



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

**“LECTURA DE DATOS DE ACELERACIÓN Y DEFORMACIÓN,  
MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL PÉNDULO DE IMPACTO  
DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GDP”**

**Trabajo de integración curricular**

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

**JONATHAN DAVID TADAY SIGÜENCIA**

**ADRIÁN PATRICIO PANCHI ROJAS**

Riobamba – Ecuador

2021



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

**“LECTURA DE DATOS DE ACELERACIÓN Y DEFORMACIÓN,  
MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL PÉNDULO DE IMPACTO  
DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GDP”**

**Trabajo de integración curricular**

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: JONATHAN DAVID TADAY SIGÜENCIA**  
**ADRIÁN PATRICIO PANCHI ROJAS**

**DIRECTOR: Ing. SANTIAGO ALEJANDRO LÓPEZ ORTIZ**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Jonathan David Taday Sigiencia, Adrián Patricio Panchi Rojas**

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, Jonathan David Taday Sigüencia y Adrián Patricio Panchi Rojas, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes 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, 20 de agosto del 2021.



**Jonathan David Taday Sigüencia**  
**180471194-1**



**Adrián Patricio Panchi Rojas**  
**050337284-9**

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

El tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de integración curricular: Tipo: proyecto técnico, **LECTURADE DATOS DE ACELERACIÓN Y DEFORMACIÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL PÉNDULO DE IMPACTO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GDP**, realizado por los señores: **JONATHAN DAVID TADAY SIGÜENCIA Y ADRIÁN PATRICIO PANCHI ROJAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del tribunal de trabajo de integración curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ  Firmado digitalmente por EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Fecha: 2021.11.29 20:50:52 -05'00'	2021-08-20
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 Firmado electrónicamente por: SANTIAGO ALEJANDRO LOPEZ ORTIZ	2021-08-20
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: PABLO ERNESTO MONTALVO JARAMILLO	2021-08-20

## **DEDICATORIA**

A mis primos Leonardo y Mateo; no desfallezcan y sepan que los sueños se cumplen de la mano de Dios, buenos amigos y de tener a la familia como motor. A mi hermano Javier, de quien espero algún día ser su motivación cuando atraviere una de las experiencias más enriquecedoras de la vida como es estudiar para ser un profesional. A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes a lo largo de la carrera me brindaron su apoyo y compartieron experiencias que quedarán siempre en mi memoria.

Jonathan David

El presente trabajo está dedicado en primer lugar, a DIOS por darme la vida. A mi padre por ser mi ejemplo a seguir y haberme guiado con sus consejos. A mis abuelos por todo su amor incondicional en cada etapa de mi vida, para ser una mejor persona cada día. A mi tío Raúl Rojas que me ayudó durante mi etapa de formación. A todos mis familiares que de una u otra forma me han ayudado durante mi formación, para mejorar no solo como profesional, sino también como ser humano. A mis amigos que durante mi periodo de formación me han enseñado el valor de una amistad sincera y desinteresada.

Adrián Patricio

## **AGRACEDIMIENTO**

A Dios, por estar presente todo el camino hasta este punto de mi vida; por brindarme sabiduría, perseverancia y permitirme sacar lo mejor de mí. A toda mi familia, por siempre creer en mi capacidad. A mis padres, por el esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional en toda circunstancia. A los ingenieros Santiago López y Pablo Montalvo, por la debida asesoría, sin la cual no hubiese sido posible el desarrollo de este trabajo de integración curricular. A Stalin T., a quien considero mi hermano de corazón; por sus consejos y motivación, ¡gracias!

Jonathan David

Quiero agradecer primero a DIOS por darme la oportunidad de cumplir esta meta académica; a MI FAMILIA por su apoyo durante este periodo de formación, por sus consejos y enseñanzas. También quiero agradecer a todos MIS DOCENTES que me brindaron sus conocimientos, al mismo tiempo que formaba mi carácter; al grupo de investigación GDP, por proveer los equipos implementados en este proyecto; a los ingenieros Santiago López y Pablo Montalvo, tutor y miembro respectivamente, por su ayuda, amistad y colaboración desinteresada para el desarrollo del mismo.

Adrián Patricio

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xviii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY .....	xx
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPITULO I

<b>1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
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 Justificación.....	3
1.5 Alcance.....	4
1.6 Objetivos.....	4
1.6.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.6.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	4

### CAPITULO II

<b>2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>5</b>
2.1 <b>Industria automotriz .....</b>	<b>5</b>
2.2 <b>Materiales en componentes automotrices.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 <i>Requerimientos</i> .....	5
2.2.2 <i>Propiedades Mecánicas</i> .....	6
2.2.2.1 <i>Tenacidad</i> .....	6
2.2.2.2 <i>Elasticidad</i> .....	6
2.2.2.3 <i>Límite elástico</i> .....	6
2.2.2.4 <i>Alargamiento de rotura</i> .....	7

2.2.2.5	<i>Plasticidad</i> .....	7
2.2.2.6	<i>Maleabilidad</i> .....	7
2.2.2.7	<i>Ductilidad</i> .....	7
2.2.2.8	<i>Fragilidad</i> .....	8
2.2.2.9	<i>Elasticidad</i> .....	8
<b>2.3</b>	<b>Absorción de la energía de impacto</b> .....	8
<b>2.4</b>	<b>Aceleración</b> .....	8
<b>2.4.1</b>	<b><i>Aceleración en ensayos de impacto</i></b> .....	8
<b>2.4.2</b>	<b><i>Aceleración en el Péndulo Simple</i></b> .....	9
<b>2.4.3</b>	<b><i>Formulas movimiento armónico simple</i></b> .....	10
<b>2.5</b>	<b>Curvas de aceleración</b> .....	11
<b>2.6</b>	<b>Deformación</b> .....	12
<b>2.6.1</b>	<b><i>Deformación Unitaria</i></b> .....	13
2.6.1.1	<i>Ley de Hooke</i> .....	13
2.6.1.2	<i>Módulo de elasticidad</i> .....	14
<b>2.7</b>	<b>Relación entre esfuerzo y deformación</b> .....	14
<b>2.7.1</b>	<b><i>Comportamiento elástico</i></b> .....	15
2.7.1.1	<i>Región elástica</i> .....	15
<b>2.7.2</b>	<b><i>Comportamiento plástico</i></b> .....	15
2.7.2.1	<i>Fluencia</i> .....	15
2.7.2.2	<i>Endurecimiento por deformación</i> .....	15
2.7.2.3	<i>Cuello o estricción</i> .....	15
<b>2.7.3</b>	<b><i>Deformación elástica</i></b> .....	16
<b>2.7.4</b>	<b><i>Deformación plástica</i></b> .....	16
2.7.4.1	<i>Deformación axial</i> .....	16
2.7.4.2	<i>Deformación por flexión</i> .....	16
<b>2.8</b>	<b>Esfuerzo</b> .....	17
<b>2.8.1</b>	<b><i>Esfuerzo normal</i></b> .....	17
<b>2.8.2</b>	<b><i>Esfuerzo de Flexión</i></b> .....	17
2.8.2.1	<i>Convección de signos</i> .....	18
2.8.2.2	<i>Flexión elástica</i> .....	18
2.8.2.3	<i>Flexión inelástica</i> .....	19
<b>2.8.3</b>	<b><i>Energía disipada</i></b> .....	22
<b>2.8.4</b>	<b><i>Relación elastoplástica esfuerzo-deformación</i></b> .....	22
<b>2.9</b>	<b>Investigaciones</b> .....	24
<b>2.10</b>	<b>Simulación de impactos</b> .....	25

