener el costo total directo se debe sumar los valores obtenidos anteriormente.

Tabla 27-3: Costo directo total

Descripción	Valor (\$)
Materiales	1333,12
Equipos y herramientas	322,00
Mano de obra	1260,00
Transporte	30,00
Total, costos directos	\$ 2945,12

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.8.2. Costos indirectos

Son aquellos costos que no pueden ser identificados plenamente con los productos terminados.

Tabla 28-3: Costos directos

Descripción	Cantidad (% CD)	Valor Total (\$)
Ingenieriles	4%	117,80

Imprevistos	1%	19,45
	Total, costos indirectos	\$ 137,25

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

3.8.3. Costo total

Tabla 29-3: Costo total

Descripción	Valor total (\$)
Costos directos	2945,12
Costos indirectos	137,25
TOTAL (\$)	\$ 3082,37

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Procedimiento para el pegado de las galgas extensiométricas

Los adhesivos se accionan a través de una reacción catalítica de humedad con el aire. Se consideran condiciones favorables de adhesión cuando la humedad relativa HR está entre el 30% y 80%. Cuando este valor está por debajo del 30 % la reacción se retarda y en ocasiones se detiene, y cuando es superior al 80% se reduce la vida máxima de adhesión.

La aplicación del adhesivo debe ser colocada en capas finas y uniformes para garantizar un secado breve. La velocidad de adhesión depende de a condición química del material en donde va a ser instalada, por lo que se debe preparar la superficie previa a la colocación del adhesivo. En la siguiente tabla podemos visualizar los tiempos mínimos para adhesión según el material.

Tabla 1-4: Tiempos mínimos para adhesión

Material	Tiempo de secado
Acero	60 a 120 seg.
Aluminio	50 a 1000 seg.
Plásticos	10 a 60 seg.

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

Es necesario un tiempo de curado del material previo a realizar las mediciones para lo cual se sugiere lo expuesto en la tabla 38-4.

Tabla 2-4: Tiempos mínimos de curado previo a la medición

Tipo de medición	Tiempo de curado	
	5°C	20°C
Dinámica	90 min.	10 min.
Estática	120 min.	15 min.

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

4.1.1. Preparación de la superficie

Se prepara la superficie con la finalidad de dejarla libre de imperfecciones físicas y químicas apropiada para la adhesión.

4.1.1.1. Eliminar grasa

Este procedimiento es necesario para la eliminación de todo tipo de grasa, contaminantes, aceites o residuos químicos que estén sobre la probeta. Usualmente se utiliza alcohol, acetona y desengrasante. Se empapa una gasa con el agente limpiador cubriendo una zona mayor a la que ocupará la galga.

Se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones durante el proceso de limpiado:

- La gasa debe estar limpia, libre de cualquier residuo anterior antes de usarse.
- No coloque el agente limpiador directamente sobre la superficie de la probeta.
- Utilizar una gasa distinta para cada agente limpiador.
- La limpieza debe ser progresiva, no volver a pasar la gasa por zonas ya limpiadas para evitar introducir nuevas partículas.

4.1.1.2. Lijado

Para lijar la superficie es necesario considerar un papel lija apropiado, se recomienda para el acero lijas desde la numeración 80 a la 180, se debe evitar hacer canales en el material por lo cual el lijado debe ser uniforme y debe estar en constante lubricación. Se debe empezar con la lija gruesa e ir bajando el grueso hasta llegar a la más fina.

4.1.1.3. Limpieza fina

Se debe repetir el proceso del punto 4.1.1.1 para retirar partículas metálicas excedentes y pedazos de lija desprendidos durante el lijado. Se debe evitar dejar restos de las gasas y del agente limpiador sobre la superficie.

4.1.1.4. Delimitar la superficie

Es necesario delimitar la zona en donde se va a ubicar la galga extensiométrica para poder alinear las galgas según la dirección del esfuerzo principal a medir. Se recomienda la utilización de un lápiz tipo 4H haciendo unas marcas ligeras en el lugar de aplicación de la galga extensiométrica.

4.1.1.5. Alcalinidad óptima

La superficie debe ser tratada para alcanzar un valor de alcalinidad de 7 a 7,5 pH. Para esto se aplica un neutralizador líquido directamente sobre la superficie de la probeta y se lo talla con una gasa limpia de manera unidireccional.

4.1.2. Adhesión de las galgas extensiométricas

4.1.2.1. Posicionamiento de la galga

Se deberá colocar las galgas sobre la superficie químicamente limpia mediante la sujeción de la galga con pinzas finas, notar que la superficie de adhesión debe estar colocada hacia la parte inferior y que los terminales de soldar deben estar alineados al centro y a una distancia de 1,6 mm del límite de la galga.

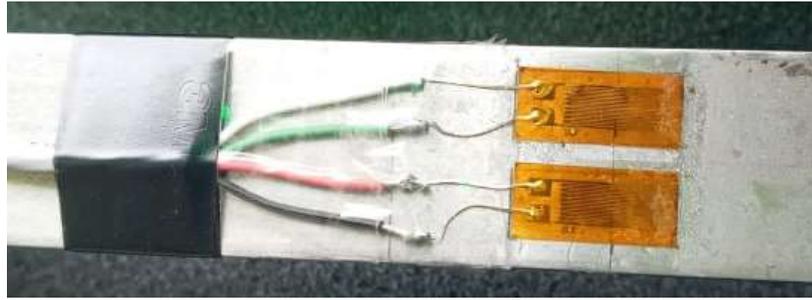


Figura 1-4: Posicionamiento de la galga en la probeta
 Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

4.1.2.2. Alineación de la galga

Con un pedazo de cinta adhesiva de aproximadamente 15 cm de largo pegar sobre la galga y el terminal de manera que queden centradas en la cinta y levántelo con ángulo aproximado de 45° con respecto a la superficie como se puede observar en la figura 48-4.

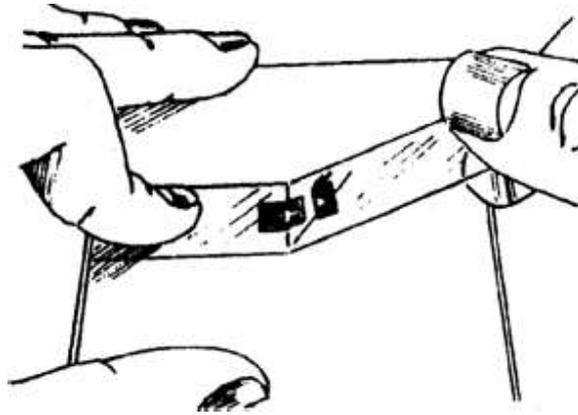


Figura 2-4: Posicionamiento de la galga en la probeta
 Fuente: (17)

Se debe repetir el proceso en caso de que la alineación no cumpla con las características requeridas, para principiantes es recomendable el uso de una cinta especializada para evitar dejar residuos sobre el área de contacto durante el proceso de pegar y despegar.

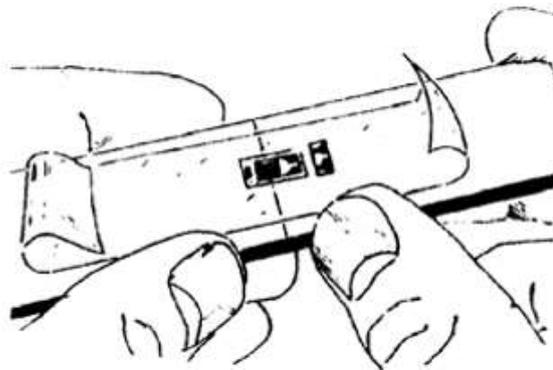


Figura 3-4: Método para alinear la galga.
 Fuente: (17)

Una vez fijada la ubicación, debemos levantar la galga en un ángulo menor a 90° dejando la terminal libre al menos 1,5 cm, doblamos la cinta sobre sí misma, de tal manera que la galga y terminal queden expuestas en una superficie plana y su parte a adherirse con dirección hacia arriba.

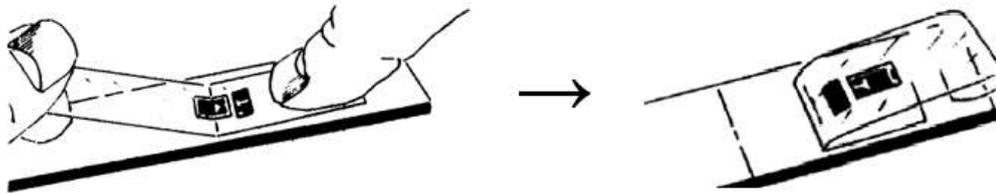


Figura 4-4: Disposición de la galga previo a la aplicación del adhesivo.
Fuente: (17)

4.1.2.3. Adhesión

Levantar la cinta por el lado doblado y añadir una ligera capa de adhesivo a una distancia de aproximadamente 1 cm con respecto a la periferia del terminal. De este modo minimizamos la probabilidad de que existan imperfecciones sobre la superficie y obtenemos una película uniforme de adhesivo.

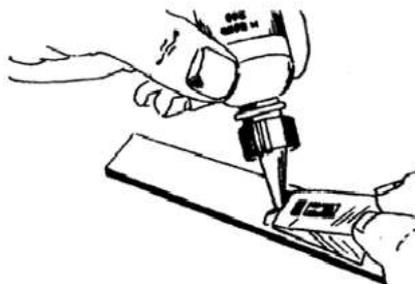


Figura 5-4: Aplicación del pegamento
Fuente: (17).

De manera inmediata, desdoblamos la cinta dejándola tensionada y en un ángulo de aproximadamente 30° con respecto a la superficie de la probeta, a manera de puente sobre el área de instalación. Solicite la ayuda de un compañero para que aplique una presión deslizante sobre la galga con una gasa. Es necesaria una presión firme y constante para que la película de pegamento se conserve uniforme y así garantizar la obtención de resultados óptimos.

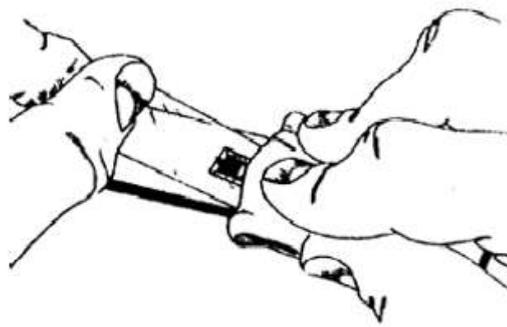


Figura 6-4: Adhesión de la galga en la probeta.
Fuente: (17).

Ejercemos presión sobre la galga extensiométrica considerando el tiempo mínimo necesario expuesto en la tabla 37-4.

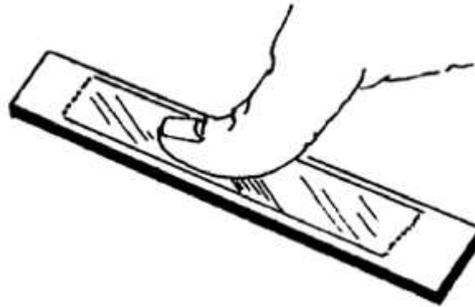


Figura 7-4: Aplicación de presión.
Fuente: (17).

Una vez cuando la galga y la terminal están firmes y adheridas a la probeta, procedemos a retirar la cinta jalándola de manera lenta y continúa evitando el exceso de fuerza sobre la galga.

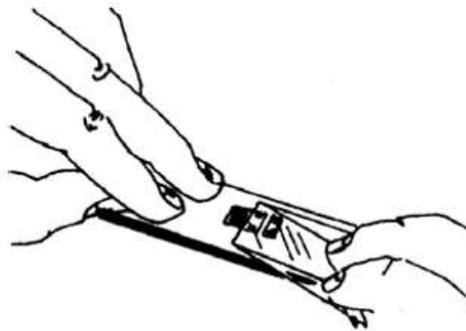


Figura 8-4: Retirar la cinta.
Fuente: (17).

4.1.3. Procedimiento para soldar

4.1.3.1 Equipo y técnica de soldadura

Se debe seleccionar un caudín de punta plana o de tipo desarmador plano como se puede apreciar en la figura 9-4a. Para realizar el proceso de soldado debemos utilizar la parte plana del caudín como se muestra en la figura 9-4b. Debemos esperar hasta que la temperatura del caudín sea la adecuada y no tener contacto con la terminal de la galga extensiométrica por más de un segundo.

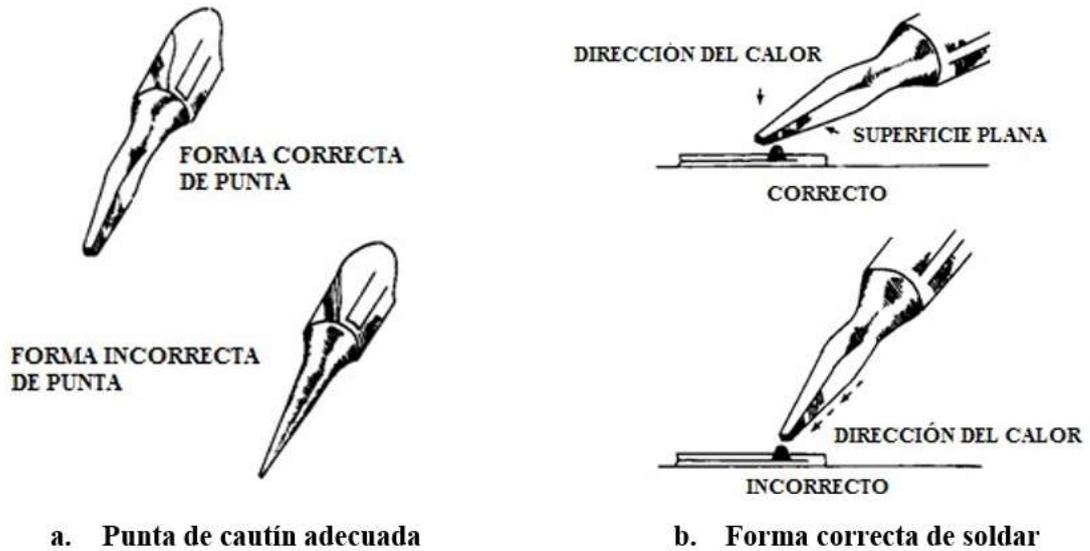


Figura 9-4: Consideraciones para soldar con cautín.
 Fuente: (17).

4.1.3.2. Soldadura.

Para realizar este proceso debemos tener mucho cuidado para evitar daños en la galga debido a excesos de temperatura. Para obtener una transferencia de calor idónea las terminales de la galga deben ser recubiertos con soldadura previo a soldarlo con los cables. De este modo obtenemos una soldadura rápida y nítida.

A manera de recomendación el fabricante sugiere cubrir las galgas con cinta previo a la soldadura, aislándola como podemos apreciar en la figura 56.4.



Figura 10-4: Protección a la galga previo a la soldadura.
 Fuente: (17).

Sujetada la galga y los cables, esperamos que el cautín sea idóneo, evitando el exceso de temperatura. Colocamos el cautín en un ángulo de 30° o menos sobre la terminal del cable y alimentamos aproximadamente 3mm de soldadura. El proceso no debe durar más de un segundo. Finalmente levantamos la punta del cautín. La soldadura debe quedar a manera de montículo sobre la terminal como se puede apreciar en la figura 57-4.

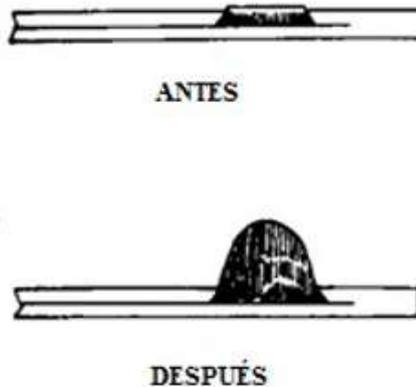


Figura 11-4: Montículo de soldadura.
Fuente: (17).

4.1.3.3. Comprobación del montaje

Realizar la siguiente lista de actividades con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de la galga extensiométrica.

- Inspección visual en busca de burbujas de aire o extremos mal pegados, o residuos fundentes
- Inspección visual de la calidad de las conexiones eléctricas
- Comprobar la continuidad eléctrica de la galga, el valor de la resistencia debe estar dentro del límite exigido por el fabricante.
- Aislar los cables de conexión del material a ensayar.

4.2. Guía de procedimiento para el uso del sistema de medición.

4.2.1. Tarjeta de adquisición de datos NI ENET-9219

Para que la tarjeta de adquisición de datos NI ENET-9219 sea reconocida por el dispositivo por primera vez se debe realizar lo siguiente:

- Ejecutar dando doble clic en el icono “*Measurement I/O*”, para lograr abrir el Max.
- Luego se pretende expandir la lista, para esto damos clic derecho en “*NI-DAQmx*” y así el programa buscara los dispositivos que se encuentren conectados a la Pc.