<b>2.11</b>	<b>Acelerómetro</b> .....	25
<b>2.11.1</b>	<b>Clasificación</b> .....	25
2.11.1.1	<i>Microelectromecánicos (MEMS)</i> .....	26
2.11.1.2	<i>Piezoeléctricos</i> .....	26
2.11.1.3	<i>Piezoresistivos</i> .....	27
2.11.1.4	<i>Acelerómetros micromecánicos (MEMS)</i> .....	27
<b>2.11.2</b>	<b>Montaje del acelerómetro.</b> .....	27
2.11.2.1	<i>Tipos de montaje</i> .....	28
2.11.2.2	<i>Incidencia de la longitud de cable en la toma de datos</i> .....	29
<b>2.11.3</b>	<b>Phyphox para Smartphone.</b> .....	29
2.11.3.1	<i>Sensores</i> .....	29
2.11.3.2	<i>Sensores compatibles</i> .....	30
2.11.3.3	<i>El sistema de coordenadas</i> .....	31
2.11.3.4	<i>Exportación de datos</i> .....	31
<b>2.11.4</b>	<b>Variación de la aceleración con un péndulo mediante un Smartphone</b> .....	32
<b>2.12</b>	<b>Sensor de deformación</b> .....	32
<b>2.12.1</b>	<b>Galgas extensiométricas</b> .....	32
2.12.1.1	<i>Principio de funcionamiento</i> .....	32
2.12.1.2	<i>Factor de galga</i> .....	34
<b>2.12.2</b>	<b>Clasificación.</b> .....	35
<b>2.12.3</b>	<b>Partes de una galga extensiométrica</b> .....	36
<b>2.12.4</b>	<b>Características de las Galgas</b> .....	36
<b>2.12.5</b>	<b>Accesorios para las galgas extensiométricas</b> .....	37
2.12.5.1	<i>Preparación de la superficie</i> .....	38
2.12.5.2	<i>Pegado de la galga extensiométrica</i> .....	39
2.12.5.3	<i>Soldado</i> .....	40
2.12.5.4	<i>Protección</i> .....	41
<b>2.13</b>	<b>Puente de Wheatstone</b> .....	41
<b>2.13.1</b>	<b>Cuarto de Puente</b> .....	42
<b>2.13.2</b>	<b>Medio Puente</b> .....	43
<b>2.13.3</b>	<b>Puente Completo</b> .....	43
<b>2.14</b>	<b>Sistema de adquisición de datos</b> .....	43
<b>2.14.1</b>	<b>Descripción de los componentes de un sistema DAQ</b> .....	44
2.14.1.1	<i>Sensor</i> .....	44
2.14.1.2	<i>Transductor</i> .....	44
2.14.1.3	<i>Clasificación de los sensores</i> .....	45

<b>2.14.2</b>	<b>Dispositivo DAQ.....</b>	<b>46</b>
2.14.2.1	<i>Acondicionamiento de señal.....</i>	46
2.14.2.2	<i>Tarjeta de adquisición de datos.....</i>	47
2.14.2.3	<i>Convertidor analógico digital (ADC).....</i>	48
2.14.2.4	<i>Bus de conexión.....</i>	48
<b>2.14.3</b>	<b>Computador (PC).....</b>	<b>49</b>
2.14.3.1	<i>Software controlador.....</i>	49
2.14.3.2	<i>Software de aplicación.....</i>	49
<b>2.15</b>	<b>LabVIEW.....</b>	<b>49</b>
<b>2.15.1</b>	<b>Aplicaciones y ventajas.....</b>	<b>50</b>
<b>2.15.2</b>	<b>Interfaz.....</b>	<b>50</b>

### CAPITULO III

<b>3</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1</b>	<b>Enfoque.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2</b>	<b>Modalidad del trabajo de integración curricular.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Diseño.....</i></b>	<b>51</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Alcance.....</i></b>	<b>51</b>
<b>3.3</b>	<b>Descripción de los componentes utilizados.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Descripción de sensores.....</i></b>	<b>52</b>
3.3.1.1	<i>Sensor de deformación.....</i>	52
3.3.1.2	<i>Sensor de aceleración.....</i>	52
<b>3.3.2</b>	<b><i>Descripción del dispositivo DAQ.....</i></b>	<b>53</b>
3.3.2.1	<i>Chasis.....</i>	53
3.3.2.2	<i>Módulos.....</i>	54
<b>3.3.3</b>	<b><i>Descripción de los elementos de conexión.....</i></b>	<b>55</b>
3.3.3.1	<i>Accesorios de conexión NI 9944.....</i>	55
3.3.3.2	<i>Cable RJ50.....</i>	55
3.3.3.3	<i>Cable coaxial.....</i>	55
<b>3.3.4</b>	<b><i>Conexión de los módulos a los sensores.....</i></b>	<b>56</b>
<b>3.4</b>	<b>Software Labview.....</b>	<b>56</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Librerías/controladores.....</i></b>	<b>56</b>
<b>3.5</b>	<b>Programación.....</b>	<b>57</b>
<b>3.5.1</b>	<b><i>Descripción de entradas y salidas.....</i></b>	<b>57</b>
<b>3.5.2</b>	<b><i>Descripción del panel frontal.....</i></b>	<b>59</b>

<b>3.5.3</b>	<b><i>Descripción de diagrama de bloques</i></b> .....	60
3.5.3.1	<i>Inicialización de variables y constantes</i> .....	60
3.5.3.2	<i>Ingreso y selección de pruebas</i> .....	61
3.5.3.3	<i>Medición de aceleración y deformación</i> .....	62
<b>3.6</b>	<b>Configuración de la DAQ</b> .....	63
<b>3.7</b>	<b>Calibración de la lectura de datos</b> .....	66
<b>3.7.1</b>	<b><i>Sensores de aceleración</i></b> .....	66
3.7.1.1	<i>Ensayo Estático</i> .....	67
3.7.1.2	<i>Ensayo dinámico</i> .....	68
3.7.1.3	<i>Datos obtenidos con Phyphox</i> .....	73
3.7.1.4	<i>Comparación de datos entre Phyphox y Acelerómetro IMI-603C01</i> .....	75
<b>3.7.2</b>	<b><i>Sensores de deformación</i></b> .....	78
3.7.2.1	<i>Circuito divisor de resistencia</i> .....	78
<b>3.7.3</b>	<b><i>Instalación mecánica de la galga extensiométrica</i></b> .....	79
3.7.3.1	<i>Cálculo de la deformación unitaria teórica</i> .....	83
3.7.3.2	<i>Obtención de datos experimentales</i> .....	87
3.7.3.3	<i>Factor de corrección</i> .....	87
<b>3.8</b>	<b>Diseño y construcción de la probeta para ensayos de validación</b> .....	88
<b>3.9</b>	<b>Montaje de sensores y elementos de conexión</b> .....	91
<b>3.9.1</b>	<b><i>Diagrama de proceso de montaje</i></b> .....	91
<b>3.9.2</b>	<b><i>Proceso de montaje de los acelerómetros</i></b> .....	91
<b>3.9.3</b>	<b><i>Proceso de montaje de las galgas extensiométricas</i></b> .....	93
3.9.3.1	<i>Ubicación de las galgas</i> .....	93
3.9.3.2	<i>Lijado de la superficie</i> .....	94
3.9.3.3	<i>Limpieza de la superficie</i> .....	94
3.9.3.4	<i>Manipulación de las galgas</i> .....	95
3.9.3.5	<i>Trazado de líneas guías o de orientación</i> .....	95
3.9.3.6	<i>Ubicación y centrado</i> .....	96
3.9.3.7	<i>Aplicación de adhesivo</i> .....	96
3.9.3.8	<i>Precauciones para soldar</i> .....	97
3.9.3.9	<i>Aplicación de recubrimiento</i> .....	97
<b>3.9.4</b>	<b><i>Elementos de conexión</i></b> .....	98
3.9.4.1	<i>Caja de control</i> .....	98
3.9.4.2	<i>Cables</i> .....	98
3.9.4.3	<i>Esquema de circuito de conexión</i> .....	99
<b>3.10</b>	<b>Tiempo de desarrollo y montaje del sistema</b> .....	100

<b>3.11</b>	<b>Costos del proyecto</b> .....	101
<b>3.11.1</b>	<b>Costos Directos</b> .....	101
3.11.1.1	<i>Equipos y materiales</i> .....	101
3.11.1.2	<i>Mano de obra</i> .....	102
3.11.1.3	<i>Transporte</i> .....	103
3.11.1.4	<i>Costos varios</i> .....	103
<b>3.11.2</b>	<b>Costo indirecto</b> .....	103
<b>3.11.3</b>	<b>Costo total</b> .....	104

## CAPITULO IV

<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	105
<b>4.1</b>	<b>Aceleración</b> .....	105
<b>4.1.1</b>	<b>Parámetros de muestreo</b> .....	105
<b>4.1.2</b>	<b>Comparación entre datos teóricos y experimentales</b> .....	107
<b>4.1.3</b>	<b>Curvas representativas</b> .....	110
<b>4.2</b>	<b>Deformación</b> .....	111
<b>4.2.1</b>	<b>Lecturas obtenidas en el sistema de adquisición</b> .....	112
<b>4.2.2</b>	<b>Deformación unitaria de referencia</b> .....	114
<b>4.2.3</b>	<b>Cálculo del esfuerzo experimental</b> .....	115
<b>4.2.4</b>	<b>Cálculo del esfuerzo teórico</b> .....	116
4.2.4.1	<i>Fuerza de impacto</i> .....	116
4.2.4.2	<i>Cálculo de las reacciones y momento interno</i> .....	117
<b>4.2.5</b>	<b>Comparación entre esfuerzo experimental y teórico</b> .....	120
<b>4.2.6</b>	<b>Ensayo de simulación</b> .....	122
4.2.6.1	<i>Deformación unitaria</i> .....	124
4.2.6.2	<i>Esfuerzo</i> .....	124
<b>4.2.7</b>	<b>Datos teóricos y experimentales de deformación unitaria y esfuerzo</b> .....	125