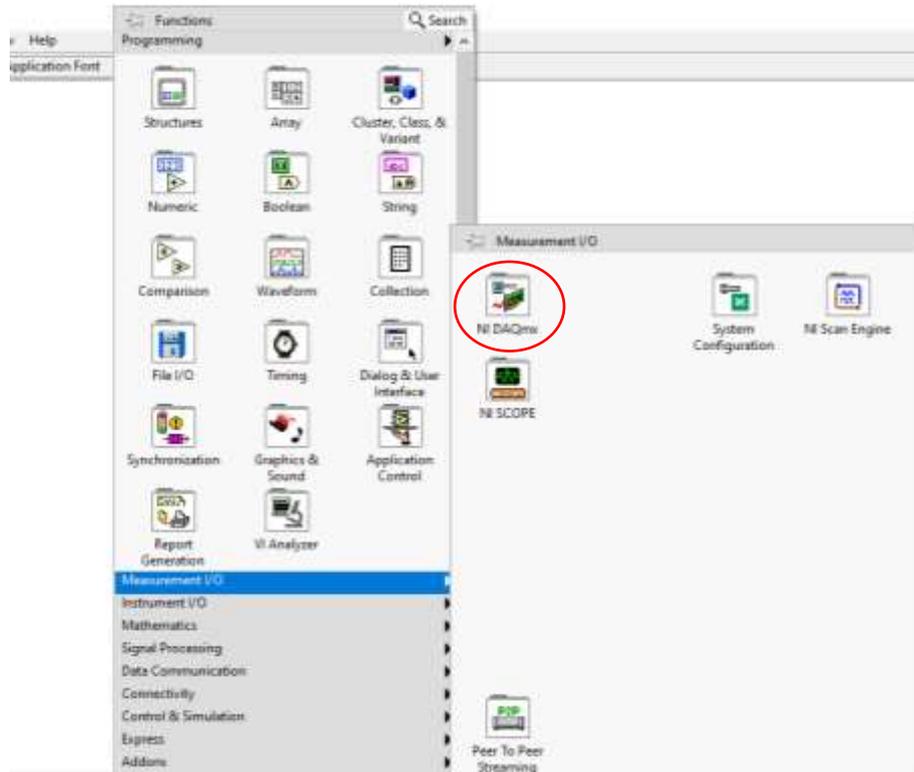


Figura 12-4: Selección de dispositivos.
 Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

- Luego en la carpeta “NI DAQmx” se encuentran los bloques de función a utilizar, por lo que una alternativa a usar es el “DAQ ASSISTANT”

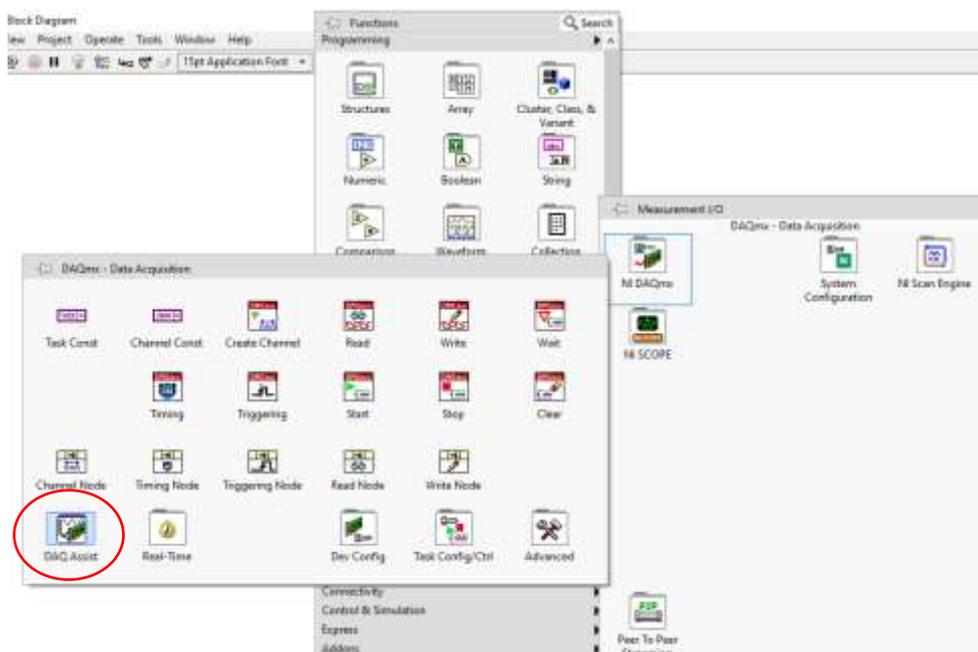


Figura 13-4: Utilización del DAQ ASSISTANT
 Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

- Luego se selecciona el icono “Create channel”, en la cual se permite ingresar la información de la galga, la información del puente, y a su vez determina la entrada física que se va a seleccionar en pocas palabras en que canal de la DAQ está conectado el puente.

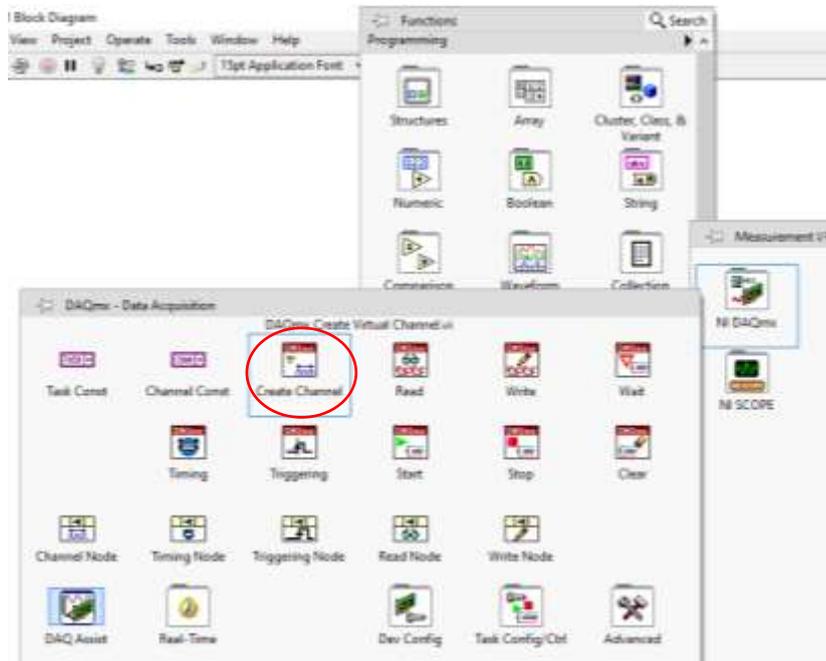


Figura 14-4: Parámetros para la galga.
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

4.2.2. Uso de la tarjeta de adquisición de datos mediante LabVIEW

- A continuación, en el “Analog input” en la parte de “Strain” se selecciona el tipo de entrada, en este caso la entrada que la galga nos da es una entrada analógica

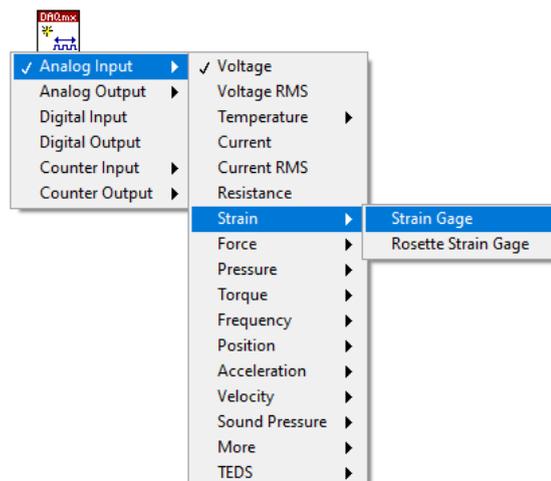


Figura 15-4: Entrada analógica para la galga.
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

- A demás se crea un control para determinar el canal físico, la información del puente y galga

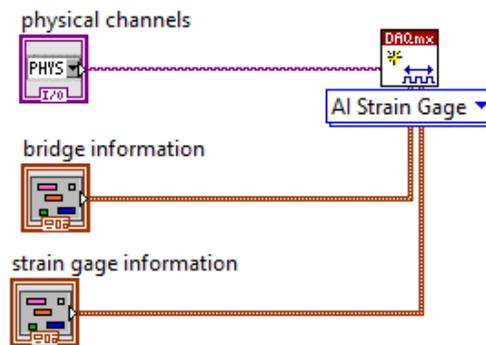


Figura 16-4: Canales físicos para el puente y galga.
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

- En el bloque “Timing” se va a especificar el número de muestras que van hacer adquiridas

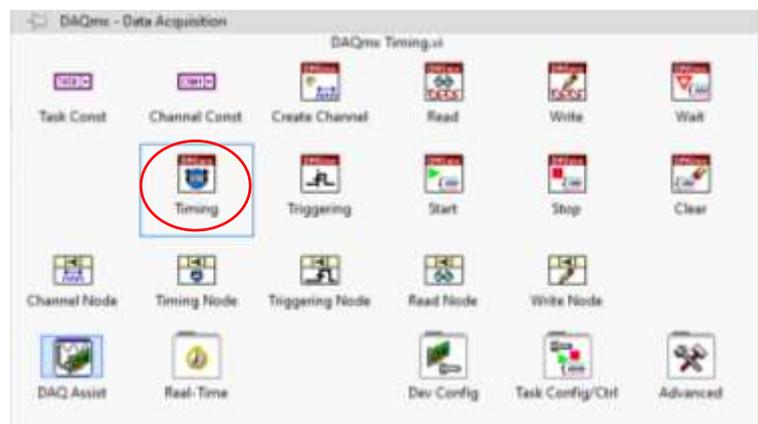


Figura 17-4: Canales físicos para el puente y galga.
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

- A su vez se crea una constante para determinar el modo de adquisición de muestras, y también en el icono “Rate” especifica la tasa de muestreo por segundo en el canal

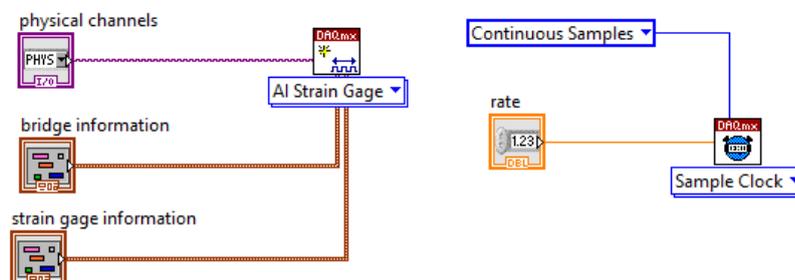


Figura 18-4: Adquisición de muestras y muestreo por segundo

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

- Se ingresa un bloque llamado “Start” esto a su vez inicia la ejecución del canal físico para la medición

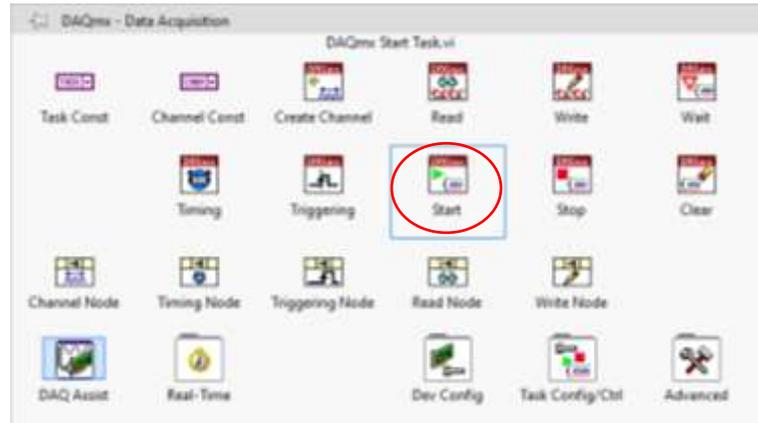


Figura 19-4: Bloque para la ejecución del canal físico
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

- También se selecciona el bloque “Read” ya que permite la lectura de la entrada física, determinado por el tipo de lectura, fijando un solo canal para ello

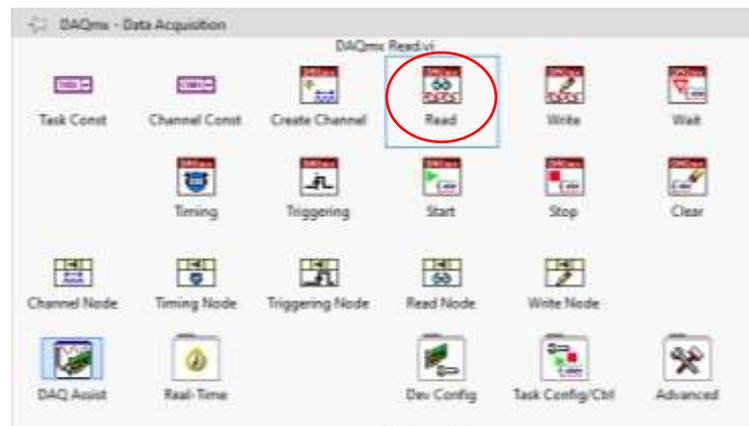


Figura 20-4: Lectura para la entrada física
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

4.2.3. *Conexión de los elementos principales en LabVIEW*

- Una vez ingresado los elementos principales, se procede a realizar la conexión con la utilización de una estructura “While Loop”

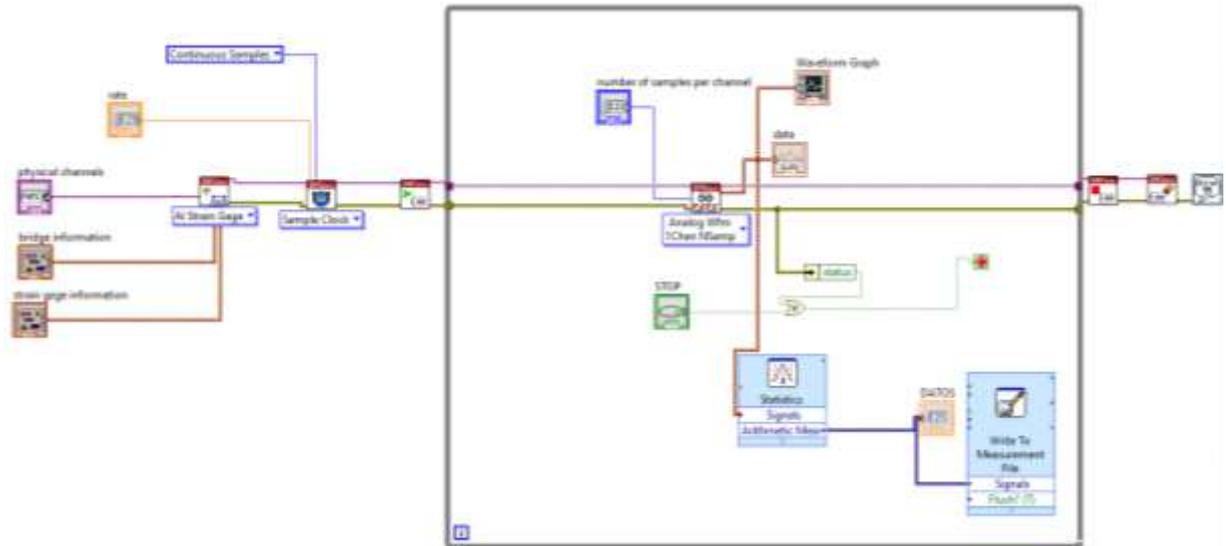


Figura 21-4: Conexión de todos los elementos tanto de lecturas de entrada como de salida
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

4.2.4. Estructura en el panel frontal de LabVIEW

- Una vez terminado con la conexión, en la pantalla frontal se puede observar el esquema de toda la programación en LabVIEW

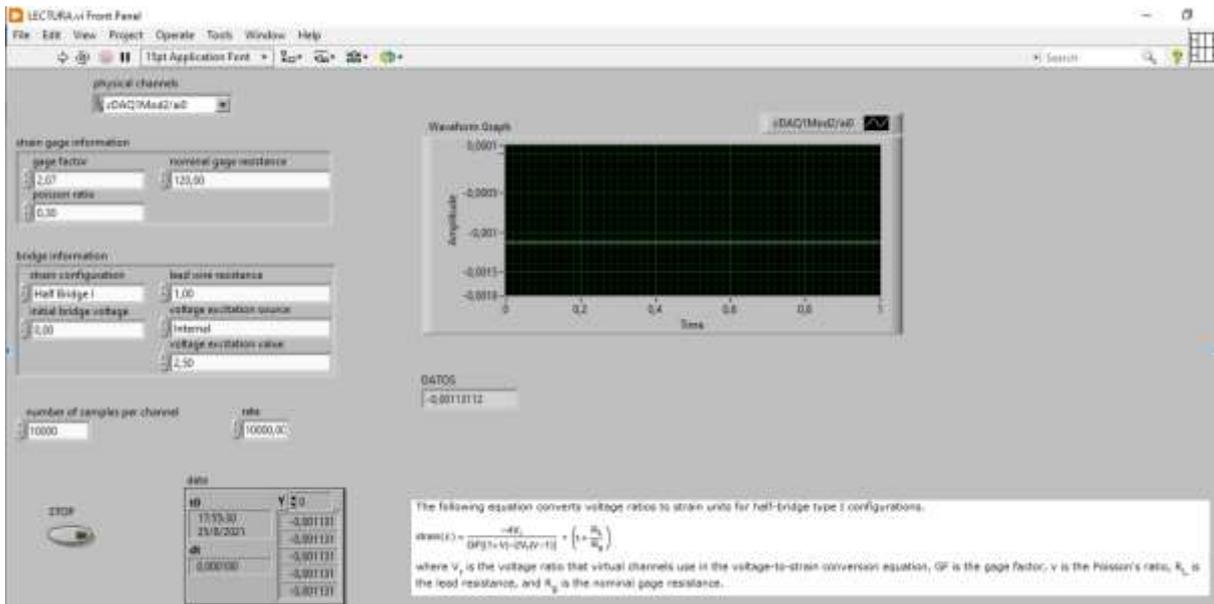


Figura 22-4: Pantalla frontal de LabVIEW
Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

En la pantalla que se logra apreciar en la figura 22-4, se puede apreciar los parámetros para la medición

- *Physical channels:* En esta parte se selecciona el puerto en la que va a estar ubicada la entrada de la galga.
- *Gage factor:* Indica el factor de galga, que servirá para el cálculo interno en el programa.

- *Gage resistance*: Indica el valor de resistencia nominal, servirá para el cálculo interno en el programa.
- *Strain configuration*: Selecciona el tipo de configuración de puente: cuarto, medio y puente completo.
- *Initial voltage*: Indica el valor de voltaje para calibrar el offset o encerado de la galga, este valor cambia automáticamente cuando se calibra el offset mediante el programa.
- *Lead resistance*: Indica el valor de resistencia eléctrica debido al cable que se esté utilizando para llevar la señal de la galga a la tarjeta de adquisición.
- *Voltage excitation source*: Selecciona el tipo de alimentación para el puente, para el caso de medición de deformación con galgas extensiométricas se debe seleccionar un voltaje interno.
- *Voltage excitation value*: Indica el valor de voltaje de excitación del puente, la national instrument recomienda un valor de 2.5V para así evitar efectos de temperatura en mediciones prolongadas.
- *Samples*: indica el número de muestras por frecuencia de muestreo.
- *Rate (Hz)*: Indica la frecuencia de muestreo que tendrá la tarjeta.

4.3. Validación del banco de pruebas

4.3.1. Verificación práctica 1

Una vez colocada la probeta en el banco de pruebas con su respectiva galga extensométrica, se procederá a la verificación del módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson. Para lo cual procedemos a colocar el soporte de las pesas y encerramos la medición. Para la aplicación de cargas se utilizará las pesas normadas existentes en el laboratorio de resistencia de materiales de la facultad de Mecánica.

Se aplican pesas de 0,785Kg las cuales se irán colocando sucesivamente desde 1 pesa hasta 4.

La obtención de datos se la realiza de manera automática cada segundo, y se deberá esperar un tiempo de aproximadamente 10 segundos entre una carga y otra para que el material restablezca sus propiedades iniciales.



Figura 23-4: Verificación práctica 1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

Se medirá las deformaciones y se procederá a calcular el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson para diferentes cargas con lo que se podrá obtener una media de los mismos con las diferentes probetas.

Después de someter a las probetas y obtener 20 datos, promediar dichos datos y compararlo con los datos entregados por el proveedor de aceros DIPAC, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3-4: Resultados coeficiente de Poisson AISI 304

Carga (Kg)	Def. Longitudinal	Def. Transversal	Poisson Obtenido	% Error
0,785	0,0002350	0,0057591	0,25	4%
1,570	0,0004400	0,0009930	0,23	0%
2,355	0,0006449	0,0001374	0,22	2%
3,140	0,0008491	0,0001801	0,21	4%

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

Tabla 4-4: Resultados módulo de Young AISI 304

Carga (Kg)	Def. Longitudinal	Young Obtenido	% Error
0,785	0,00023459	209,150	4,5
1,570	0,00045900	200,401	0,2
2,355	0,00071840	196,337	2
3,140	0,00093890	202,490	1

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

En esta práctica los resultados se aproximaron a los valores de los libros obteniendo resultados admisibles para laboratorio.

4.3.2. Verificación práctica 2

Para el ensayo de flexión será realizado en la estructura diseñada, en la cual se pretende medir la deformación unitaria y la deflexión de la viga según diferentes cargas, para la práctica se colocará a la viga empotrada en el un extremo y simplemente apoyada en el otro.

Para la realización de la práctica se utilizaron los siguientes elementos:

- Banco de practicas
- Pesos
- Tarjeta de adquisición de datos NI ENET-9219
- Pc con LabVIEW y programa de toma de datos

Para la metodología de verificación de la práctica si describe en el apartado 4.3. guía de prácticas de laboratorio. Una vez realizada la práctica se obtuvieron los siguientes resultados:

Viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro

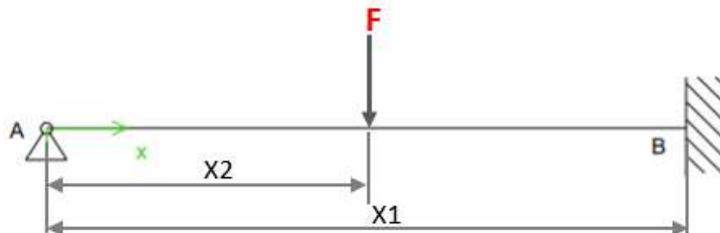


Figura 24-4: Viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

- $x_1 = 470\text{mm}$

- $x_2 = 235\text{mm}$
- $h = 3\text{mm}$
- $b = 25\text{mm}$
- $E = 193\text{GPa}$ (AISI 304)

Tabla 5-4: Resultados deformaciones y deflexiones calculadas y medidas

Fuerza (Kg)	Fuerza (N)	Deformación calculada	Deformación medida	Error Deformación (%)	Deflexión calculada (mm)	Deflexión medida (mm)	Error Deflexión (%)
2	19,62	0,001274	0,001138	10,67	0,001710	0,001517	11,28
2,785	27,32	0,001774	0,001569	11,55	0,002381	0,002106	11,54
4	39,24	0,002548	0,002238	12,16	0,003420	0,003004	12,16
5	49,05	0,003185	0,002856	10,32	0,004275	0,003874	9,38

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

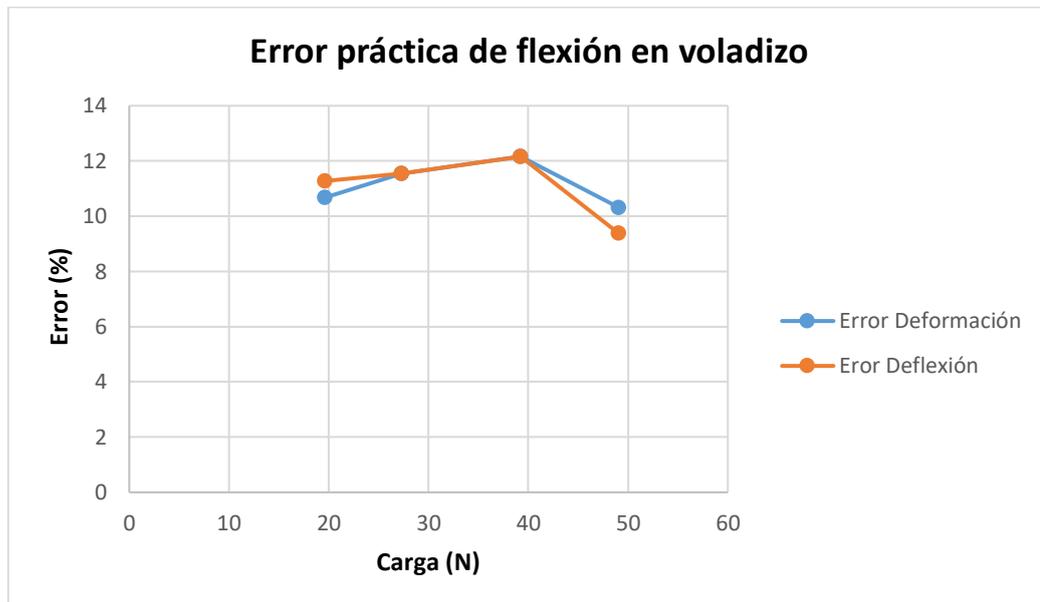


Gráfico 1-4: Curva de error práctica flexión viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro.

Realizado: Domínguez, C; Tierra, I, 2021.

4.4. Guía de prácticas de laboratorio

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**VICERRECTORADO ACADÉMICO
DIRECCIÓN DE DESARROLLO ACADÉMICO**



FACULTAD: MECÁNICA

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIOS,
TALLERES Y CENTROS DE SIMULACIÓN DE
(NOMBRE DE ASIGNATURA)**

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA

LUGAR DONDE SE REALIZA LA PRÁCTICA:

PRÁCTICA No. 01

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTE DE POISSON.

1. OBJETIVO

GENERAL

Determinar experimentalmente el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson mediante el uso de galgas extensiométricas.

ESPECÍFICOS

- Determinar experimentalmente el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson.
- Comparar los datos obtenidos con datos proporcionados en libros y catálogos.
- Entender el proceso de deformación de un elemento mecánico, con especial énfasis en la relación constante entre deformaciones longitudinales y transversales (efecto Poisson).
- Aprender a medir deformaciones con galgas extensiométricas y familiarizarse con el uso de los instrumentos utilizados.

2. INTRODUCCIÓN

Módulo de elasticidad

Define la pendiente de la curva Esfuerzo-Deformación hasta su límite de proporcionalidad y se conoce como Módulo de Young o Módulo de Elasticidad del material. El módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Es uno de los métodos más extendidos para conocer la elasticidad de un material.

Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero: si se tracciona una barra, aumenta de longitud.

El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez del material en su rango elástico, y tienen las unidades de esfuerzo. El módulo de elasticidad se calcula a partir de:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A}{(l_f - l_o)/l_o}$$



Donde:

F = fuerza

A = área

l_f = longitud final

l_o = longitud inicial

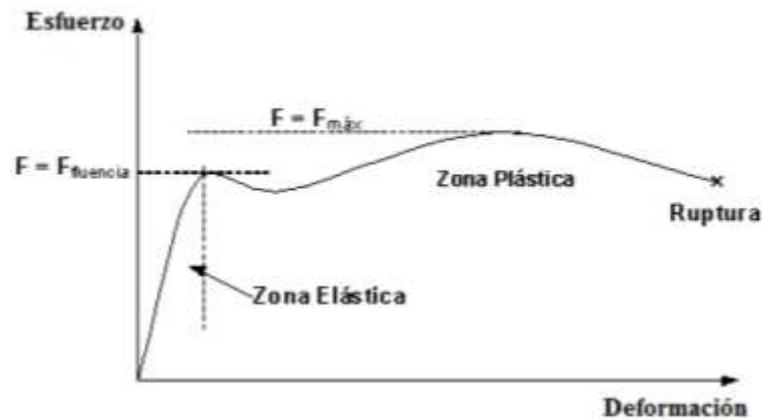


Figura 1. Módulo de Young o módulo de elasticidad.

En la figura 2, se observa un elemento mecánico de sección rectangular sometido a una fuerza externa en el extremo libre. Se producen esfuerzos normales debido a la flexión, en todas las secciones transversales del elemento mecánico. Si las tensiones producidas por el momento flector son inferiores al límite de proporcionalidad entonces la distribución de esfuerzos es lineal, siendo dicho esfuerzo igual a cero en el plano neutro y máximo en la parte más alejada de dicho eje, es decir, en las superficies superior e inferior de la probeta.

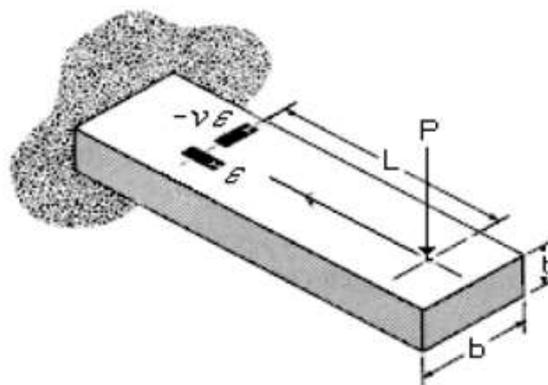


Figura 2. Fuerza externa aplicada en el extremo libre de una viga en voladizo.

En la parte inferior de la probeta el esfuerzo es de compresión, mientras que en la parte superior el esfuerzo es de tracción.

El esfuerzo por flexión es igual a:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Donde:

σ = esfuerzo

M = momento flector

W = módulo resistente a la flexión

El valor máximo de M es igual a:

$$M = P * L$$

Donde:

P = fuerza aplicada

L = distancia desde el centro de la cinta y la línea de acción de la fuerza P

El valor del módulo resistente a la flexión es igual a:

$$W = \frac{I}{c}$$

Donde:

I = momento de inercia ecuatorial de la sección transversal de la probeta

c = distancia más alejada entre la fibra del material y el eje neutro

El momento de inercia es igual a:

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12}$$

Donde:

b = ancho de la sección transversal de la probeta

t = espesor de la probeta

Por lo tanto, el esfuerzo por flexión en la fibra más alejada del elemento mecánico es:

$$\sigma = \frac{6 \cdot M}{b \cdot t^2} = \frac{6 \cdot P \cdot L}{b \cdot t^2}$$

La ley de Hooke define el estado uniaxial de esfuerzos.

$$\sigma = \varepsilon * E$$

Donde:

ε = deformación unitaria

E = módulo de Young del material

Esta ecuación cumple con los esfuerzos producidos por flexión, por lo tanto, si reemplazamos obtenemos:

$$\varepsilon \cdot E = \frac{6 \cdot P \cdot L}{b \cdot t^2}$$

Para la determinación del módulo de elasticidad, debemos medir la deformación ϵ correspondiente a cada una de las fuerzas P aplicadas. Despejando el valor del módulo elástico obtenemos finalmente:

$$E = \frac{6 \cdot P \cdot L}{\epsilon \cdot b \cdot t^2}$$

Relación de Poisson.

Es la relación entre las deformaciones longitudinales y transversales cuando una carga P es aplicada. Este efecto se comprueba cuando una barra es sometida a una carga de tracción y sufre una reducción de su sección, y se lo calcula a partir de:

$$\nu = - \frac{\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{longitudinal}}$$

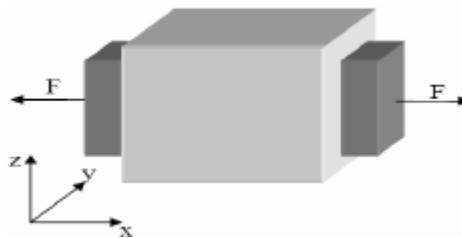


Figura 3. Coeficiente de Poisson.

Ubicación de las galgas

El ensayo se llevará a cabo sobre una barra/viga en voladizo, la cual estará sujeta a la columna con un juego de mordazas y libre en el otro extremo. Para obtener las medidas de deformación se impondrá una carga puntual en el extremo libre como se indica en la figura 4.

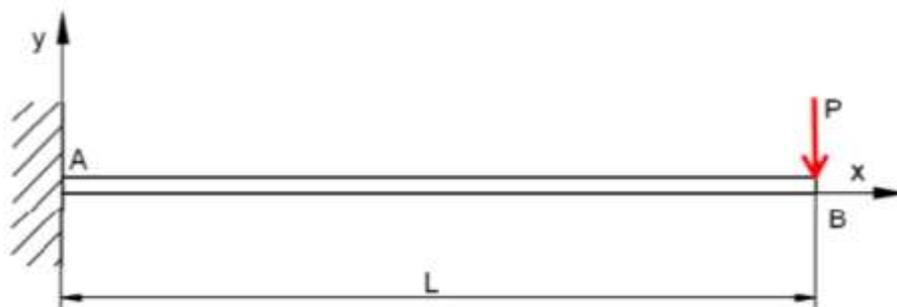


Figura 4. Esquema de cálculo de una viga en voladizo con carga puntual en el extremo.

Las galgas se sitúan cerca de la zona de empotramiento, en la que las deformaciones son máximas, según indica la Resistencia de Materiales, pero lo suficientemente alejadas de las zonas de conflicto el empotramiento en este caso, referidas en el principio de Saint-Venant.



En la figura 5 podemos observar el diagrama del momentos flectores y cortantes, la distancia donde deberá ser colocada es de:

$$x = \frac{1}{3} \cdot L$$

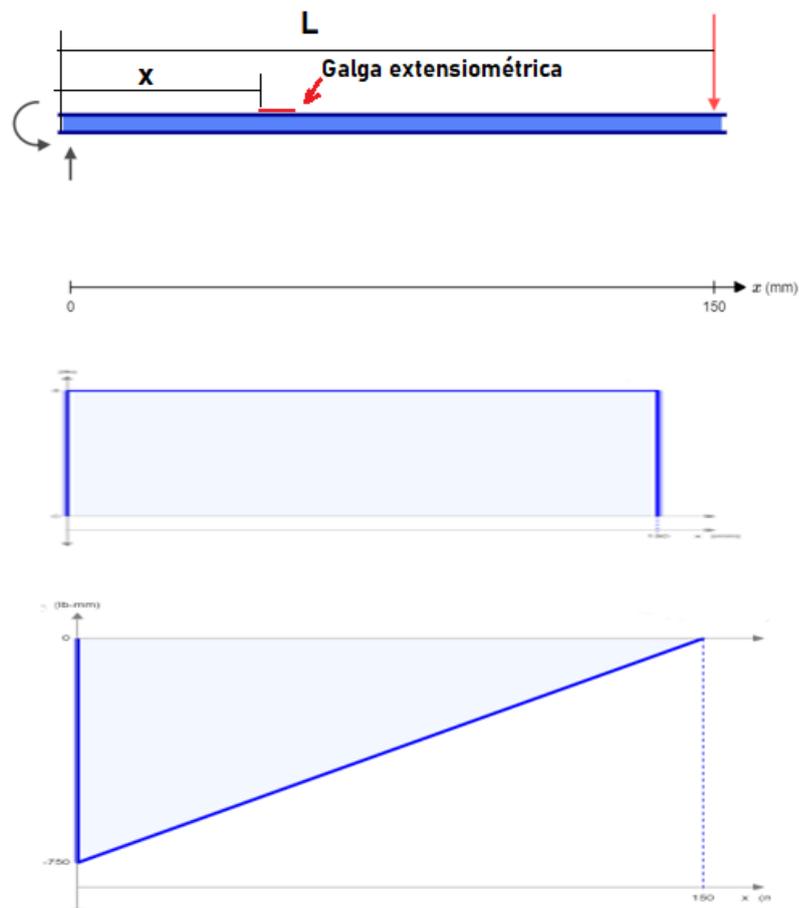


Figura 5. Diagrama de momento flector y esfuerzo cortantes.

3. INSTRUCCIONES

La práctica se desarrollará mediante el cumplimiento secuencial de los siguientes pasos:

1. Colocarse el equipo de protección personal necesario para desarrollar prácticas de laboratorio.
2. Identificar y reconocer los equipos e instrumentos necesarios para el desarrollo de la práctica.
3. Verificar que la columna esté correctamente empotrada, revisar ajuste de los pernos en la base.
4. Colocar la mordaza inferior de cara plana en la columna.
5. Colocar la probeta de 210 mm de largo, el voladizo debe ser de 150 mm.
6. Colocar la mordaza superior de cara plana y ajustar con los pernos hasta que se los mismos atraviesen aproximadamente 10 mm la mordaza inferior.
7. Conectar el cableado de las galgas extensiométricas en la segunda entrada del módulo adquisidor de datos con la configuración a medio puente de Wheatstone.
8. Conectar el adquisidor de datos en el chasis CDAQ-9174, COMPAQTDAQ CHASSIS.
9. Conectar el cable del chasis a la computadora para completar el sistema adquisidor de datos.
10. Abrir LabVIEW en el computador, y ejecutar el programa correspondiente para la ejecución de la práctica para la obtención del coeficiente de Poisson.
11. Colocar el soporte de pesas sobre la probeta y ajustar.
12. Colocar las pesas y adquirir los datos de las deformaciones según la tabla 1.
13. Cambiar las pesas para ir adquiriendo las deformaciones en el material a distintos pesos.
14. Repetir el cambio de pesas hasta completar las tablas de adquisición de datos.
15. Desmontar las mordazas y la probeta, con mucho cuidado para evitar dañar las galgas extensiométricas.
16. Guardar las mordazas en el estuche.



4. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

4.1 Observación y reconocimiento de equipos e instrumentos

Equipos y herramientas

- Módulo adquisidor de datos NI ENET-9219
- CDAQ-9174, COMPAQTDAQ - CHASSIS
- Probeta de acero inoxidable
- Pesas calibradas
- Galgas extensiométricas
- Banco de pruebas

EPP: Equipo de protección personal

- Mandil
- Guantes
- Gafas

4.1 Toma y recolección de datos

Tabla 1. Coeficiente de Poisson AISI 304

Carga (Kg)	Def. Longitudinal	Def. Transversal

Tabla 2. Coeficiente de Poisson Acero A36

Carga (Kg)	Def. Longitudinal	Def. Transversal

Tabla 3. Módulo de Young AISI 304

Carga (Kg)	Def. Longitudinal

Tabla 4. Módulo de Young Acero A36

Carga (Kg)	Def. Longitudinal

4.2 Cálculos

Con las siguientes ecuaciones se procede a realizar los cálculos analíticos tanto para deformación como para deflexión respectivamente.

4.3 Resultados

Tabla 5. Cálculo del coeficiente de Poisson en AISI 304

Carga (Kg)	Def. Longitudinal	Def. Transversal	Poisson Obtenido	Poisson Calculado	Error

Tabla 6. Cálculo del coeficiente de Poisson en acero A36

Carga (Kg)	Def. Longitudinal	Def. Transversal	Poisson Obtenido	Poisson Calculado	Error

Tabla 7. Cálculo del módulo de Young en AISI 304

Carga (Kg)	Def. Longitudinal	Young Obtenido	Young Calculado	% Error

Tabla 8. Cálculo del módulo de Young en acero A36

Carga (Kg)	Def. Longitudinal	Young Obtenido	Young Calculado	% Error

4.4 Análisis e interpretación de resultados

4.4.1 Módulo de Young

4.4.2 Coeficiente de Poisson

5. CONCLUSIONES

Describir en una forma lógica las conclusiones de la práctica realizada

6. RECOMENDACIONES

Describir de una forma lógica las recomendaciones que usted crea necesario

Elaborado por:

.....

**NOMBRE Y FIRMA DEL/LOS PROFESORES DE LA
ASIGNATURA**

Revisado por:

.....

**NOMBRE Y FIRMA DEL DIRECTOR DE CARRERA/
COORDINADOR ACADÉMICO DE CEDE**

	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DECHIMBORAZO GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIOS, TALLERES Y CENTROS DE SIMULACIÓN</p> <p>ASIGNATURA XXXXXXXXXX</p>	
---	--	--

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**VICERRECTORADO ACADÉMICO
 DIRECCIÓN DE DESARROLLO ACADÉMICO**



FACULTAD: MECÁNICA

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIOS,
 TALLERES Y CENTROS DE SIMULACIÓN DE
 (NOMBRE DE ASIGNATURA)**

CÓDIGO DE LA ASIGNATURA

LUGAR DONDE SE REALIZA LA PRÁCTICA:

PRÁCTICA No. 02

ENSAYO DE FLEXIÓN

1. OBJETIVO

GENERAL

Determinar experimentalmente las deformaciones que existen en una viga en voladizo y doblemente empotrada mediante el uso de galgas extensiométricas.

ESPECÍFICOS

- Determinar experimentalmente los esfuerzos, deformación y deflexión producidas en vigas en voladizo y vigas empotradas en el un extremo y apoyada en el otro extremo.
- Comparar los datos obtenidos con analíticos.
- Aprender a medir deformaciones con galgas extensiométricas y familiarizarse con el uso de los instrumentos utilizados.

2. INTRODUCCIÓN

Viga empotrada en el un extremo y simplemente apoyada en el otro

Las vigas apoyadas en un extremo y empotradas en el otro son vigas hiperestáticas, ya que con las ecuaciones de equilibrio no se puede determinar las reacciones de las ligaduras, siendo 3 el número de incógnitas, dos en el empotramiento y una en el extremo A. Se trata de un sistema hiperestático de primer grado, son tres incógnitas y dos ecuaciones de equilibrio.

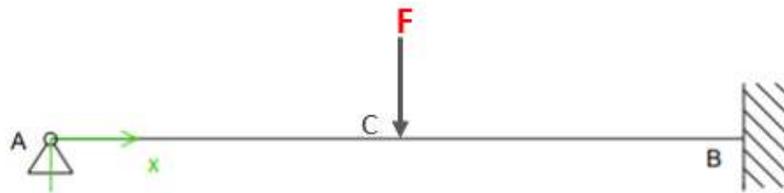


Figura 1. Viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro

Para determinar el esfuerzo normal por flexión de la ley de Hooke para esfuerzo uniaxial se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Donde:

σ = esfuerzo por flexión

ε = deformación unitaria

E = módulo de Young del material

La deflexión en el punto de la carga (δ_c) en una viga empotrada en el un extremo y simplemente apoyada en el otro de la figura 4, y esta a su vez se la calcula con la siguiente ecuación.

$$\delta_c = -\frac{7 \cdot P \cdot L^3}{768 \cdot E \cdot I}$$

Donde:

δ_c = deflexión en punto de aplicación de la carga

P = carga o fuerza

L= longitud desde el empotramiento hasta el punto del apoyo

E = módulo de Young del material

I= inercia del elemento

En la figura 5 se puede observar los datos de la viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro:

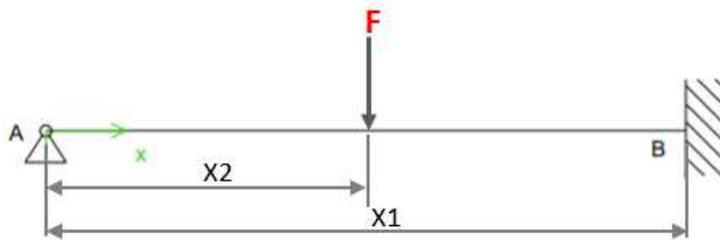


Figura 2. Datos de la viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro

- $x_1 = 470\text{mm}$
- $x_2 = 235\text{mm}$
- $h = 3\text{mm}$
- $b = 25\text{mm}$
- $E = 193\text{GPa}$ (AISI 304)

En la siguiente figura 6, podemos observar los diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro.

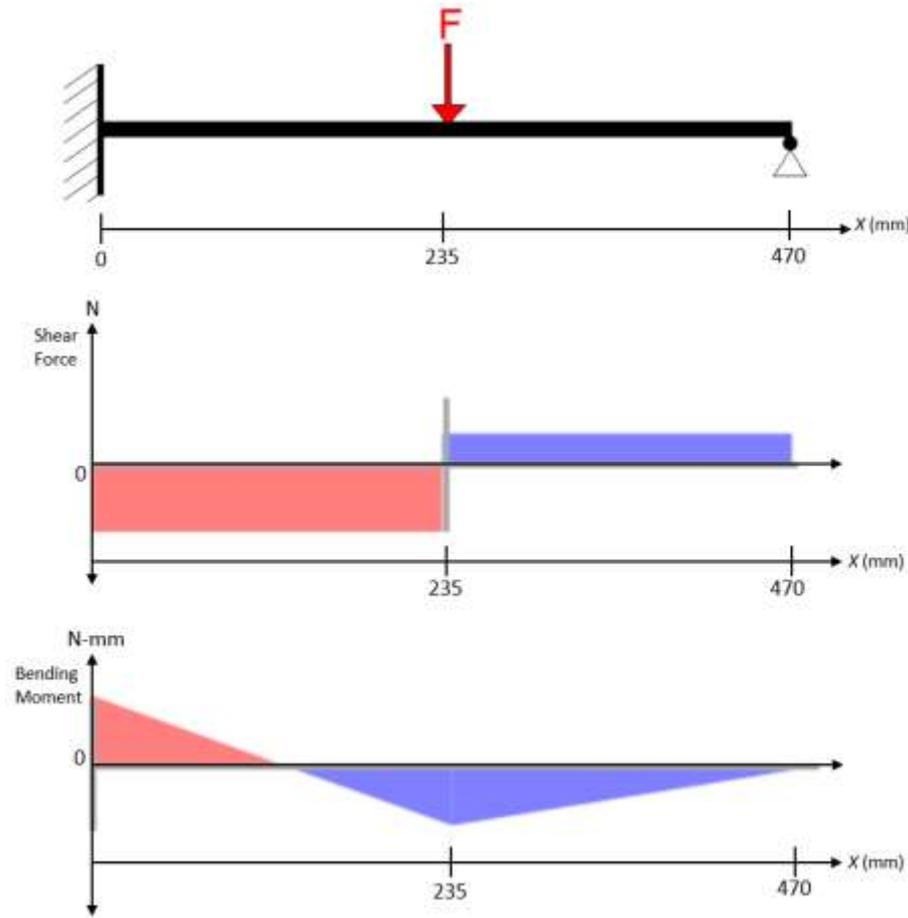


Figura 3. Diagrama de fuerza cortante y momento flector

3. INSTRUCCIONES

La práctica se desarrollará mediante el cumplimiento secuencial de los siguientes pasos:

1. Colocarse el equipo de protección personal necesario para desarrollar prácticas de laboratorio.
2. Identificar y reconocer los equipos e instrumentos necesarios para el desarrollo de la práctica.
3. Verificar que la columna esté correctamente empotrada, revisar ajuste de los pernos en la base.
4. Colocar la mordaza inferior de cara plana en la columna.
5. Colocar la probeta de 690 mm de largo, la distancia libre del empotramiento y del punto de apoyo debe ser de 470 mm de extremo a extremo y su carga tiene que estar en su centro a una distancia de 235 mm
6. Colocar la mordaza superior de cara plana y ajustar con los pernos hasta que se los mismos atraviesen aproximadamente 10 mm la mordaza inferior.
7. Conectar el cableado de las galgas extensiométricas en la segunda entrada del módulo adquisidor de datos con la configuración a medio puente de Wheatstone.
8. Conectar el adquisidor de datos en el chasis CDAQ-9174, COMPAQTDAQ CHASSIS.
9. Conectar el cable del chasis a la computadora para completar el sistema adquisidor de datos.

10. Abrir LabVIEW en el computador, y ejecutar el programa correspondiente para la ejecución de la práctica para la obtención del coeficiente de Poisson.
11. Colocar el soporte de pesas sobre la probeta y ajustar.
12. Colocar las pesas y adquirir los datos de las deformaciones según la tabla 1.
13. Cambiar las pesas para ir adquiriendo las deformaciones en el material a distintos pesos.
14. Repetir el cambio de pesas hasta completar las tablas de adquisición de datos.
15. Desmontar las mordazas y la probeta, con mucho cuidado para evitar dañar las galgas extensiométricas.
16. Guardar las mordazas en el estuche

7. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

7.1 Observación y reconocimiento de equipos e instrumentos

Equipos y herramientas

- Módulo adquisidor de datos NI ENET-9219
- CDAQ-9174, COMPAQ TDAQ - CHASSIS
- Probeta de acero inoxidable
- Pesas calibradas
- Galgas extensiométricas
- Banco de pruebas

EPP: Equipo de protección personal

- Mandil
- Guantes
- Gafas

7.2 Toma y recolección de datos

Material: Acero AISI 304		Conexión: ½ Puente	
Fuerza (Kg)	Fuerza (N)	Deformación Medida	Deflexión Medida (mm)

7.3 Cálculos

Con las siguientes ecuaciones se procede a realizar los cálculos analíticos tanto para deformación como para deflexión respectivamente.

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot P \cdot L}{E \cdot b \cdot t^2}$$

100

$$\delta_c = -\frac{7.P.L^3}{768.E.I}$$

7.4 Resultados

Fuerza (Kg)	Fuerza (N)	Deformación calculada	Deformación medida	Error Deformación (%)	Deflexión calculada (mm)	Deflexión medida (mm)	Error Deflexión (%)

7.5 Análisis e interpretación de resultados

4.5.1 Deformación

4.5.2 Deflexión

8. CONCLUSIONES

Describir en una forma lógica las conclusiones de la práctica realizada

9. RECOMENDACIONES

Describir de una forma lógica las recomendaciones que usted crea necesario

	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DECHIMBORAZO</p> <p>GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIOS, TALLERES Y CENTROS DE SIMULACIÓN</p> <p>ASIGNATURA XXXXXXXXX</p>	
---	--	--

Elaborado por:

.....

**NOMBRE Y FIRMA DEL/LOS PROFESORES DE LA
ASIGNATURA**

Revisado por:

.....

**NOMBRE Y FIRMA DEL DIRECTOR DE CARRERA/
COORDINADOR ACADÉMICO DE CEDE**

CONCLUSIONES

- Mediante el estudio del arte se estableció las características y utilidades de cada uno de los componentes presentes en el banco de pruebas, además permitió indagar sobre la determinación del estado tensorial en elementos mecánicos sometidos a cargas estáticas. El diseño conceptual permitió identificar las características con mayor prioridad que deben ser incluidas en el banco de pruebas de acuerdo con el diagnóstico y estudio de las necesidades del usuario, a dichos requerimientos se determinaron respuestas técnicas para su solución
- El uso de diagramas de flujo enfocados en la selección de galgas basados en la norma ASTM E83-10a. y la guía de referencias de selección de galgas de Omega TM nos dio como resultado una correcta selección de galga extensométrica, encontrando una que se acomodó a nuestras necesidades y nos permitió obtener datos confiables validados con cálculos manuales.
- El uso del software LabVIEW en conjunto con una interfaz diseñada para la visualización de datos, nos permite observar gráficamente la deformación que se genera en los elementos mecánicos y como fluctúan sus valores de deformación longitudinal y transversal al ser sometidos a distintas cargas estáticas, las cuales se aplicaron a través de pesas normadas.
- Se pudo desarrollar dos prácticas de laboratorio que nos permiten determinar el estado tensorial de elementos mecánicos, la primera de ellas permite la determinación del módulo de Young y del coeficiente de Poisson a través de mediciones longitudinales y transversales. La segunda guía de laboratorio está enfocada en la determinación de la deformación a flexión de un elemento empotrado en el un extremo y simplemente apoyado en el otro, permitiendo así que el estudiante de ingeniería compare la teoría con la práctica y pueda observar en una aplicación real como se deforma un elemento y como se obtienen las constantes características de cada material.
- El banco de pruebas para prácticas de extensometría tiene una eficiencia comparada con los cálculos manuales y datos de fabricantes de acero de hasta el 4% de error, lo cual es totalmente admisible para pruebas de laboratorio. La precisión del banco se debe netamente a la sensibilidad que tienen las galgas extensométricas y su correcta aplicación sobre las probetas a ensayar, por lo que es menester respetar todo el proceso de pegado de galgas expuesto en este documento.

RECOMENDACIONES

- Para la elaboración de futuras investigaciones se sugiere la realización del estudio del diseño conceptual ya que es una gran herramienta que permite identificar las características con mayor prioridad que deben ser incluidas en la máquina de acuerdo con las necesidades del usuario. Determinar los requerimientos de la voz del usuario permite centrar la investigación a solucionar y mejorar la máquina según la realidad de las personas que la operan.
- Tras realizar la investigación y el análisis de requerimientos del usuario se determina que se debería implementar galgas extensométricas lineales conectadas a $\frac{1}{4}$ de puente Wheatstone nos permite determinar deformaciones longitudinales y transversales con una mayor eficiencia que conectándolas en $\frac{1}{2}$ puente o puente completo.
- Con el objetivo de mejorar las pruebas realizadas por el banco de pruebas se ve la necesidad de implementar un chasis porta tarjetas de adquisición de datos exclusivo para el banco, ya que de este modo se podrá movilizar simplemente la caja de control a cualquier punto donde se desee determinar el estado tensorial de un elemento mecánico.
- Se recomienda realizar más ensayos con distintas configuraciones de soporte y de elementos para validar las prácticas de laboratorio con la teoría y ejercicios presentados sobre todo en la asignatura de diseño de elementos de máquinas de la carrera de Mecánica.
- Es recomendable respetar todos los protocolos en la colocación de galgas extensométricas, ya que al ser muy sensibles un mal uso puede ocasionar que tengan un daño permanente dejándolas inútiles para siguientes prácticas.

GLOSARIO

Flexión: Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, a flexión. (Pat, 2001: p. 431)

Extensometria: La extensometría es uno de los métodos tradicionales usados por Universidades y centros de investigación para definir el estado tensional de elementos mecánicos. La extensometría nos permite medir deformaciones, fuerzas y desplazamientos. (Rom, 2002: p. 202).