	<b>CONCLUSIONES</b> .....	126
--	---------------------------	-----

	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	127
--	------------------------------	-----

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Límite elástico de algunos materiales. ....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Razón de Poisson de materiales comunes. ....	34
<b>Tabla 3-2:</b>	Factores de Galgas Comunes.....	35
<b>Tabla 4-2:</b>	Materiales de elemento sensible de la galga. ....	36
<b>Tabla 5-2:</b>	Materiales de matriz portadora de la galga. ....	37
<b>Tabla 6-2:</b>	Clasificación de los sensores según la magnitud a medir. ....	45
<b>Tabla 1-3:</b>	Versiones compatibles entre NI-DAQmx y LabVIEW.....	57
<b>Tabla 2-3:</b>	Entradas presentes en la pestaña de portada.....	58
<b>Tabla 3-3:</b>	Entradas y salidas presentes en la pestaña de prueba. ....	58
<b>Tabla 4-3:</b>	Comparación entre Phyphox y el sistema de adquisición. ....	77
<b>Tabla 5-3:</b>	Resultados del cálculo analítico. ....	87
<b>Tabla 6-3:</b>	Resultados obtenidos con el sistema de adquisición.....	87
<b>Tabla 7-3:</b>	Aplicación de la ecuación de calibración.....	88
<b>Tabla 1-4:</b>	Datos experimentales y teóricos de aceleración máxima. ....	107
<b>Tabla 2-4:</b>	Reprogramación - datos experimentales y teóricos de aceleración máxima. ....	109
<b>Tabla 3-4:</b>	Reprogramación - datos experimentales y teóricos del tiempo.....	109
<b>Tabla 4-4:</b>	Deformación unitaria identificado en los datos en Excel.....	114
<b>Tabla 5-4:</b>	Esfuerzo experimental .....	115
<b>Tabla 6-4:</b>	Valores teórico y experimental del esfuerzo. ....	120
<b>Tabla 7-4:</b>	Esfuerzo considerando pérdida de elevación. ....	121
<b>Tabla 8-4:</b>	Parámetros para la simulación en ANSYS.....	122
<b>Tabla 9-4:</b>	Datos arrojados por la simulación.....	123
<b>Tabla 10-4:</b>	Datos arrojados por la simulación. ....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Péndulo simple.....	9
<b>Figura 2-2:</b>	Componentes de la fuerza gravedad. ....	10
<b>Figura 3-2:</b>	Análisis geométrico del MAS.....	10
<b>Figura 4-2:</b>	Aceleración de la zona nodal de contacto.....	12
<b>Figura 5-2:</b>	Alargamiento de una probeta.....	12
<b>Figura 6-2:</b>	Ley de Hooke.....	14
<b>Figura 7-2:</b>	Diagrama esfuerzo deformación unitaria.....	14
<b>Figura 8-2:</b>	Deformación axial.....	16
<b>Figura 9-2:</b>	Deformación por flexión.....	16
<b>Figura 10-2:</b>	Esfuerzo normal, a) tensión, b) compresión.....	17
<b>Figura 11-2:</b>	Momento flector positivo.....	18
<b>Figura 12-2:</b>	Esfuerzo de flexión a) momento positivo, b) momento negativo.....	18
<b>Figura 13-2:</b>	Distribución de esfuerzo normal en la sección transversal.....	18
<b>Figura 14-2:</b>	Viga rectangular.....	19
<b>Figura 15-2:</b>	Distribución de la deformación.....	20
<b>Figura 16-2:</b>	Diagrama $\sigma$ vs $\epsilon$ región elastoplástica.....	21
<b>Figura 17-2:</b>	Distribución de esfuerzos.....	21
<b>Figura 18-2:</b>	Fuerzas actuantes del momento plástico.....	21
<b>Figura 19-2:</b>	Deformación permanente.....	22
<b>Figura 20-2:</b>	Fluencia de un material.....	22
<b>Figura 21-2:</b>	Idealización del comportamiento elastoplástico perfecto.....	23
<b>Figura 22-2:</b>	Idealización del comportamiento elastoplástico perfecto.....	24
<b>Figura 23-2:</b>	Simulación de un impacto frontal.....	25
<b>Figura 24-2:</b>	Tipos de montaje de un acelerómetro.....	28
<b>Figura 25-2:</b>	Uso de sensores.....	30
<b>Figura 26-2:</b>	Sistema de coordenadas.....	31
<b>Figura 27-2:</b>	Formatos de exportación.....	31
<b>Figura 28-2:</b>	Efecto piezorresistivo.....	33
<b>Figura 29-2:</b>	Clasificación de las galgas extensiométricas.....	35
<b>Figura 30-2:</b>	Partes de una galga extensiométrica.....	36
<b>Figura 31-2:</b>	Desengrasado con solvente.....	38
<b>Figura 32-2:</b>	Lijado de la superficie.....	38
<b>Figura 33-2:</b>	Acondicionamiento de la superficie.....	39

<b>Figura 34-2:</b>	Ubicación de la galga en cinta adhesiva y alineación. ....	39
<b>Figura 35-2:</b>	Posicionamiento para su pegado. ....	39
<b>Figura 36-2:</b>	Aplicación del adhesivo. ....	40
<b>Figura 37-2:</b>	Pegado de la galga.....	40
<b>Figura 38-2:</b>	Presión sobre la galga.....	40
<b>Figura 39-2:</b>	Soldado de la galga. ....	41
<b>Figura 40-2:</b>	Aplicación de recubrimiento. ....	41
<b>Figura 41-2:</b>	Puente de Wheatstone. ....	42
<b>Figura 42-2:</b>	Cuarto de puente a) Normal, b) De tres cables.....	43
<b>Figura 43-2:</b>	Medio puente: a) mejora sensibilidad, b) compensa la temperatura. ....	43
<b>Figura 44-2:</b>	Puente completo. ....	43
<b>Figura 45-2:</b>	Proceso de adquisición de datos.....	44
<b>Figura 46-2:</b>	Función de un transductor-sensor. ....	44
<b>Figura 47-2:</b>	Panel frontal y Diagrama de bloques. ....	50
<b>Figura 1-3:</b>	Galga extensiométrica.....	52
<b>Figura 2-3:</b>	Acelerómetro IMI 603C01.....	53
<b>Figura 3-3:</b>	Componentes del chasis DAQ-9172.....	53
<b>Figura 4-3:</b>	Módulo NI-9234. ....	54
<b>Figura 5-3:</b>	Módulo NI-9237. ....	55
<b>Figura 6-3:</b>	Accesorio NI 9944. ....	55
<b>Figura 7-3:</b>	Conexión 1/4 de puente Wheatstone - accesorio NI 994. ....	56
<b>Figura 9-3:</b>	Ventana de prueba – LabVIEW.....	60
<b>Figura 10-3:</b>	Inicialización de objetos.....	60
<b>Figura 11-3:</b>	Diagrama de bloques para el ingreso y selección de pruebas. ....	61
<b>Figura 12-3:</b>	Diagrama de bloques para ejecutar las mediciones.....	62
<b>Figura 13-3:</b>	Nombre de columnas. ....	63
<b>Figura 14-3:</b>	Adquisición de señales.....	63
<b>Figura 15-3:</b>	Selección - Canales de deformación.....	64
<b>Figura 16-3:</b>	Selección - Canales de aceleración. ....	64
<b>Figura 17-3:</b>	Parámetros DAQ – deformación.....	65
<b>Figura 18-3:</b>	Parámetros DAQ – aceleración.....	66
<b>Figura 19-3:</b>	Péndulo de impacto – Prototipo. ....	66
<b>Figura 20-3:</b>	Ubicación del acelerómetro en prototipo. ....	67
<b>Figura 21-3:</b>	Angulos maximos y minimo. ....	67
<b>Figura 22-3:</b>	Lectura de datos. ....	68
<b>Figura 23-3:</b>	Formatos de exportación de datos.....	74