Software: Es un término informático que hace referencia a un programa o conjunto de programas de cómputo, así como datos, procedimientos y pautas que permiten realizar distintas tareas en un sistema informático. (National Instruments Corporation 2019)

Coefficiente de Poisson: es un parámetro característico de cada material que indica la relación entre las deformaciones longitudinales que sufre el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el mismo. (6)

Módulo de Young: El módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Es uno de los métodos más extendidos para conocer la elasticidad de un material. (2)

Deformación: Cambio que sufre un cuerpo o cosa tras haberle aplicado una serie de fuerzas externas, como tensión o compresión, que producen la variación de su tamaño o forma natural. (Borràs, Gimeno y Muñoz, 2016: p. 59)

Límite de fluencia: se define como la tensión existente en la sección de una probeta normalizada de dicho material, sometida a un ensayo de tracción o a un ensayo de compresión, en el instante en que se inicia la fluencia o deformación plástica del mismo. (Siemens, 2021)

Diseño mecánico: es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica. En otras palabras, es el diseño de piezas, estructuras, mecanismos, dispositivos, máquinas e instrumentos de diversa índole. (10)

Transductor: Es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida. El transductor sirve para obtener la información de entornos físicos y químicos y conseguir señales o impulsos eléctricos o viceversa. Los transductores siempre consumen algo de energía por lo que la señal medida resulta debilitada. (14)

Galgas extensométricas: es un sensor que mide cambios relativos en la longitud de un material como resultado de las fuerzas que se le aplican. Esta deformación se registra como una compresión o una extensión y depende en gran medida de las propiedades elásticas del material objeto del ensayo. Una deformación positiva indica que el componente mecánico se estira, mientras que una deformación negativa indica una compresión del material. (12)

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, VICTOR.** *Ley de Hooke.* Valladolid: 2018. pp. 78.
- ALZATE, EDWIN, MONTES, JOSÉ & SILVA, CARLOS.** *Medidores de deformación por resistencia: galgas extensiométricas.*: Universidad Tecnológica de Pereira, 2007, pp. 112-119. ISSN 0122-1701.
- BEER, FERDINAND y JOHNSTON, RUSSELL.** *Mecánica de materiales.* México : McGraw-Hill Companies, 2009. pp. 118.
- BUDYNAS, RICHARD & NISBETT, KEITH.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* Mexico : MCGRAW-HILL, 2019. pp. 54.
- CHEVALIER, ROBERT.** HBM. [En línea] 2015. [Consulta el: 28 de 05 de 2021]. Disponible en: <https://www.hbm.com/es/3517/tecnologia-de-galgas-extensometricas-en-equipos-medicos-oem/>.
- DÍAZ, VICENTE, y otros.** *Mecánica de materiales teoría y aplicaciones.* México : Patria educación, 2018. pp. 156.
- FABELA, MANUEL, HERNÁNDEZ, JOSÉ & VÁZQUEZ, DAVID.** *La extensometría como técnica de medición experimental.* Querétaro : Sanfandila, 2013. pp. 59-67.
- FERRO, KEVIN.** "Diseño experimental del estado de esfuerzos y deformaciones a través de galgas extensimétricas en componentes mecánicos bajo condiciones de servicio". Bogotá : Universidad Santo Tomás, 2017. pp. 13-19.
- GARCIA, FRANCISCO.** Sensoricx. [En línea] 20 de Mayo de 2018. [Consulta el: 03 de 06 de 2021]. Disponible en: <https://sensoricx.com/sensores/hablemos-de-las-galgas-extensometricas/>.
- GRANDA, MERCEDES y MEDIAVILLA, ELENA.** *Instrumentación electrónica.* Santander : Universidad Cantabria, 2015. pp. 45-78.
- GUIRAO, ANA y TORRANO, MANUEL.** *Análisis experimental de deformaciones mediante extensometría.* Cartagena : Universidad Politécnica de Cartagena, 2020. pp. 12-16.
- IDROVO, PABLO y QUINTANILLA, LUIS.** "Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas". Cuenca : UPS, 2010. pp. 5-13.
- JIMÉNEZ, JOSÉ, FERNÁNDEZ, JAVIER y SUÁREZ, FERNANDO.** *Fundamentos de elasticidad y resistencia de materiales.* Madrid : Paraninfo S.A, 2020. pp. 134-137.
- MARTINEZ, MANUEL.** *Medida de la fuerza de empuje de las hélices marinas mediante técnicas de extensometría.* Oviedo : Universidad de Oviedo, 2005. pp. 45.
- MOTT, ROBERT.** *Diseño de elementos de máquinas.* México : Pearson Education, 2006.

- NARANJO, MARCO y BURGOS, SEBASTIÁN.** *Boletín mensual de análisis sectorial de Mipymes.* Quito : Flacso, 2017. pp. 22.
- NATIONAL INSTRUMENTS.** *NI 9219 Getting Started Guide - National Instruments.* Texas : NI Trademarks, 2016.
- OMEGA.** *Optimizing Strain Gage Performance for Inhomogeneous Materials.* Newark : 2015. pp. 98.
- OMEGA™.** *Calibrador de tensión de precisión.* Connecticut : Spectris plc, 2021. pp. 109.
- RINCÓN, ESTHER, CASTRO, LUCAS y IGLESIAS, DANIEL.** *Resistencia de materiales, determinación de tensiones y deformaciones.* Madrid : Visión Net, 2014. pp. 132-156.
- RODRIGUEZ, DARYL.** *Montaje y puesta a punto del puente extensométrico.* Santa Clara : Universidad Central Marta Abreu de las Villas, 2014. pp. 17.
- ROMERO, MANUEL, MUSEROS, PEDRO y MARTÍNEZ, MARÍA.** *Resistencia de Materiales.* Castelló : Publicacions de la Universitat Jaume I, 2002. pp. 98-115.
- VEGA, ROA.** "Diseño e implementación de un sistema de adquisición automático de datos para la medición de esfuerzos y deformaciones relativas por medio de galgas extensiométricas". Bogotá : Universidad de La Salle, 2009. pp. 19.

ANEXOS

ANEXO A: Encuesta

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

ENCUESTA

Dirigido a docentes y técnicos del laboratorio de la facultad de mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fecha:

Cargo:

Indicaciones: En las siguientes preguntas, seleccione la opción que le parece la más correcta según su criterio.

1. ¿Utiliza el banco de prácticas de extensometría?

Si No

2. ¿Considera importante implementar el banco de pruebas de extensometría para cálculo de las deformaciones en los distintos materiales?

Si No

3. ¿Es importante que el banco de pruebas de extensometría sea un fácil manejo?

Si No

4. ¿Es importante que para la obtención de los datos de deformaciones mediante galgas se las visualice en un Software de fácil conocimiento?

Si No

5. ¿Cree que las maquinas deben reunir características que indican normas internacionales?

Si No

6. ¿De qué tipo de material se requieren realizar ensayos para conocer sus propiedades?

Acero Madera Material compuesto

7. ¿Es conveniente que una máquina produzca mucho sonido?

Si No

8. ¿Qué tamaño debe ser una máquina para una óptima manipulación?

Pequeña Mediana Grande

9. Por facilidad de transporte. ¿Qué peso debe tener una maquina?

Liviana Pesada Muy pesada

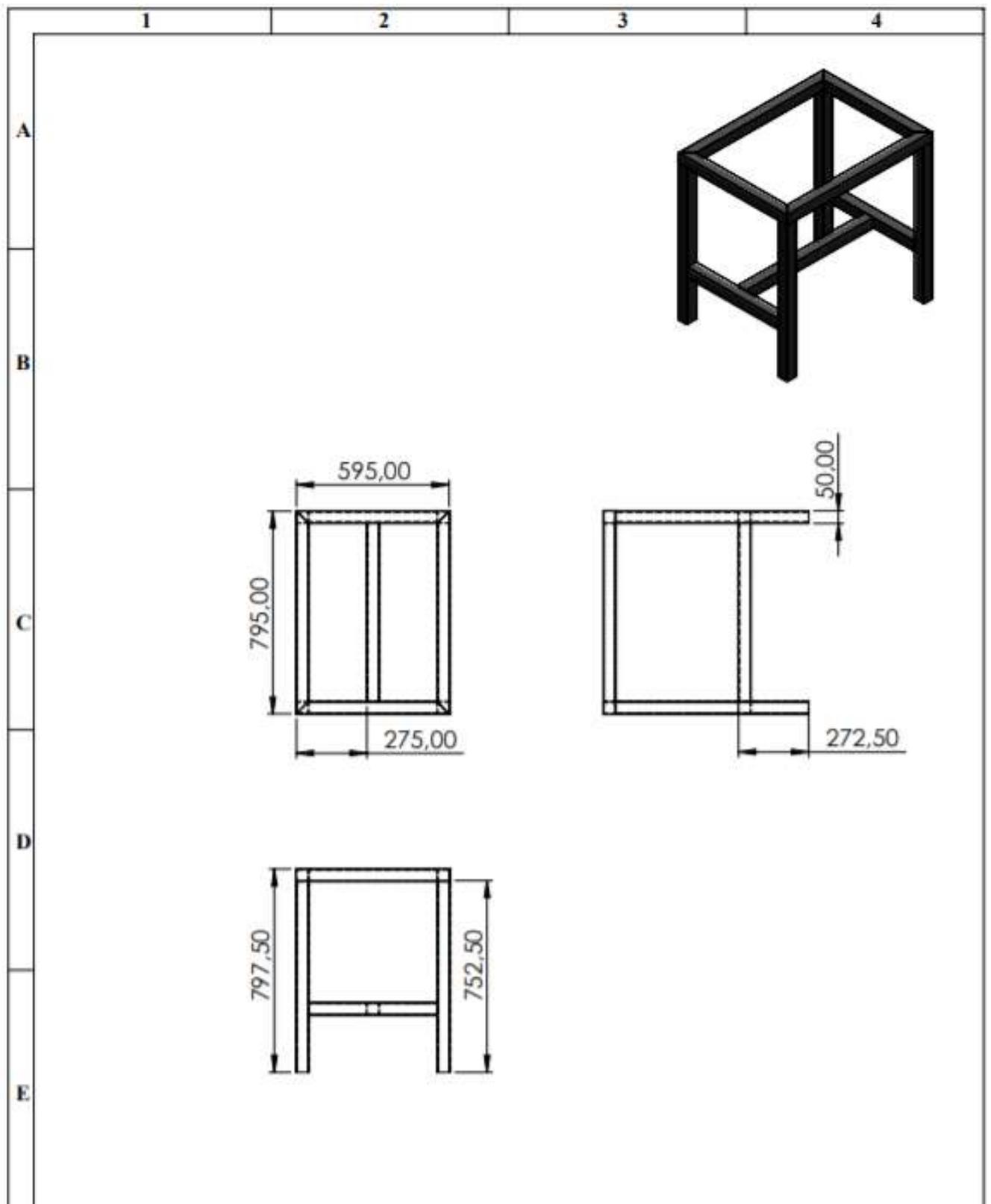
10. ¿Qué costo debe tener una máquina de ensayos?

Accesible Costoso Muy costoso

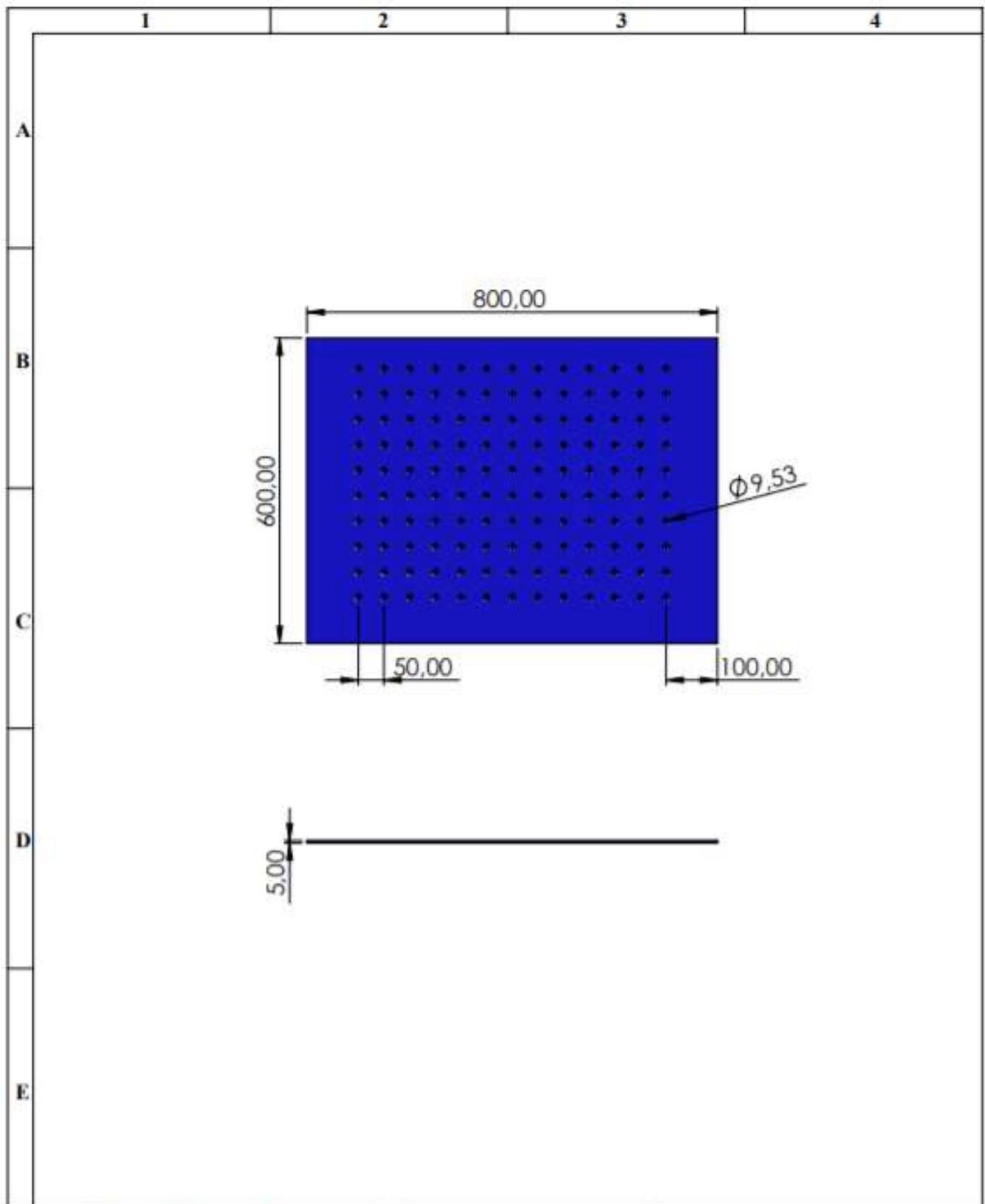
ANEXO B: Planos de detalle

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	COLUMNA		1
2	ESTRUCTURA		1
3	MORDAZA		2
4	PROBETA PLATINA		1
5	TABLERO		1
6	HEAVY HEX BOLT M12 X 1.5		4
7	B18.2.4.6M - HEAVY HEX NUT, M12 X 1.75 -W-S		4
8	B18.6.7M - M10 X 1.5 X 20 INDENTED HHMS -20S		4

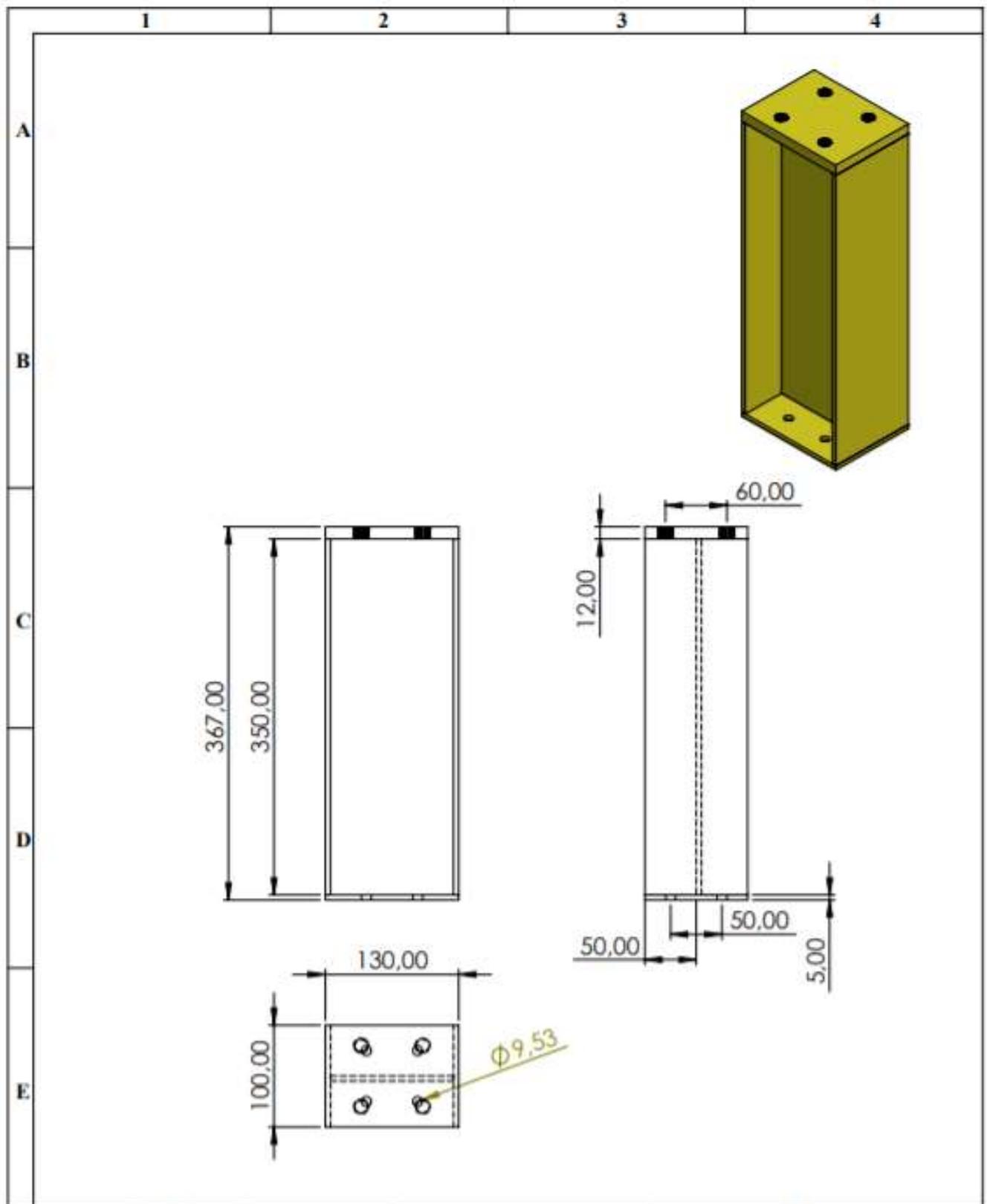
N.º. Lámina: 1 de 1	N.º. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-2021	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:			Denominación: BANCO DE PRÁCTICAS				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Este documento es propiedad intelectual exclusiva de A.S.V.I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Proyectó	C. Domínguez, J. Tierra		2021.09/10				
Dibujó	C. Domínguez, J. Tierra		2021.09/10				
Revisó			2021.09/10				
Aprobó			2021.09/10	Nombre de archivo: Ensamblaje mesa.sldprt			