<b>Figura 24-3:</b>	Formatos de exportación de datos.....	74
<b>Figura 25-3:</b>	Formatos de exportación de datos.....	74
<b>Figura 26-3:</b>	Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 16cm. ....	75
<b>Figura 27-3:</b>	Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 20cm. ....	76
<b>Figura 28-3:</b>	Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 30cm. ....	77
<b>Figura 29-3:</b>	Divisor de resistencia. ....	78
<b>Figura 30-3:</b>	Viga empotrada a flexión.....	80
<b>Figura 1-4:</b>	DCL - Amplitud de movimiento a 20 ° .....	105
<b>Figura 2-4:</b>	Objeto Sample.....	108
<b>Figura 3-4:</b>	Opciones de caracterización y factor de reducción.....	108
<b>Figura 4-4:</b>	Cabina del sistema .....	110
<b>Figura 5-4:</b>	LabVIEW - Deformación unitaria, ensayo 1. ....	112
<b>Figura 6-4:</b>	LabVIEW - Deformación unitaria, ensayo 2. ....	112
<b>Figura 8-4:</b>	Resultados en la interfaz de LabVIEW.....	115
<b>Figura 9-4:</b>	DCL - Fuerza de impacto.....	116
<b>Figura 10-4:</b>	Disposición de la probeta para su análisis. ....	117
<b>Figura 11-4:</b>	DCL de la probeta idealizada.....	117
<b>Figura 12-4:</b>	DCL – Reacciones.....	117
<b>Figura 13-4:</b>	DCL – Momento interno.....	118
<b>Figura 14-4:</b>	Sección del tubo cuadrado. ....	119
<b>Figura 15-4:</b>	Ubicación de la galga extensiométrica.....	119
<b>Figura 16-4:</b>	Modelo del péndulo - ANSYS .....	122
<b>Figura 17-4:</b>	Simulación - Deformación unitaria.....	124
<b>Figura 18-4:</b>	Simulación – Esfuerzo de Von Mises. ....	125

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 1_Altura: 20cm.....	68
<b>Gráfico 2-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 2_Altura: 20cm. ....	69
<b>Gráfico 3-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 3_Altura: 20cm.....	69
<b>Gráfico 4-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 1_Altura: 25cm.....	69
<b>Gráfico 5-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 2_Altura: 25cm.....	70
<b>Gráfico 6-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 3_Altura: 25cm.....	70
<b>Gráfico 7-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 1_Altura: 30cm.....	70
<b>Gráfico 8-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 2_Altura: 30cm.....	71
<b>Gráfico 9-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 3_Altura: 30cm.....	71
<b>Gráfico 10-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 1_Altura: 35cm.....	71
<b>Gráfico 11-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 2_Altura: 35cm.....	72
<b>Gráfico 12-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 3_Altura: 35cm.....	72
<b>Gráfico 13-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 1_Altura: 40cm.....	72
<b>Gráfico 14-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 2_Altura: 40cm.....	73
<b>Gráfico 15-3:</b>	Aceleración vs Tiempo – Prueba 3_Altura: 40cm.....	73
<b>Gráfico 16-3:</b>	Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 16cm.....	75
<b>Gráfico 17-3:</b>	Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 20cm.....	76
<b>Gráfico 18-3:</b>	Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 30cm.....	76
<b>Gráfico 19-3:</b>	Ecuación de calibración.....	88
<b>Gráfico 1-4:</b>	Aceleración vs Tiempo (Probeta sin rigidizar).....	110
<b>Gráfico 2-4:</b>	Aceleración vs Tiempo (Probeta rigidizada).....	111
<b>Gráfico 3-4:</b>	Excel - Deformación unitaria, ensayo 1. ....	112
<b>Gráfico 4-4:</b>	Excel - Deformación unitaria, ensayo 2. ....	113
<b>Gráfico 5-4:</b>	Excel - Deformación unitaria, ensayo 3. ....	113

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CHASIS NI DAQ 9172 – ESPECIFICACIONES
- ANEXO B-1:** MÓDULO NI 9234 – ESPECIFICACIONES
- ANEXO B-2:** MÓDULO NI 9237 – ESPECIFICACIONES
- ANEXO C:** MÓDULO NI 9944 – ESPECIFICACIONES
- ANEXO D:** ACELERÓMETRO PIEZOELÉCTRICO ICP
- ANEXO E:** PLATINAS DE ACERO A36
- ANEXO F:** HERRAMIENTA DE CÁLCULO – DEFORMACIÓN UNITARIA
- ANEXO G:** MATERIAL DE LA PROBETA DE ENSAYO
- ANEXO H:** RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN ANSYS
- ANEXO I:** MANUAL DE OPERACIÓN
- ANEXO J:** PLANO DE DETALLE DEL PÉNDULO DE IMPACTO
- ANEXO K:** PLANO DE DETALLE DEL PÉNDULO DE IMPACTO
- ANEXO L:** PLANO DE DETALLE DE LA GEOMETRÍA DE LA PROBETA
- ANEXO M:** PLANO DE DETALLE DEL DIAGRAMA DE CONEXIÓN
- ANEXO N:** PLANO DE DETALLE DE LA DISTRIBUCIÓN INT. DEL TABLERO

## RESUMEN

En el presente trabajo de integración curricular se implementó un sistema de adquisición en el péndulo de impacto del grupo de investigación GDP de la facultad de Mecánica, cuyo objetivo fue tomar datos de aceleración para obtener las curvas de fluctuación en función del tiempo y datos de deformación unitaria para hallar el esfuerzo en un punto específico debido al impacto sobre una probeta de acero ASTM A36 de sección cuadrada. Para su implementación se hizo uso de hardware y software de la marca *National Instruments* como son: chasis NI Compact DAQ 9172, módulos de E/S de la serie C: NI 9234, NI 9327 y NI 9944, para la aceleración, deformación y conexión de puente de Wheatstone, respectivamente; como sensores: galgas extensiométricas BF-350 y acelerómetro piezoeléctrico IMI 603C01; PC Windows conectada por USB donde se instaló LabVIEW versión 17.0 como entorno de desarrollo, cuya comunicación con el software DAQ se logró mediante el software controlador NI-DAQmx. La calibración de los sensores consistió en obtener una ecuación de calibración para los valores de deformación y un factor de corrección para los valores de aceleración. La validación del sistema, en el caso de la aceleración se efectuó varios ensayos afinando la curva obtenida, obteniéndose una configuración óptima para la adquisición con un número de muestras de 1000 y una frecuencia de muestreo de 14000 Hz. Para la deformación unitaria, se comparó los valores teóricos arrojados por una simulación realizada en ANSYS con valores experimentales obtenidos por el sistema de adquisición, dando como resultado un error promedio de 4,69%, concluyendo de esta forma que el sistema implementado es válido por el bajo error que representa sus lecturas. En trabajos posteriores, este sistema permitirá medir variables importantes en el estudio y mejoramiento de propiedades de absorción de energía en materiales utilizados en la industria.

**Palabras clave:** <SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS>, <ACELERACIÓN DE IMPACTO>, <DEFORMACIÓN POR IMPACTO>, <ACELERÓMETRO>, <GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS>, <ESFUERZO DE FLEXIÓN>.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

2081-DBRA-UPT-2021

2021-11-10

## SUMMARY

In this curricular integration work, an acquisition system was implemented in the crash pendulum of GDP research group of Mechanic's Faculty whose objective was to take acceleration data to obtain the fluctuation curves as a function of time and strain data to find the stress at a specific point due to the crash on a square section ASTM A36 steel specimen. For its implementation, National Instruments hardware and software were used, such as: NI Compact DAQ 9172 chassis, C series I/O modules: NI 9234, NI 9327 and NI 9944, for acceleration, strain and Wheatstone bridge connection, respectively; as sensors: BF-350 strain gauges and the IMI 603C01 piezoelectric accelerometer; Windows PC connected by USB with the 17.0 LabVIEW version as development environment, whose connection with DAQ software was achieved by using the NI-DAQmx driver software. The sensors calibration consisted in get a calibration equation for the strain values and a correction factor for the acceleration values. The system validation, in the acceleration case, several tests were carried out to refine the resultant curve, getting an optimal configuration for the acquisition with 1000 samples for number of samples and 14000 Hz for sampling frequency. For strain, the theoretical values obtained from a simulation performed in ANSYS were compared with experimental values obtained by the acquisition system, resulting in an average error of 4.69%, thus concluding that the implemented system is valid due to the low error represented by its measurements. In subsequent works, this system will allow measuring important variables in the study and improvement of energy absorption properties in materials used in the industry.

**Keywords:** <DATA ACQUISITION SYSTEM>, <IMPACT ACCELERATION>, < IMPACT STRAIN>, <ACCELEROMETER>, <STRAIN GAUGES >, <BENDING STRESS>.