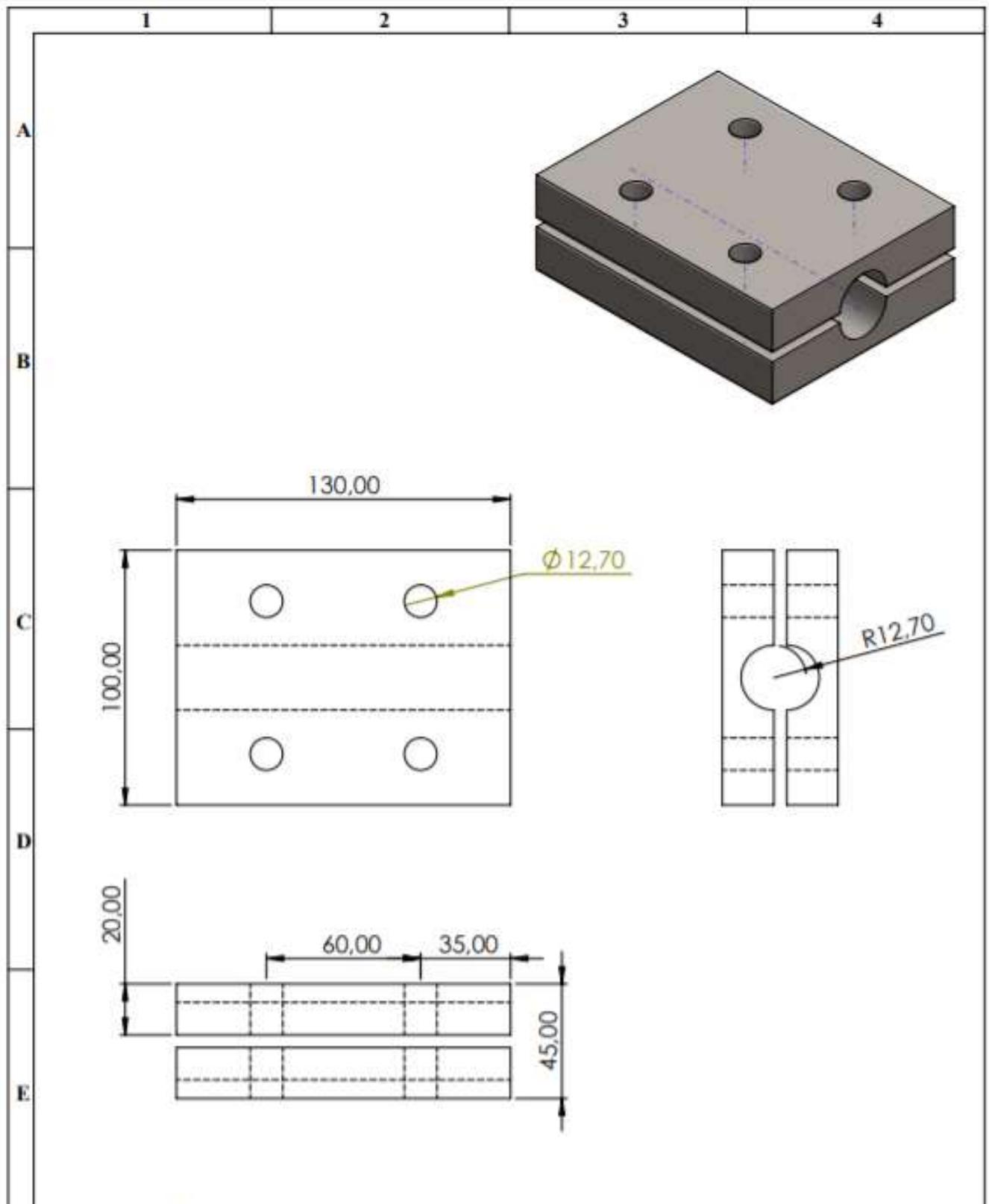
N°. Lámina: 1 de 1		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
Email: Teléfonos:				ESTRUCTURA				Denominación:		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre						Firma		Fecha		21,71		±0.3 [mm]		1:20	
Proyectó		C. Dominguez, J. Tierra				2021/09/10		Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y E.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
Dibujó		C. Dominguez, J. Tierra				2021/09/10											
Revisó						2021/09/10		Nombre de archivo: Ensamblaje mesa.sldprt									
Aprobó						2021/09/10											



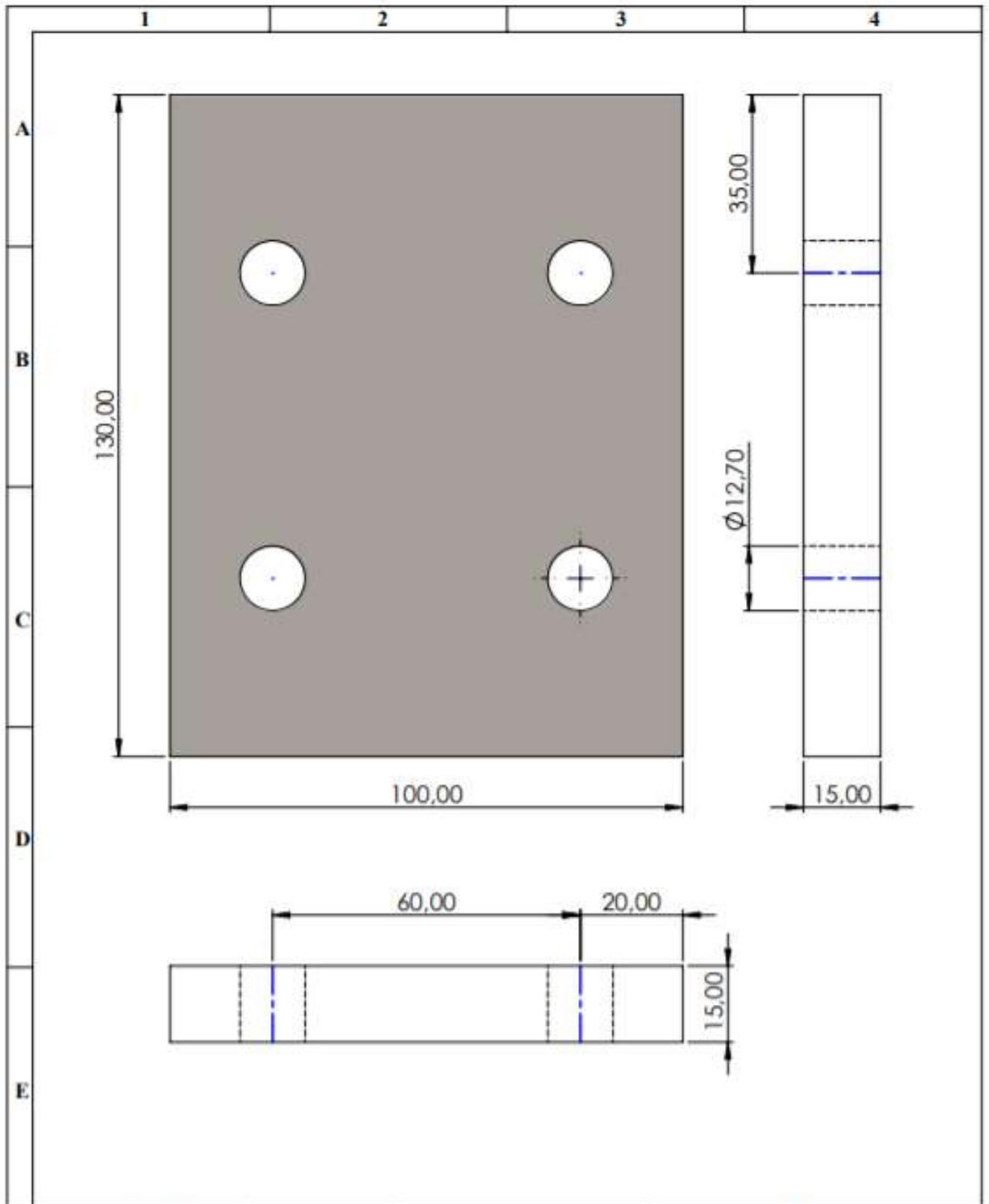
N°. Lámina: 1 de 1		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: TABLERO							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN DISEÑO				18,83	±0.3 [mm]	1:10	
Proyectó	C. Domínguez, J. Tierra		2021/09/10					Nombre de archivo: Ensamblaje mesa.sldprt			
Dibujó	C. Domínguez, J. Tierra		2021/09/10								
Revisó			2021/09/10								
Aprobó			2021/09/10								



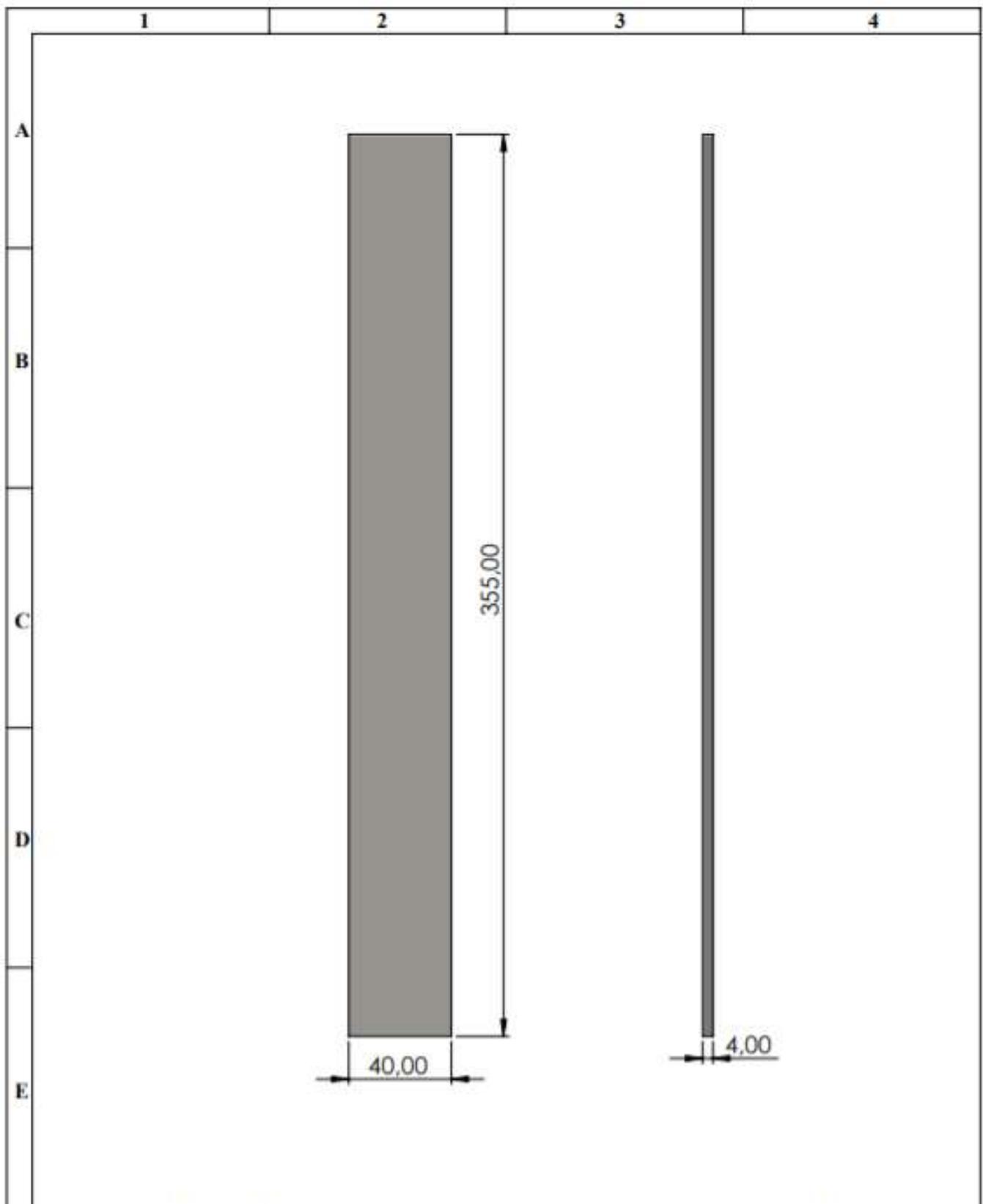
N°. Lámina: 1 de 1		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: COLUMNA							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN DISEÑO				5,63	± 0.3 [mm]	1:5	
Proyectó	C. Dominguez, J. Tierra		2021/09/10					Nombre de archivo: Ensamblaje mesa.sldprt			
Dibujó	C. Dominguez, J. Tierra		2021/09/10								
Revisó			2021/09/10								
Aprobó			2021/09/10								



N°. Lámina: 1 de 1		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
Email: Teléfonos:				MORDAZA CIRCULAR				Denominación:		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre						Firma		Fecha		3,39		±0.3 [mm]		1:2	
Proyectó		C. Domínguez, J. Tierra				2021/09/10		Materiales: SEGUN DISEÑO				<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 					
Dibujó		C. Domínguez, J. Tierra				2021/09/10											
Revisó						2021/09/10		Nombre de archivo: Ensamblaje mesa.sldprt									
Aprobó						2021/09/10											



N°. Lámina: 1 de 1		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:				Denominación: MORDAZA PLANA								Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		1,46		±0.3 [mm]		1:1			
Proyectó		C. Domínguez, J. Tierra				2021/09/10									
Dibujó		C. Domínguez, J. Tierra				2021/09/10									
Revisó						2021/09/10									
Aprobó						2021/09/10		Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
								Nombre de archivo: Ensamblaje mesa.sldprt							



N°. Lámina: 1 de 1		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
Email: Teléfonos:				PROBETA PLATINA				Denominación:		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre						Firma		Fecha		0,45		±0.3 [mm]		1:2	
Proyectó		C. Domínguez, J. Tierra				2021/09/10		Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
Dibujó		C. Domínguez, J. Tierra				2021/09/10											
Revisó						2021/09/10		Nombre de archivo: Ensamblaje mesa.sldprt									
Aprobó						2021/09/10											

ANEXO C: Data Sheet de la tarjeta de datos NI ENET-9219

DATASHEET

NI 9219

4 AI, 100 S/s/ch Simultaneous, Universal Measurements



- Spring-terminal connectivity
- Support for Thermocouple (50 S/s/ch), RTD, Resistance, Full-Bridge, Half-Bridge, Quarter-Bridge, Voltage, and Current Measurements
- Voltage and current excitation
- 250 VAC, CAT II, channel-to-channel isolation

The NI 9219 is a universal C Series module designed for multipurpose testing in any NI CompactDAQ or CompactRIO chassis. With the NI 9219, you can measure several signals from sensors such as strain gages, RTDs, thermocouples, load cells, and other powered sensors. The channels are individually selectable, so you can perform a different measurement type on each of the four channels. Measurement ranges differ for each type of measurement and include up to ± 60 V for voltage and ± 25 mA for current.

	Kit Contents	<ul style="list-style-type: none">• NI 9219• NI 9219 Getting Started Guide• Spring-Terminal Tool
	Accessories	<ul style="list-style-type: none">• NI 9972 Backshell Connector Kit



NI C Series Overview



NI provides more than 100 C Series modules for measurement, control, and communication applications. C Series modules can connect to any sensor or bus and allow for high-accuracy measurements that meet the demands of advanced data acquisition and control applications.

- Measurement-specific signal conditioning that connects to an array of sensors and signals
- Isolation options such as bank-to-bank, channel-to-channel, and channel-to-earth ground
- -40 °C to 70 °C temperature range to meet a variety of application and environmental needs
- Hot-swappable

The majority of C Series modules are supported in both CompactRIO and CompactDAQ platforms and you can move modules from one platform to the other with no modification.

CompactRIO



CompactRIO combines an open-embedded architecture with small size, extreme ruggedness, and C Series modules in a platform powered by the NI LabVIEW reconfigurable I/O (RIO) architecture. Each system contains an FPGA for custom timing, triggering, and processing with a wide array of available modular I/O to meet any embedded application requirement.

CompactDAQ

CompactDAQ is a portable, rugged data acquisition platform that integrates connectivity, data acquisition, and signal conditioning into modular I/O for directly interfacing to any sensor or signal. Using CompactDAQ with LabVIEW, you can easily customize how you acquire, analyze, visualize, and manage your measurement data.