LUIS  
FRANCISCO  
MANTILLA  
CABRERA



Firmado  
digitalmente por  
LUIS FRANCISCO  
MANTILLA CABRERA  
Fecha: 2021.12.10  
21:04:05 -05'00'

## **INTRODUCCIÓN**

El desempeño de la estructura de un vehículo ya sea liviano o pesado, se ve reflejado en su diseño, los materiales usados para su ensamble y una vez en circulación, de su mantenimiento. Por lo tanto, con el fin de asegurar la integridad de los ocupantes, la industria Automotriz busca incesantemente adquirir y aplicar nuevas tecnologías que se enfoquen en precautelar su seguridad, en efecto cada país maneja sus propios reglamentos o se basa en normativas internacionales que dictan los lineamientos para el análisis del comportamiento de los materiales usados ante distintos posibles escenarios de impacto.

Conocer el comportamiento de los materiales sometidos a impactos que están involucrados en la fabricación de componentes dentro de la industria automotriz así como otras industrias, representa un factor de sumo interés, por lo que el uso de materiales que posean una gran capacidad de absorción de energía por deformación entre otras propiedades, puede ser una salida viable para el diseño de este tipo de componentes. Es por esto, que estudiantes de Ingeniería Mecánica con la guía del grupo de investigación GDP de la facultad de Mecánica, han diseñado y construido un péndulo de impacto, basándose en la norma ECE-R29, cuyos ensayos están enfocados a garantizar la integridad del conductor asegurando el espacio dentro de la cabina de un vehículo pesado, ya sea camión o bus, bajo un impacto frontal.

El objetivo de este trabajo de integración curricular es la implementación de un sistema de adquisición de datos en dicho péndulo, cuya lectura y visualización de datos de aceleración y deformación, se logra por medio de hardware de National Instruments y del software LabVIEW. Para la implementación del sistema se requiere de una revisión bibliográfica de los fundamentos y parámetros a considerar para su montaje, así como la validación de los datos obtenidos los cuales permitirán generar la gráfica de los picos de aceleración generada por el impacto y el esfuerzo que se evidencia como deformación en un punto específico sobre el material ensayado, facilitando de esta forma la evaluación de su comportamiento.

El enfoque de los ensayos que se realicen en un futuro, estarán centrados en el estudio de las propiedades de absorción de energía en materiales convencionales como tubos estructurales, espumas metálicas u otros materiales alternativos, que cumplan los requerimientos ante impactos y que además sean amigables con el ambiente.

## CAPITULO I

### 1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

Actualmente, a nivel mundial se busca promover investigaciones de sistemas que posean gran capacidad de absorción de energía en situaciones de choque o colisión. En la industria Automotriz, al considerar que la meta en este sector es ofrecer mayor seguridad a los ocupantes de un vehículo, el desafío para los ingenieros es buscar una estructura liviana y resistente que garantice un mejor desempeño al momento de darse una situación de impacto. En este sentido, conocer el comportamiento mecánico de los componentes estructurales del automóvil, durante este escenario, representa un factor de sumo interés.

En octubre del 2002 se aprobó la norma de regulación ECE-R29, la cual analiza la resistencia de las estructuras vehiculares de vehículos pesados frente a impactos frontales, tanto para carrocerías de buses como para camiones; el objetivo principal de esta norma es asegurar que las cabinas y carrocerías dispongan de un espacio de supervivencia, el mismo que reducirá las lesiones que se producen a los ocupantes del transporte durante algún impacto. (Mirzaamiri, Esfahanian & Ziaei-Rad, 2012)

La norma de regulación y construcción de carrocerías en nuestro país es la NTE INEN 1323:2009, la cual establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses, ya sea importados o de construcción nacional. (INEN, 2009) Dicha norma no brinda lineamientos a considerar para impactos por lo que se recurre al análisis de estos escenarios mediante simulaciones en software de elementos finitos, pero únicamente las grandes empresas constructoras que poseen departamentos de diseño y simulación son en donde se evalúa el comportamiento de los materiales en los nuevos modelos de carrocerías a nivel nacional. (Santos, 2018)

El grupo de investigación en diseño y producción GDP, tiene como misión desarrollar proyectos innovadores que permitan resolver problemas técnicos, sociales y educativos a través del trabajo en conjunto de sus integrantes (IDI, 2020); por lo que plantea la implementación de un sistema de adquisición en el péndulo para ensayos de impacto, que fue diseñado en base a la norma ECE-R29, abriendo de esta forma, la posibilidad de analizar el comportamiento de materiales que están involucrados en la fabricación de componentes no solo del sector automotriz sino de sectores que requiera la caracterización de materiales.

## **1.2 Delimitación**

### **1.2.1 *Delimitación espacial***

El trabajo de integración curricular tipo proyecto técnico, se desarrolla para el grupo de investigación en diseño y producción GDP de la facultad de Mecánica, carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la ciudad de Riobamba capital de la provincia de Chimborazo.

### **1.2.2 *Delimitación sectorial***

En base al Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021, se determina que el trabajo de integración curricular tipo proyecto técnico está acorde al eje 2, concerniente a la economía al servicio de la sociedad; al mejorar la formación de los futuros profesionales, en concordancia con los planes gubernamentales de diversificar la matriz productiva, aportarían con el crecimiento económico del sector productivo del país.

## **1.3 Formulación del problema**

El problema principal, surge debido a que el péndulo de ensayos de impacto del grupo de investigación GDP de la facultad de Mecánica, carece de un sistema de adquisición de datos que permitan analizar variables que son pertinentes estudiar en ensayos de impacto, por lo que en base a esta necesidad se pretende implementar un sistema de adquisición de datos que sea capaz de tomar lecturas de aceleración y deformación unitaria. De esta forma, se busca brindar una herramienta con la que se puede realizar un estudio más profundo sobre las propiedades de los materiales sometidos a impactos utilizados en la industria Automotriz, entre otras.

## **1.4 Justificación**

La implementación del sistema de adquisición de datos en el péndulo de impacto del grupo GDP de la facultad de Mecánica, se realiza con la finalidad de obtener la lectura de valores de aceleración y deformación debido al impacto, cuyos datos permitirán determinar el esfuerzo debido a la deformación en un punto específico del componente ensayado, así como la gráfica de la aceleración en función del tiempo para que en trabajos futuros se pueda estudiar la relación de estas curvas con el peligro que representa a la integridad del cuerpo humano.

Para la implementación de dicho sistema, se lleva a cabo una revisión bibliográfica en donde se determina el procedimiento de montaje y el desarrollo de su interfaz haciendo uso del software

LabVIEW, junto con la ejecución de ensayos para la calibración de sus componentes y de cálculos analíticos junto con una simulación para la validación de sus lecturas.

Al agregar parámetros de medición al péndulo de impacto del grupo GDP de la facultad de Mecánica, se sienta las bases para el análisis de impacto en materiales y componentes de esta industria, permitiendo en un futuro realizar ensayos de impacto en componentes de este tipo cumpliendo así normativas internacionales.

## **1.5 Alcance**

El proyecto plantea la implementación de un sistema de adquisición de datos capaz de tomar lecturas de aceleración y deformación, así como el diseño de su interfaz para el manejo y visualización de los datos por medio del software LabVIEW. Los datos obtenidos permitirán generar las gráficas de aceleración y deformación generadas por el impacto sobre el material ensayado, las cuales facilitarán la evaluación del comportamiento del material según las atenuaciones que las curvas presenten. En trabajos posteriores, estos ensayos estarán enfocados al estudio y mejoramiento de las propiedades de absorción de energía en materiales utilizados en la industria automotriz, como es el caso de materiales convencionales como tubos estructurales de acero A500, espumas metálicas de aluminio o de materiales alternativos y amigables con el ambiente como las fibras o materiales compuestos.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 *Objetivo general***

Obtener la lectura de datos de aceleración y deformación unitaria, mediante la implementación de un sistema de adquisición de datos en el péndulo de impacto del grupo de investigación GDP de la facultad de Mecánica.

### **1.6.2 *Objetivos Específicos***

- Dar a conocer el procedimiento para implementar el sistema de adquisición de datos en el péndulo de impacto del grupo de investigación GDP.
- Graficar las curvas de aceleración, las cuales en trabajos futuros, permitan analizar su relación con las lesiones que pueda ocasionar un evento de impacto al ser humano.
- Obtener lecturas de deformación unitaria en puntos específicos, que permitan encontrar el esfuerzo al que se somete una probeta producto de un evento de impacto.
- Validar los datos obtenidos con el sistema de adquisición, mediante la comparación de valores teóricos con el fin de tener certeza de los resultados.