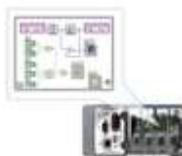
Software

LabVIEW Professional Development System for Windows



- Use advanced software tools for large project development
- Generate code automatically using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant
- Use advanced measurement analysis and digital signal processing
- Take advantage of open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Build DLLs, executables, and MSI installers

NI LabVIEW FPGA Module



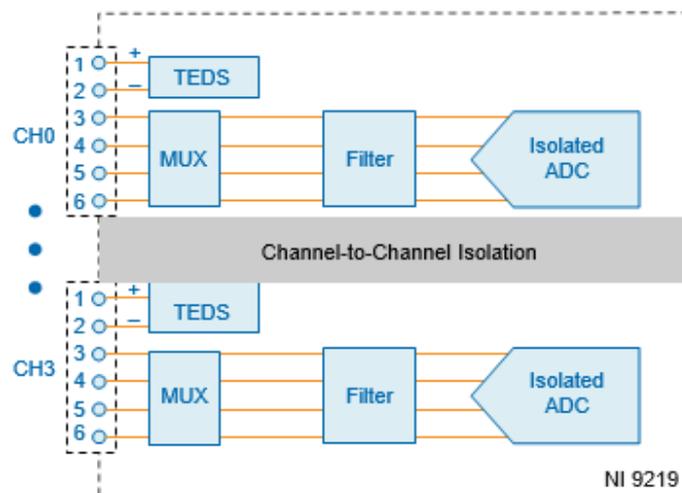
- Design FPGA applications for NI RIO hardware
- Program with the same graphical environment used for desktop and real-time applications
- Execute control algorithms with loop rates up to 300 MHz
- Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms
- Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx IP generator functions
- Purchase as part of the LabVIEW Embedded Control and Monitoring Suite

NI LabVIEW Real-Time Module



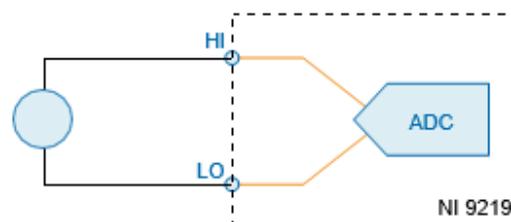
- Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming
- Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O
- Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions
- Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually
- Take advantage of real-time OS, development and debugging support, and board support
- Purchase individually or as part of a LabVIEW suite

NI 9219 Circuitry



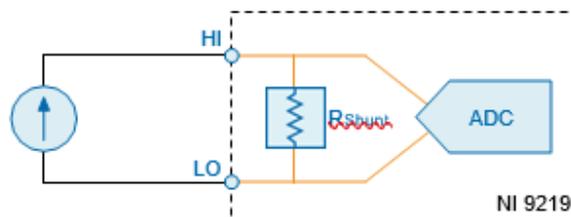
- The NI 9219 is channel-to-channel isolated.
- Four 24-bit analog-to-digital converters (ADCs) simultaneously sample all four analog input channels.
- The NI 9219 enables an excitation circuit for all input modes that require excitation.
- The NI 9219 reconfigures the signal conditioning for each measurement type.

Voltage Circuitry



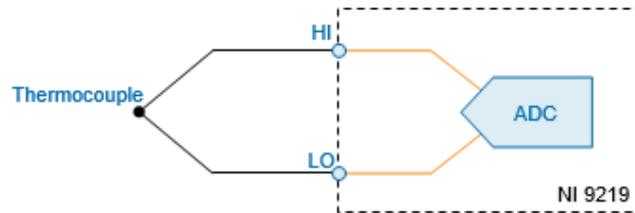
- The ADC measures voltage across the HI and LO terminals.
- The NI 9219 has ± 60 V, ± 15 V, ± 4 V, ± 1 V, and ± 125 mV voltage ranges.

Current Circuitry



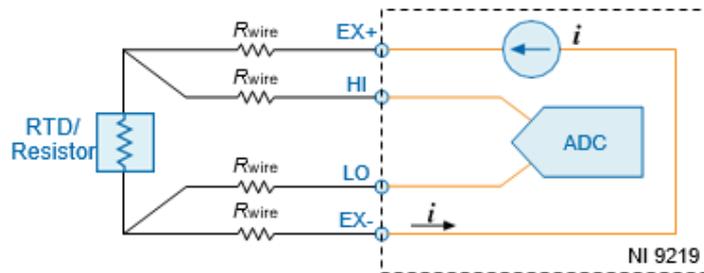
The NI 9219 computes current from the voltage that the ADC measures across an internal shunt resistor.

Thermocouple Circuitry



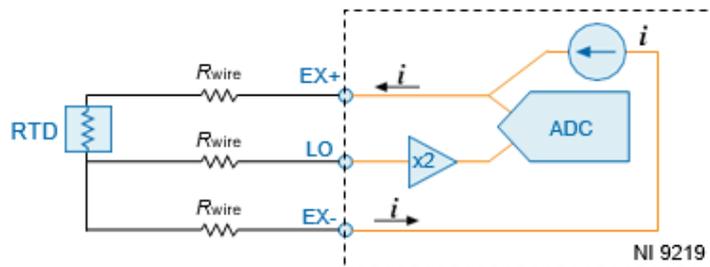
- The NI 9219 uses the ± 125 mV range of the ADC to return a voltage reading.
- Each channel has a built-in thermistor for cold-junction compensation (CJC) calculations.

4-Wire Resistance and 4-Wire RTD Circuitry



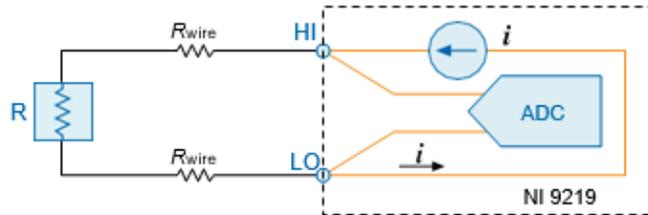
- The NI 9219 sources a current, which varies based on the resistance of the load, between the EX+ and EX- terminals. The NI 9219 computes measured resistance from the resulting voltage reading.
- Lead wire resistance does not affect these measurement types because a negligible amount of current flows across the HI and LO terminals due to the high input impedance of the ADC.

3-Wire RTD Circuitry



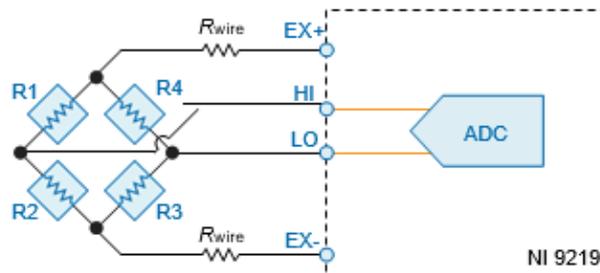
- The NI 9219 sources a current, which varies based on the resistance of the load, between the EX+ and EX- terminals.
- The NI 9219 compensates for lead wire resistance in hardware if all the lead wires have the same resistance.
- The NI 9219 applies a gain of 2x to the voltage across the negative lead wire and the ADC uses this voltage as the negative reference to cancel the resistance error across the positive lead wire.

2-Wire Resistance and Quarter-Bridge Circuitry



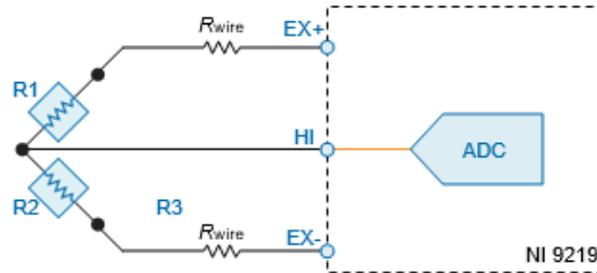
- The NI 9219 sources a current, which varies based on the resistance of the load, between the HI and LO terminals.
- The NI 9219 computes measured resistance from the resulting voltage reading.
- 2-Wire Resistance and Quarter-Bridge measurement types do not compensate for lead wire resistance.

Full-Bridge Circuitry



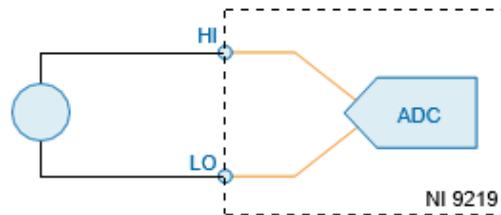
- The ADC reads the HI and LO inputs differentially.
- The internal voltage excitation sets the input range of the ADC and returns voltage readings that are proportional to the excitation level. The internal excitation voltage varies based on the resistance of the sensor.

Half-Bridge Circuitry



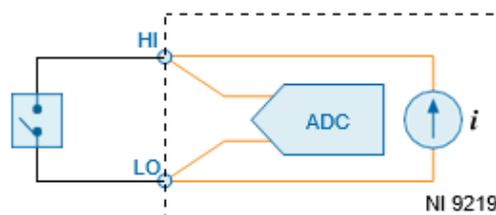
- The HI input is referenced to EX-.
- The internal voltage excitation sets the input range of the ADC and returns voltage readings that are proportional to the excitation level. The internal excitation voltage varies based on the resistance of the sensor.

Digital In Circuitry



- The NI 9219 has a 60 V unipolar threshold that you can set in software.
- The digital in measurement type is only supported in CompactRIO systems.

Open Contact Circuitry



- The NI 9219 sources a current between the HI and LO terminals and determines if the two terminals are open or closed based on the measured current through the terminals.
- When the circuit is open, make sure no more than ± 60 V is sourced across the switch.
- The open contact measurement type is only supported in CompactRIO systems.

Timing Modes

The NI 9219 supports high-resolution, best 50 Hz rejection, best 60 Hz rejection, and high-speed timing modes. High-resolution timing mode optimizes maximum overall noise rejection and provides rejection of 50 Hz and 60 Hz noise. Best 50 Hz rejection optimizes 50 Hz noise rejection. Best 60 Hz rejection optimizes 60 Hz noise rejection. High-speed timing mode optimizes sample rate.

NI 9219 Specifications

The following specifications are typical for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted.



Caution Do not operate the NI 9219 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

Input Characteristics

Number of channels	4 analog input channels
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-sigma (with analog prefiltering)
Sampling mode	Simultaneous
Type of TEDS supported	IEEE 1451.4 TEDS Class 2 (Interface)

Table 1. Input Ranges

Measurement Type	Nominal Range(s)	Actual Range(s)
Voltage	± 60 V, ± 15 V, ± 4 V, ± 1 V, ± 125 mV	± 60 V, ± 15 V, ± 4 V, ± 1 V, ± 125 mV
Current	± 25 mA	± 25 mA
Thermocouple	± 125 mV	± 125 mV
4-Wire and 2-Wire Resistance	10 k Ω , 1 k Ω	10.5 k Ω , 1.05 k Ω
4-Wire and 3-Wire RTD	Pt 1000, Pt 100	5.05 k Ω , 505 Ω
Quarter-Bridge	350 Ω , 120 Ω	390 Ω , 150 Ω
Half-Bridge	± 500 mV/V	± 500 mV/V
Full-Bridge	± 62.5 mV/V, ± 7.8 mV/V	± 62.5 mV/V, ± 7.8125 mV/V

Table 1. Input Ranges (Continued)

Measurement Type	Nominal Range(s)	Actual Range(s)
Digital In	—	0 V to 60 V
Open Contact	—	1.05 k Ω

Conversion time, all channels

No channels configured as a thermocouple

High speed	10 ms
Best 60 Hz rejection	110 ms
Best 50 Hz rejection	130 ms
High resolution	500 ms

One or more channels configured as a thermocouple

High speed	20 ms
Best 60 Hz rejection	120 ms
Best 50 Hz rejection	140 ms
High resolution	510 ms

Overvoltage protection

Terminals 1 and 2	± 30 V
Terminals 3 through 6, across any combination	± 60 V

Input impedance

Voltage and Digital In (± 60 V, ± 15 V, ± 4 V)	1 M Ω
Current	< 40 Ω
All other measurement types	>1 G Ω

Table 2. Accuracy

Measurement Type	Range	Gain Error (Percent of Reading)	Offset Error (ppm of Range)
		Typical (25 °C ±5 °C), Maximum (-40 °C to 70 °C)	
Voltage	±60 V	±0.3, ±0.4	±20, ±50
	±15 V	±0.3, ±0.4	±60, ±180
	±4 V	±0.3, ±0.4	±240, ±720
	±1 V	±0.1, ±0.18	±15, ±45
Voltage/Thermocouple	±125 mV	±0.1, ±0.18	±120, ±360
Current	±25 mA	±0.1, ±0.6	±30, ±100
4-Wire and 2-Wire ¹ Resistance	10 kΩ	±0.1, ±0.5	±120, ±320
	1 kΩ	±0.1, ±0.5	±1200, ±3200
4-Wire and 3-Wire RTD	Pt 1000	±0.1, ±0.5	±240, ±640
	Pt 100	±0.1, ±0.5	±2400, ±6400
Quarter-Bridge	350 Ω	±0.1, ±0.5	±2400, ±6400
	120 Ω	±0.1, ±0.5	±2400, ±6400
Half-Bridge	±500 mV/V	±0.03, ±0.07	±300, ±450
Full-Bridge	±62.5 mV/V	±0.03, ±0.08	±300, ±1000
	±7.8 mV/V	±0.03, ±0.08	±2200, ±8000

Cold-junction compensation sensor
accuracy

±1 °C typical

Table 2. Accuracy

Measurement Type	Range	Gain Error (Percent of Reading)	Offset Error (ppm of Range)
		Typical (25 °C ±5 °C), Maximum (-40 °C to 70 °C)	
Voltage	±60 V	±0.3, ±0.4	±20, ±50
	±15 V	±0.3, ±0.4	±60, ±180
	±4 V	±0.3, ±0.4	±240, ±720
	±1 V	±0.1, ±0.18	±15, ±45
Voltage/Thermocouple	±125 mV	±0.1, ±0.18	±120, ±360
Current	±25 mA	±0.1, ±0.6	±30, ±100
4-Wire and 2-Wire ¹ Resistance	10 kΩ	±0.1, ±0.5	±120, ±320
	1 kΩ	±0.1, ±0.5	±1200, ±3200
4-Wire and 3-Wire RTD	Pt 1000	±0.1, ±0.5	±240, ±640
	Pt 100	±0.1, ±0.5	±2400, ±6400
Quarter-Bridge	350 Ω	±0.1, ±0.5	±2400, ±6400
	120 Ω	±0.1, ±0.5	±2400, ±6400
Half-Bridge	±500 mV/V	±0.03, ±0.07	±300, ±450
Full-Bridge	±62.5 mV/V	±0.03, ±0.08	±300, ±1000
	±7.8 mV/V	±0.03, ±0.08	±2200, ±8000

Cold-junction compensation sensor
accuracy

±1 °C typical

Table 3. Stability

Measurement Type	Range	Gain Drift (ppm of Reading/°C)	Offset Drift (ppm of Range/°C)
Voltage	±60 V	±20	±0.2
	±15 V	±20	±0.8
	±4 V	±20	±3.2
	±1 V	±10	±0.2
Voltage/Thermocouple	±125 mV	±10	±1.6
Current	±25 mA	±15	±0.4
4-Wire and 2-Wire Resistance	10 kΩ	±15	±3
	1 kΩ	±15	±30
4-Wire and 3-Wire RTD	Pt 1000	±15	±6
	Pt 100	±15	±60
Quarter-Bridge	350 Ω	±15	±120
	120 Ω	±15	±240
Half-Bridge	±500 mV/V	±3	±20
Full-Bridge	±62.5 mV/V	±3	±20
	±7.8 mV/V	±3	±20

Table 4. Input Noise in ppm of Range_{rms}

Measurement Type	Range	Timing Mode			
		High Speed	Best 60 Hz Rejection	Best 50 Hz Rejection	High Resolution
Voltage	±60 V	7.6	1.3	1.3	0.5
	±15 V	10.8	1.9	1.9	0.7
	±4 V	10.8	2.7	2.7	1.3
	±1 V	7.6	1.3	1.3	0.5
Voltage/ Thermocouple	±125 mV	10.8	1.9	1.9	1.0

Table 4. Input Noise in ppm of Range_{rms} (Continued)

Measurement Type	Range	Timing Mode			
		High Speed	Best 60 Hz Rejection	Best 50 Hz Rejection	High Resolution
Current	±25 mA	10.8	1.9	1.9	1.0
4-Wire and 2-Wire Resistance	10 kΩ	4.1	1.3	0.8	0.3
	1 kΩ	7.1	1.8	1.2	0.7
4-Wire and 3-Wire RTD	Pt 1000	7.6	1.7	1.1	0.4
	Pt 100	10.8	1.9	1.9	0.9
Quarter-Bridge	350 Ω	5.4	1.0	1.0	0.7
	120 Ω	5.4	1.0	1.0	0.7
Half-Bridge	±500 mV/V	3.8	0.5	0.5	0.2
Full-Bridge	±62.5 mV/V	5.4	1.0	1.0	0.8
	±7.8 mV/V	30	4.7	4.7	2.3

Input bias current	<1 nA
INL	±15 ppm
CMRR ($f_{in} = 60$ Hz)	>100 dB
NMRR	
Best 60 Hz rejection	90 dB at 60 Hz
Best 50 Hz rejection	80 dB at 50 Hz
High resolution	65 dB at 50 Hz and 60 Hz

Table 5. Half-Bridge, Full-Bridge, Quarter-Bridge, Resistance, and RTD Excitation Level

Measurement Type	Load Resistance (Ω)	Characteristic Excitation Level ²
Half-Bridge	700	2.5 V
	240	2.0 V

Table 5. Half-Bridge, Full-Bridge, Quarter-Bridge, Resistance, and RTD Excitation Level (Continued)

Measurement Type	Load Resistance (Ω)	Characteristic Excitation Level ²
Full-Bridge	350	2.7 V
	120	2.2 V
Resistance, RTD, and Quarter-Bridge	120	50 mV
	350	150 mV
	1,000	430 mV
	10,000	2200 mV

MTBF 384,716 hours at 25 °C; Bellcore Issue 2, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method

Power Requirements

Power consumption from chassis

Active mode	750 mW maximum
Sleep mode	25 μ W maximum

Thermal dissipation (at 70 °C)

Active mode	625 mW maximum
Sleep mode	25 μ W maximum

Physical Characteristics

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



Tip For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit ni.com/dimensions and search by module number.

Spring-terminal wiring

Gauge	0.08 mm ² to 1.0 mm ² (28 AWG to 18 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	7 mm (0.28 in.) of insulation stripped from the end

Temperature rating	90 °C minimum
Wires per spring terminal	One wire per spring terminal
Connector securement	
Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.2 N · m (1.80 lb · in.)
Weight	156 g (5.5 oz)

Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Channel-to-channel	
Continuous	250 VAC, Measurement Category II
Withstand	1,390 VAC, verified by a 5 s dielectric withstand test
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 VAC, Measurement Category II
Withstand	2,300 VAC, verified by a 5 s dielectric withstand test
Zone 2 hazardous locations applications in Europe	
Channel-to-channel and channel-to-earth ground	60 VDC, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



Caution If using in Division 2 or Zone 2 hazardous locations applications, do not connect the NI 9219 to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.



Note Measurement Categories CAT I and CAT O are equivalent. These test and measurement circuits are not intended for direct connection to the MAINS building installations of Measurement Categories CAT II, CAT III, or CAT IV.