## CAPITULO II

### 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Industria automotriz

La industria Automotriz, continuamente se halla regulado por entidades que controlan sus operaciones, con el objetivo de que cumplan las regulaciones sobre seguridad, medio ambiente, procedimientos de aprobación e impuestos. (Acebo y Nuñez 2017) Durante las últimas décadas, la industria automotriz ha venido presentando una reestructuración constante, convirtiéndose de esta forma en una de las industrias más dinámicas de la era moderna. (Suárez 2010)

Dada la importancia de un transporte a la hora de facilitar la movilidad de un individuo o grupo de individuos, surge la necesidad de optar por nuevas tecnologías y herramientas que en concordancia con normativas, según la región, se valore el cumplimiento de las exigencias y requerimientos mínimos con un buen diseño y selección de material de sus componentes para poder ofrecerlo al mercado.

#### 2.2 Materiales en componentes automotrices

##### 2.2.1 *Requerimientos*

Si bien la parte estética es una de las condiciones que más destaca, se debe considerar también factores que tengan como prioridad la seguridad de los ocupantes; entre estos tenemos, la ligereza, la calidad de los materiales, de lo cual dependerá la supervivencia o no del ocupante que se encuentre en la parte de mayor exposición durante el impacto y finalmente se considera tener un consumo menor de gasolina el mismo que se puede lograr gracias a la ligereza de los materiales. (Del Castillo y Herrera 2016)

En el caso de accidentes de vehículos, aviones o trenes, los materiales de la estructura que protege a los pasajeros deben soportar el golpe sin sufrir una deformación excesiva que comprometa la seguridad de los pasajeros, es decir, debe existir una zona lo suficientemente rígida que asegure la integridad estructural del vehículo. Al mismo tiempo, otros componentes estructurales deben disipar la energía cinética del vehículo mientras mantienen una deceleración por debajo del límite tolerable, deformándose de forma controlada para que la deceleración sea lo más segura posible para los ocupantes. (Elvira 2015)

La mayoría de las estructuras de absorción de energía están fabricadas de materiales dúctiles, es decir, materiales capaces de deformarse de manera sostenible sin romperse. Aceros de bajo contenido en carbono o aleaciones de aluminio son los materiales más comúnmente utilizados. Mientras que en los casos en los que se busca la reducción del peso se utilizan materiales no metálicos, como plásticos de fibra de vidrio reforzados o espuma de polímero. (Elvira 2015)

Las carrocerías por lo general están fabricadas de acero, aleado con diferentes materiales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, pero, debido a su alta densidad el acero es considerado un material con una función estructural muy pesada, no obstante al considerar sus características mecánicas sigue siendo el material más usado en la industria automotriz. (Del Castillo y Herrera 2016)

## **2.2.2 Propiedades Mecánicas**

Las propiedades mecánicas son una condición muy importante a la hora de seleccionar los materiales, debido a que según la resistencia que presente a fuerzas externas, se definirá el uso que se le dé al mismo. Con base a las propiedades mecánicas de los materiales se puede conocer la capacidad que tiene para resistir a las fuerzas que actúan momentáneamente después de una colisión. Para ello a continuación se explica algunas de las propiedades mecánicas más esenciales. (Del Castillo y Herrera 2016)

### **2.2.2.1 Tenacidad**

Es una propiedad la cual nos define la capacidad del material a resistir a esfuerzos de fractura o deformación, en otras palabras su capacidad para absorber energía hasta su límite antes de la fractura. (Del Castillo y Herrera 2016)

### **2.2.2.2 Elasticidad**

Esta propiedad estipula que si un material deformado inicialmente por la aplicación de una fuerza, este vuelva a su forma original una vez que se deje de aplicar la carga. En la propiedad de la elasticidad existen otras propiedades que se derivan de la misma. (Del Castillo y Herrera 2016)

### **2.2.2.3 Límite elástico**

Es el esfuerzo máximo que puede soportar el material antes de salir de la zona elástica, en donde el material no presenta deformaciones permanentes, para lo cual presentamos. En la Tabla 1-2 algunos valores de los límites elásticos de varios materiales. (Del Castillo y Herrera 2016)

**Tabla 1-2:** Límite elástico de algunos materiales.

Material	Aleaciones de aluminio	Hierro	Acero 0.15% C	Acero 0.25 % C	Acero 0.45 % C	Acero inox. de muelles
Límite elástico	De 0.15 a 0.30 GPa	0.2 GPa	0.28 GPa	0.3 GPa	0.4 GPa	De 1.5 a 2 GPa

**Fuente:** Del Castillo & Herrera, 2016.

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

#### 2.2.2.4 Alargamiento de rotura

El alargamiento máximo sin rotura, es el incremento de longitud que el material ha tenido, que se le dé por la acción de tracción del material. Se expresa en porcentajes sobre la longitud inicial del material. (Del Castillo y Herrera 2016)

#### 2.2.2.5 Plasticidad

Esta propiedad se presenta cuando el esfuerzo es muy elevado, lo cual lleva al material a su zona plástica en donde la deformación producida por una fuerza aplicada ocasiona una deformación permanente, en otras palabras es la capacidad del material para deformarse, cuando actúa sobre este una fuerza externa la cual ocasiona una deformación que una vez que se deja de aplicar esta carga la deformación se mantiene. (Del Castillo y Herrera 2016)

#### 2.2.2.6 Maleabilidad

Esta propiedad lo poseen una cantidad limitada de materiales, los mismos que mediante la acción de una fuerza externa se puede deformar al material sin ocasionar fracturas en el mismo, obteniendo como resultado laminas, las cuales pueden ser consideradas como el resultado de un proceso en frío o caliente. (Del Castillo y Herrera 2016)

#### 2.2.2.7 Ductilidad

Mediante la acción de fuerzas externas de tracción, esta propiedad permite estirar el material sin llegar a romperse. Los materiales que poseen esta propiedad se los denomina dúctiles, y los materiales no dúctiles se los considera como frágiles, aunque los materiales dúctiles también lleguen a romperse bajo la acción de grandes esfuerzos o deformaciones. (Del Castillo y Herrera 2016)

#### 2.2.2.8 *Fragilidad*

Es la propiedad de romperse o no fácilmente bajo la acción de un choque. Un material frágil es aquel que se rompe después de aplicar una fuerza y rebasar el límite elástico sin presentar ningún tipo de deformación plástica. (Del Castillo y Herrera 2016)

#### 2.2.2.9 *Elasticidad*

Se lo conoce también como deformación elástica reversible, en el cual posee varios parámetros para su entendimiento, como son el esfuerzo a tracción y cortante.

### **2.3 Absorción de la energía de impacto**

La absorción de energía puede disiparse por medio del vuelco del vehículo, pérdidas de deslizamiento debido a las ruedas o por el impacto con estructuras de protección presentes a los laterales de las vías. Pero el mecanismo más eficiente, es la absorción de energía que se da en la propia estructura del vehículo debido a su deformación controlada. Esta absorción de energía debe llevarse a cabo siempre y cuando se asegure la integridad de la cabina en donde estarán los ocupantes, es decir, que no exista deformación y en caso de presentarse una deformación, que no sea excesiva.

En general, un vehículo diseñado para soportar un choque debe integrar estructuras capaces de manejar la energía durante el impacto de forma segura y controlada. En los primeros estudios sobre impactos, la experimentación y los resultados recomendados para alcanzar en estos experimentos eran quizás las más importantes y fiables herramientas para los departamento encargados del diseño. (Elvira, 2015)

### **2.4 Aceleración**

La mecánica clásica entiende la aceleración como una variación de la velocidad de un cuerpo en el tiempo. Matemáticamente esto se escribe como la diferencial de la velocidad sobre la diferencial del tiempo. Haciendo uso de las leyes fundamentales de la mecánica, basándose en la segunda ley de Newton, se puede considerar que las fuerzas producen aceleraciones proporcionales, cuya masa se considera constante. (concepto.de 2019)

#### **2.4.1 *Aceleración en ensayos de impacto***

La importancia del análisis de la aceleración, es que al presentarse de forma brusca generará grandes esfuerzos, los cuales tenderán a destruir gran parte a la estructura del componente impactado, pero sobre todo también puede ser motivo de dañar la integridad del cuerpo humano,

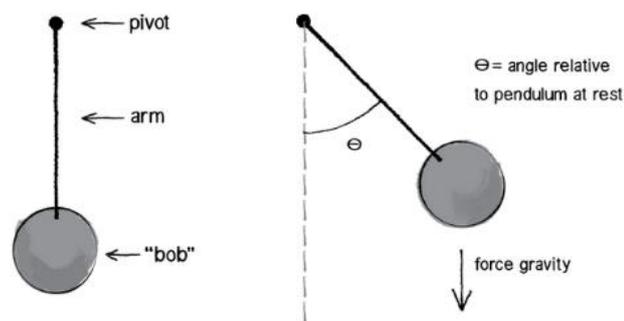
ya que este, ante grandes impactos, se vería afectada su integridad. Los ensayos de impacto pueden permitir conocer la magnitud de aceleración a la que los ocupantes estarían sometidos ante el impacto y por lo tanto se diseñaría la estructura adecuada para evitar no solo la deformación excesiva de un componente, sino también evitar causar daño a los ocupantes, los cuales, dependiendo del tipo de colisión, sufrirán distintos tipos de lesiones. (Elvira 2015)

Según el Reglamento ECE 29, para un ensayo de impacto frontal es necesario que un objeto impacte al vehículo, dicha función es encomendada a un péndulo mismo que al analizar su funcionamiento se plantea que el movimiento desde el ángulo de elevación donde permanece estático hasta que alcanza el punto más bajo se maneja como un movimiento armónico simple, además que para los vehículos con una masa bruta de 7500 kg o más, la energía de impacto producida por el péndulo debe ser de 55 kJ. Es necesario que no exista contacto entre la estructura y el conductor para asegurar que la estructura está cumpliendo con el requisito de la normativa.

#### 2.4.2 Aceleración en el Péndulo Simple

El péndulo simple, es un ente matemático sin representación física posible. No obstante, una aproximación aceptable consiste en una masa suspendida de un hilo inextensible y peso despreciable. Cuando la masa se deja en libertad desde cierto ángulo inicial respecto a la vertical, comienza a oscilar a un lado y otro periódicamente. Cuando el ángulo de desviación máximo respecto de la vertical es pequeño, el péndulo oscila con movimiento armónico simple alrededor del punto de equilibrio. En esta situación el periodo resulta ser independiente del ángulo inicial, es decir, el ángulo donde se libera el péndulo, depende únicamente de la longitud del péndulo y de la aceleración de la gravedad. Debido a la relación entre el periodo  $T$  y la aceleración de la gravedad  $g$ , el péndulo simple es un dispositivo preciso y adecuado para medir la aceleración de la gravedad, puesto que la longitud y el período pueden medirse fácilmente (Pérez & Enrique, 2015).

Si consideramos un péndulo de masa suspendida de un pivote:

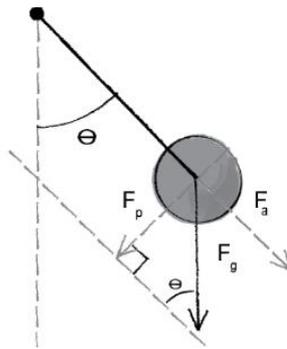


**Figura 1-2:** Péndulo simple.  
Realizado por: Khan Academy

Para el análisis de fuerzas, se considera que la fuerza de gravedad presentada en la Figura 1-2, puede ser analizada por la ecuación:

$$F = m \cdot a \quad (1-2)$$

En este caso, la masa oscila hacia su posición de reposo y por ello se calculará la aceleración durante la oscilación. Esta aceleración se la considera como una aceleración angular dado que esta aceleración se ve afectada a lo largo de un arco.

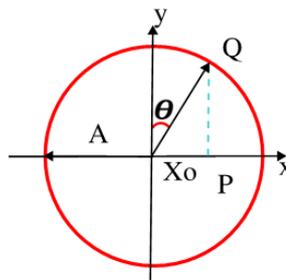


**Figura 2-2:** Componentes de la fuerza gravedad.  
Realizado por: Khan Academy

Para obtener la aceleración angular del péndulo, ésta se descompone en sus componentes rectangulares, en donde una ellas se encuentran a lo largo del eje radial del péndulo, esta componente es ignorada debido a que el brazo siempre está jalando contra ella, anulándola. Por otro lado, la componente perpendicular al eje radial, es la que afecta directamente debido a que se encuentra en la misma dirección de forma lateral haciendo oscilar al péndulo.

### 2.4.3 Formulas movimiento armónico simple

Según la física vectorial II de vallejo Zambrano



**Figura 3-2:** Análisis geométrico del MAS.  
Fuente: Khan Academy

$$\text{sen}\phi = \frac{x_0}{A} \quad (2-2)$$

El Período (T): Representa el tiempo que utiliza la partícula en una oscilación completa (ciclo) y está definida por la ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (3-2)$$

Donde:

L: Es la longitud del péndulo de oscilación

g: Constante gravitacional

La velocidad angular viene dada por la ecuación:

$$w = \frac{2 * \pi}{T} \quad (4-2)$$

Donde:

T: Es el período de oscilación

W: velocidad angular

La aceleración máxima se define mediante la formula

$$a_{max} = A * w^2 \quad (5-2)$$

Donde:

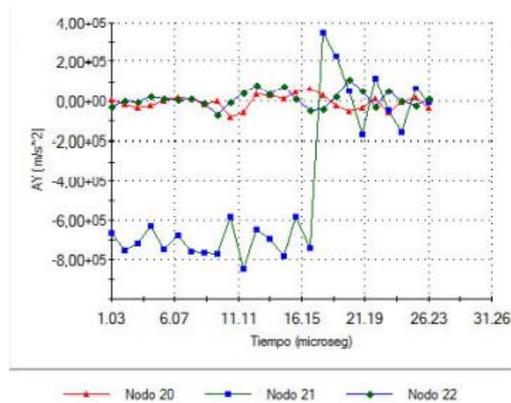
A: Amplitud

w: velocidad angular

## 2.5 Curvas de aceleración

Estas graficas proporcionan una estimación de la energía que una estructurase necesita disipar en la estructura. Usando la segunda ley de newton, se puede definir la fuerza de impacto al multiplicar la masa del objeto por la aceleración en un instante específico, mismo que se encuentre en el intervalo de duración de dicho impacto.(Ortega y Pazmiño 2017)

$$F = m \cdot \frac{v_o}{\Delta t} \quad (6-2)$$



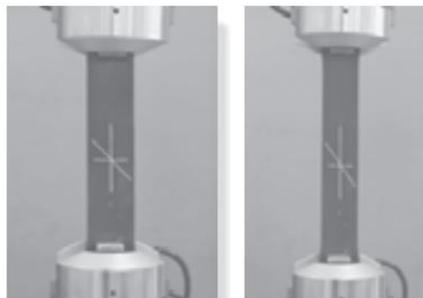
**Figura 4-2:** Aceleración de la zona nodal de contacto.  
**Fuente:** Nelson Ortega, Mario Pazmiño

Con la obtención de las curvas de aceleración vs tiempo se da la posibilidad a futuro que mediante estas graficas se puede analizar la correlación entre el área bajo la curva y el tiempo de duración con el daño proporcional ocasionado al o a los ocupantes durante una colisión, así también la duración de la curva y los valores máximos de aceleración presentados, son valores determinantes que pueden corroborar el daño ocasionado al ocupante, además de la influencia del material en el parachoques mismo que en función del límite elástico puede evitar lesiones en los ocupantes de manera más eficaz

## 2.6 Deformación

Dentro de la mecánica de los materiales, los conceptos de esfuerzo y deformación unitaria son de suma importancia.

La deformación de todos los sólidos, es la consecuencia de procesos mecánicos producida a partir de fuerzas externas o internas que afectan a las características mecánicas del material, modificando sus dimensiones, su forma o ambas simultáneamente. La variación de las dimensiones lineales del sólido se denomina deformación lineal, la variación de los ángulos, deformación angular. Cuando las dimensiones aumentan se trata de un alargamiento, cuando disminuyen, acortamiento. (STIOPIN)



**Figura 5-2:** Alargamiento de una probeta.  
**Fuente:** Hibbeler, 2011.

### 2.6.1 Deformación Unitaria

La deformación unitaria se define como la relación que existe entre la deformación total y la longitud inicial del elemento deformado. Se lo representa con la letra griega épsilon ( $\varepsilon$ ) y su expresión es:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (7-2)$$

Donde:

$\delta$ : Deformación total [mm]

$L$ : Longitud inicial [mm]

$\varepsilon$ : Deformación por unidad de longitud [mm/mm]

#### 2.6.1.1 Ley de Hooke

La ley de Hooke establece la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación unitaria y se lo expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (8-2)$$

Al desglosar la ley de Hooke, se observa que se puede determinar la deformación total de un objeto en función de la tensión a la que se somete. De igual manera, de forma inversa, se puede obtener directamente la tensión aplicada con solo medir la deformación total.