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.



Caution Do not connect the NI 9219 to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (ATEX) and International (IECEX)	Ex nA IIC T4 Gc

Safety and Hazardous Locations Standards

This product is designed to meet the requirements of the following electrical equipment safety standards for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1
- EN 60079-0:2012, EN 60079-15:2010
- IEC 60079-0: Ed 6, IEC 60079-15; Ed 4
- UL 60079-0; Ed 5, UL 60079-15; Ed 3
- CSA 60079-0:2011, CSA 60079-15:2012



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for sensitive electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Industrial immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the [Online Product Certification](#) section.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as follows:

- 2014/35/EU; Low-Voltage Directive (safety)
- 2014/30/EU; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)
- 94/9/EC; Potentially Explosive Atmospheres (ATEX)

Online Product Certification

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

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system.

Operating vibration	
Random (IEC 60068-2-64)	5 g _{rms} , 10 Hz to 500 Hz
Sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 Hz to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine; 50 g, 3 ms half sine; 18 shocks at 6 orientations

Environmental

Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 70 °C
Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 85 °C
Ingress protection	IP40
Operating humidity (IEC 60068-2-78)	10% RH to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-78)	5% RH to 95% RH, noncondensing
Pollution Degree	2
Maximum altitude	2,000 m

Indoor use only.

Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *Minimize Our Environmental Impact* web page at ni.com/environment. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of the product life cycle, all NI products must be disposed of according to local laws and regulations. For more information about how to recycle NI products in your region, visit ni.com/environment/weee.

电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）



中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 ni.com/environment/rohs_china。（For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china。）

Calibration

You can obtain the calibration certificate and information about calibration services for the NI 9219 at ni.com/calibration.

Calibration interval

1 year

PRECISION STRAIN GAGE

PRECISION LINEAR PATTERN FOR STATIC AND DYNAMIC APPLICATIONS



SGD Series

- ✓ Very Flexible, Mechanically Strong
- ✓ Small Bending Radius
- ✓ Broad Temperature Range
- ✓ Ribbon Leads or Solder Pads
- ✓ Clear Alignment Marks
- ✓ Affix with Cold or Hot Curing Adhesives

OMEGA® strain gages are available in a variety of models to cover most strain measurement applications. Their rugged construction and flexibility make them suitable for highly accurate static and dynamic measurement. The measuring grid is formed by etching constantan foil, which is then completely sealed in a carrier medium composed of polyimide film. The linear pattern strain gages are used to measure strain in a single direction. They are often used for experimental stress analysis applications. The strain gage pattern is shown on the left side of the table. Notice the "arrow" which indicates the principal stress direction.

The linear pattern strain gages are available in a variety of styles and sizes. OMEGA is offering miniature linear patterns for strain measurement of a stress concentration or high gradient areas. We also have wide or narrow grid patterns, and small, medium or large patterns. To determine if the strain gages have temperature characteristics matched to steel or aluminum, see the column labeled "COMP" short for compensation, "ST" indicates steel, "AL" indicates aluminum, "UNC" indicates uncompensated. See the column labeled "BTP" for accessory bondable terminal pad model numbers.

Dimensions are listed for pattern gage grid length (A) and width (B), and the matrix or carrier length (C) and width (D). The patterns include alignment triangles. The carrier or matrix material on the patterns may be trimmed in the field on all sides to within 0.25 mm of the foil grid with no effect on strain gage performance.

GAGE PATTERN Leads not shown	MODEL NO. Pkg of 10	NOM. RESISTANCE (Ω)	DIMENSIONS mm (inch) [†]				MAX V* (Vrms)	TERMINATION	TEMP COMP	TERM PAD
			GRID		CARRIER					
			A	B	C	D				
 Shown actual size 4.70 mm ← →	SGD-1.5/120-LY11	120	1.50	1.20	4.70	3.40	2.5	Ribbon Leads	ST	BTP-1
	SGD-1.5/120-LY13	120	(0.059)	(0.047)	(0.185)	(0.134)	3.5	Ribbon Leads	AL	
	SGD-1.5/120-LY41	120	Miniature linear pattern Measurement of stress concentration				2.5	Solder Pads	ST	
	SGD-1.5/120-LY43	120	120 Ω				3.5	Solder Pads	AL	
 Shown actual size 7.60 mm ← →	SGD-2/350-LY11	350	2.00	2.50	7.60	5.80	7.5	Ribbon Leads	ST	BTP-1
	SGD-2/350-LY13	350	(0.079)	(0.098)	(0.299)	(0.228)	10	Ribbon Leads	AL	
	SGD-2/350-LY41	350	Miniature linear pattern Measurement of stress concentration, higher resistance				7.5	Solder Pads	ST	
	SGD-2/350-LY43	350	reduced heat generation 350 Ω				10	Solder Pads	AL	
 Shown actual size 7.10 mm ← →	SGD-2D/350-LY11	350	1.90	4.80	7.10	6.60	10	Ribbon Leads	ST	BTP-2
	SGD-2D/350-LY13	350	(0.075)	(0.189)	(0.280)	(0.260)	14	Ribbon Leads	AL	
	SGD-2D/350-LY41	350	Miniature linear pattern grid width, wide				10	Solder Pads	ST	
	SGD-2D/350-LY43	350	350 Ω				14	Solder Pads	AL	
 Shown actual size 7.00 mm ← →	SGD-3/350-LY11	350	3.20	2.50	7.00	4.00	9.5	Ribbon Leads	ST	BTP-3
	SGD-3/350-LY13	350	(0.126)	(0.098)	(0.276)	(0.157)	13	Ribbon Leads	AL	
	SGD-3/350-LY41	350	linear pattern leads/ pads at on end of grid				9.5	Solder Pads	ST	
	SGD-3/350-LY43	350	350 Ω				13	Solder Pads	AL	



STRAIN GAGES

DISCOUNT SCHEDULE	
1 to 10 pkgs.	Net
11 to 24 pkgs.	5%
25 to 49 pkgs.	10%
50 and up and OEM . .	Consult Factory

[†] For dimensions key, visit us online.
 Maximum permitted bridge energizing voltage (Vrms).
Note: For strain gage accessories visit us online.
Ordering Example: SGD-3/350-LY11, 3.2 mm grid, 350 Ω nominal-resistance strain gage.



NOTE
 ST = Steel
 AL = Aluminum

PRECISION STRAIN GAGE

PRECISION LINEAR PATTERN FOR STATIC AND DYNAMIC APPLICATIONS

GAGE PATTERN Leads not shown	MODEL NO. Pkg of 10	NOM. RESIS- TANCE (Ω)	DIMENSIONS mm (inch) [†]				MAX V [*] (Vrms)	TERMINATION	TEMP COMP	TERM PAD			
			GRID		CARRIER								
			A	B	C	D							
Shown actual size 7.80 mm  ↔	SGD-3/120-LY11	120	3.00 1.50 7.80 3.80 (0.118) (0.059) (0.307) (0.150) Linear pattern, grid width narrow 120 Ω	4	Ribbon Leads	ST	BTP-3						
	SGD-3/120-LY13	120						5.5	Ribbon Leads	AL			
	SGD-3/120-LY41	120									4	Solder Pads	ST
	SGD-1.5/120-LY43	120											
Shown actual size 6.60 mm  ↔	SGD-3S/120-LY11	120	3.00 1.70 6.60 3.30 (0.118) (0.067) (0.260) (0.130) Linear pattern, small size 120 Ω	4.5	Ribbon Leads	ST	BTP-3						
	SGD-3S/120-LY13	120						6	Ribbon Leads	AL			
	SGD-3S/120-LY41	120									4.5	Solder Pads	ST
	SGD-3S/120-LY43	120											
Shown actual size 7.90 mm  ↔	SGD-4/120-LY11	120	3.80 5.70 7.90 7.10 (0.150) (0.224) (0.311) (0.280) Linear pattern, grid width wide 120 Ω	9	Ribbon Leads	ST	BTP-3						
	SGD-4/120-LY13	120						12	Ribbon Leads	AL			
	SGD-4/120-LY41	120									9	Solder Pads	ST
	SGD-4/120-LY43	120											
Shown actual size 9.80 mm  ↔	SGD-5/350-LY11	350	4.50 3.20 9.80 5.20 (0.177) (0.126) (0.386) (0.205) Linear pattern, medium size 350 Ω	12	Ribbon Leads	ST	BTP-4						
	SGD-5/350-LY13	350						17	Ribbon Leads	AL			
	SGD-5/350-LY41	350									12	Solder Pads	ST
	SGD-5/350-LY43	350											



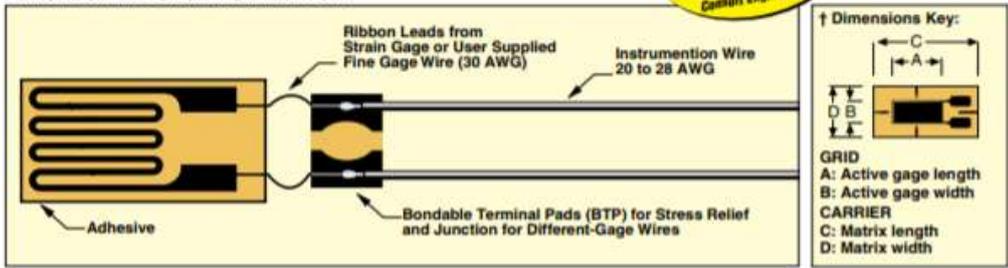
DISCOUNT SCHEDULE	
1 to 10 pkgs.	Net
11 to 24 pkgs.	5%
25 to 49 pkgs.	10%
50 and up and OEM . . .	Consult Factory

* Maximum permitted bridge energizing voltage (Vrms).
 Note: For strain gage accessories visit us online.
 Ordering Example: SGD-4/120-LY13, 3.8 mm grid,
 120 Ω nominal-resistance strain gage.

**Custom-Designed
Strain Gages
Available!**
 No Minimum Quantities.
 Consult Engineering.

NOTE
 ST = Steel
 AL = Aluminum

TYPICAL STRAIN GAGE INSTALLATION



PRECISION STRAIN GAGE

PRECISION LINEAR PATTERN FOR STATIC AND DYNAMIC APPLICATIONS

To Order										
GAGE PATTERN Leads not shown	MODEL NO. Pkg of 10	NOM. RESIS- TANCE (Ω)	DIMENSIONS mm (inch) ¹				MAX V* (Vrms)	TERMINATION	TEMP COMP	TERM PAD
			GRID		CARRIER					
			A	B	C	D				
 Shown actual size 11.4 mm	SGD-6/120-LY11	120	6.50 (0.256) 3.10 (0.122) 11.40 (0.449) 5.10 (0.201) Linear pattern, medium size 120 Ω	9	Ribbon Leads	ST	BTP-4			
	SGD-6/120-LY13	120								
	SGD-6/120-LY41	120								
	SGD-6/120-LY43	120								
 Shown actual size 11.4 mm	SGD-7/350-LY11	350	6.50 (0.256) 3.10 (0.122) 11.40 (0.449) 5.10 (0.201) Linear pattern, medium size 350 Ω	15	Ribbon Leads	ST	BTP-5			
	SGD-7/350-LY13	350								
	SGD-7/350-LY41	350								
	SGD-7/350-LY43	350								
 Shown actual size 11.8 mm	SGD-7/1000-LY11	1000	7.00 (0.276) 3.60 (0.142) 11.80 (0.465) 5.60 (0.220) Medium size, higher resistance, reduced heat generation 1000 Ω	27	Ribbon Leads	ST	BTP-5			
	SGD-7/1000-LY13	1000								
	SGD-7/1000-LY41	1000								
	SGD-7/1000-LY43	1000								
 Shown actual size 17.7 mm	SGD-10/120-LY11	120	10.00 (0.394) 4.90 (0.193) 17.70 (0.697) 8.00 (0.315) Linear pattern, Large size 120 Ω	14	Ribbon Leads	ST	BTP-5			
	SGD-10/120-LY13	120								
	SGD-10/120-LY41	120								
	SGD-10/120-LY43	120								



DISCOUNT SCHEDULE	
1 to 10 pkgs.	Net
11 to 24 pkgs.	5%
25 to 49 pkgs.	10%
50 and up and OEM ..	Consult Factory

* Maximum permitted bridge energizing voltage (Vrms).
 Note: For strain gage accessories visit us online.
 Ordering Example: SGD-6/120-LY13, 6.5 mm grid, 120 Ω nominal-resistance strain gage.

Custom-Designed Strain Gages Available!
 No Minimum Quantities. Consult Engineering.

NOTE
 ST = Steel
 AL = Aluminum

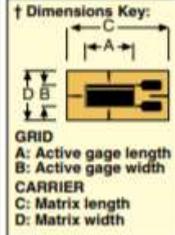
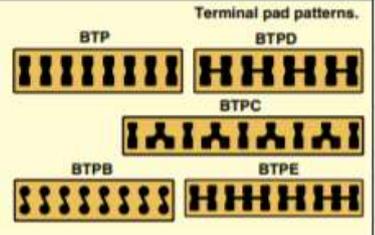
BONDABLE TERMINAL PADS

When installing strain gages with ribbon leads or solder pads, use Bondable Terminal Pads (BTP) between the strain gage and the wires to your instrumentation.

The Bondable Terminal Pads provide a large easy to use soldering area and provide strain relief between the strain gage and the heavy instrument wires.

Using Bondable Terminal Pads is simple. Use the same adhesive and bonding procedure on the Bondable Terminal Pads as you use on the strain gage.

OMEGA offers BTPs in several sizes and wiring configurations to fit most all strain gage applications.



STRAIN GAGES E

PRECISION STRAIN GAGE

PRECISION LINEAR PATTERN AND EXTRA LONG PATTERN

To Order



GAGE PATTERN Leads not shown	MODEL NO. Pkg of 10	NOM. RESIS- TANCE (Ω)	DIMENSIONS mm (inch) [†]				MAX V* (Vrms)	TERMINATION	TEMP COMP	TERM PAD
			GRID		CARRIER					
			A	B	C	D				
Shown actual size 17.7 mm 	SGD-10/350-LY11	350	10.00 (0.394)	4.90 (0.193)	17.70 (0.697)	8.00 (0.315)	22	Ribbon Leads	ST	BTP-5
	SGD-10/350-LY13	350	Linear pattern, large size 350 Ω				32	Ribbon Leads	AL	
	SGD-10/350-LY41	350					22	Solder Pads	ST	
	SGD-10/350-LY43	350					32	Solder Pads	AL	
Shown actual size 17.7 mm 	SGD-10/1000-LY11	1000	10.00 (0.394)	4.90 (0.193)	17.70 (0.697)	8.00 (0.315)	40	Ribbon Leads	ST	BTP-5
	SGD-10/1000-LY13	1000	Linear pattern, large size, higher resistance, reduced heat generation 1000 Ω				55	Ribbon Leads	AL	
	SGD-10/1000-LY41	1000					40	Solder Pads	ST	
	SGD-10/1000-LY43	1000					55	Solder Pads	AL	
Shown actual size 22.7 mm 	SGD-13/350-LY11	350	13.00 (0.511)	7.20 (0.283)	22.70 (0.893)	10.00 (0.393)	30	Ribbon Leads	ST	BTP-6
	SGD-13/350-LY13	350	Linear pattern, grid length long 350 Ω				40	Ribbon Leads	AL	
	SGD-13/350-LY41	350					30	Solder Pads	ST	
	SGD-13/350-LY43	350					40	Solder Pads	AL	
Shown actual size 22.7 mm 	SGD-13/1000-LY11	1000	13.00 (0.511)	7.20 (0.283)	22.70 (0.893)	10.00 (0.393)	55	Ribbon Leads	ST	BTP-6
	SGD-13/1000-LY13	1000	Linear pattern, grid length long, higher resistance, reduced heat generation 1000 Ω				75	Ribbon Leads	AL	
	SGD-13/1000-LY41	1000					55	Solder Pads	ST	
	SGD-13/1000-LY43	1000					75	Solder Pads	AL	

DISCOUNT SCHEDULE

1 to 10 pkgs.	Net
11 to 24 pkgs.5%
25 to 49 pkgs.	10%
50 and up and OEM . .	Consult Factory

[†] For dimensions key, visit us online.
 * Maximum permitted bridge energizing voltage (Vrms).
 Note: For strain gage accessories, visit us online.
 Ordering Example: SGD-13/350-LY13, 13 mm grid,
 350 Ω nominal-resistance strain gage.

NOTE
 ST = Steel
 AL = Aluminum

Extra-Long For Inhomogeneous Material

To Order

GAGE PATTERN Leads not shown	MODEL NO. Pkg of 5	NOM. RESIS- TANCE (Ω)	DIMENSIONS mm (inch) [†]				MAX V* (Vrms)	TERMINATION	TEMP COMP	TERM PAD
			GRID		CARRIER					
			A	B	C	D				
Shown smaller than actual size 50 mm 	SGD-30/120-LY40	120	25.00 (0.984)	8.00 (0.315)	40.00 (1.575)	12.00 (0.472)	12	Solder Pads	UNC	BTP-6
	SGD-30N/120-LY40	120	30.00 (1.181)	3.00 (0.118)	36.00 (1.417)	5.00 (0.197)	10	Solder Pads	UNC	
	SGD-30/350-LY40	350	30.00 (1.181)	3.00 (0.118)	36.00 (1.417)	5.00 (0.197)	14	Solder Pads	UNC	
	SGD-50/120-LY40	120	50.00 (1.969)	4.30 (0.169)	60.00 (2.362)	9.00 (0.354)	12	Solder Pads	UNC	
	SGD-150/240-LY40	240	150.00 (5.906)	5.00 (0.197)	165.00 (6.496)	9.00 (0.354)	35	Solder Pads	UNC	

[†] For dimensions key, visit us online.
 * Maximum permitted bridge energizing voltage (Vrms).
 Note: For strain gage accessories, visit us online.
 Ordering Example: SGD-30/120-LY40, 120 Ω nominal-resistance strain gage.

NOTE UNC = Uncompensated