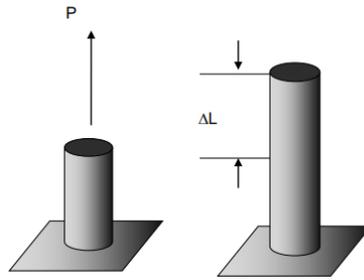
$$\begin{aligned} \frac{P}{A} &= E \cdot \frac{\delta}{L} \\ \delta &= \frac{P \cdot L}{E \cdot A} \end{aligned} \quad (9-2)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo normal [ $N/m^2$ ]

$E$ : Módulo de elasticidad [ $N/m^2$ ]

$\varepsilon$ : Deformación unitaria



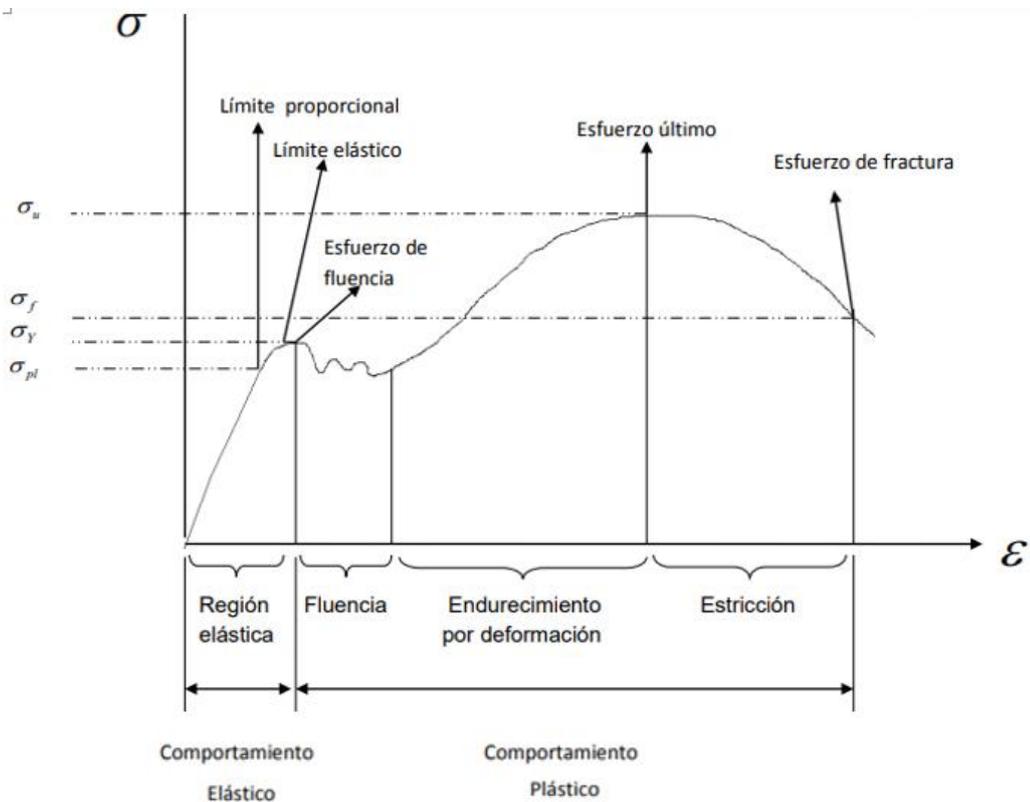
**Figura 6-2:** Ley de Hooke.  
Fuente: Hibbeler, 2011.

### 2.6.1.2 Módulo de elasticidad

También llamado módulo de Young, su magnitud representa la pendiente de la recta que refleja el comportamiento lineal de la deformación de un elemento, es decir es una medida de rigidez del material que se halla en su rango elástico y cuyas unidades son de esfuerzo.

## 2.7 Relación entre esfuerzo y deformación

La relación que existe entre el esfuerzo y la deformación se evidencia en las curvas del diagrama que relaciona estas dos variables como se observa a continuación.



**Figura 7-2:** Diagrama esfuerzo deformación unitaria.  
Realizado por: (San Martín 2013)

## **2.7.1 Comportamiento elástico**

### **2.7.1.1 Región elástica**

En esta zona el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, este comportamiento lineal se presenta hasta cierto punto llamado límite proporcional ( $\sigma_{pl}$ ), sin embargo, el material puede superar este límite y presentar aun un comportamiento elástico solo que la curva tiende a aplanarse hasta llegar a un límite elástico.

## **2.7.2 Comportamiento plástico**

### **2.7.2.1 Fluencia**

Una vez que se sobrepase el límite elástico, se produce la fluencia del material con lo que las propiedades del material cambiarán de forma permanente. El esfuerzo que da inicio a la fluencia del material se denomina esfuerzo de fluencia ( $\sigma_Y$ ), y dicho punto da inicio a la deformación plástica del material. Según el material, una vez que se llega a este punto la capacidad para soportar carga disminuye por lo que el material seguirá deformándose sin necesidad de aplicar una carga. Es cuando se dice que el material presenta un estado perfectamente plástico.

### **2.7.2.2 Endurecimiento por deformación**

Una vez terminada la fluencia del material, si se aplica más carga, la curva se elevará hasta llegar a un esfuerzo máximo conocido como esfuerzo último ( $\sigma_u$ ). Dicha elevación refleja el endurecimiento del material debido a la deformación, presentando una disminución de área de la sección uniforme a lo largo de su longitud.

### **2.7.2.3 Cuello o estricción**

Al sobrepasar el esfuerzo último, la sección comienza a disminuir en una zona específica del material más no a lo largo de toda su longitud. Como consecuencia se forma lo que se denomina cuello o estricción a medida que el material se vaya deformando más aún. En esta zona se observa que la curva decrece y esto se debe a que el estrechamiento de la sección soporta cada vez menos carga hasta ocasionar la fractura del material, originándose un esfuerzo de fractura ( $\sigma_f$ )

### 2.7.3 *Deformación elástica*

Se dice que se da una deformación elástica cuando la deformación es directamente proporcional a la fuerza aplicada. Dicha deformación no será permanente por lo que también se conoce a este tipo de deformación como deformación reversible.

### 2.7.4 *Deformación plástica*

En este tipo de deformación, el material presentará una modificación en su estructura, por lo que no volverá a su forma original. Un cuerpo sometido a esta deformación sufrirá una deformación irreversible y permanente. Dentro de las deformaciones plásticas se presentan dos:

#### 2.7.4.1 *Deformación axial*

Caracterizada por un modo de deformación de la estructura que se asemeja a un acordeón, donde los pliegues pueden darse de forma regular o irregular. (Elvira 2015)



**Figura 8-2:** Deformación axial.  
Fuente: (Elvira 2015)

#### 2.7.4.2 *Deformación por flexión*

En la cual se produce una pequeña intrusión en el componente, donde la fuerza está aplicada, y se dobla de forma plástica como si de una bisagra se tratase. Esta deformación se produce en donde se da un impacto. (Elvira 2015)



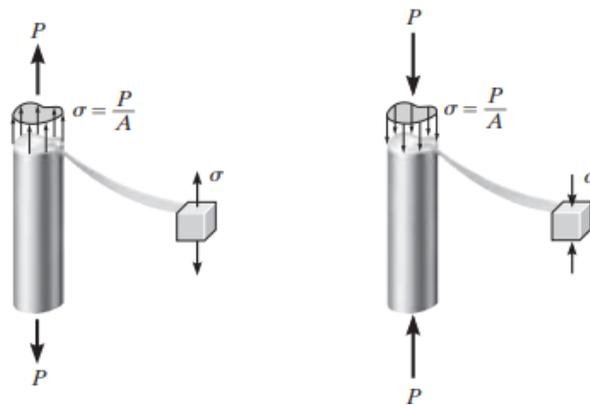
**Figura 9-2:** Deformación por flexión.  
Fuente: Elvira, 2015.

## 2.8 Esfuerzo

El esfuerzo puede definirse como una magnitud física, una fuerza interna de repulsión que se presenta en respuesta a fuerzas externas aplicadas sobre un elemento. (San Martín, 2013)

### 2.8.1 Esfuerzo normal

También denominado como esfuerzo axial, resulta de la aplicación de cargas normales a la sección transversal. Este tipo de esfuerzo puede ser de tensión como de compresión.



**Figura 10-2:** Esfuerzo normal, a) tensión, b) compresión.  
Fuente: Hibbeler, 2011.

Se lo designa con la letra griega sigma ( $\sigma$ ), y su expresión es la siguiente:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (10-2)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo normal [ $\text{N/m}^2$ ]

P: Fuerza normal interna resultante [N]

A: Área transversal de la sección [ $\text{m}^2$ ]

### 2.8.2 Esfuerzo de Flexión

La flexión se produce debido a la aplicación de cargas verticales en un elemento horizontal, es decir sobre su eje longitudinal, esto provoca que el elemento desarrolle fuerzas cortantes internas y un momento flexionante que hará que el elemento se doble.

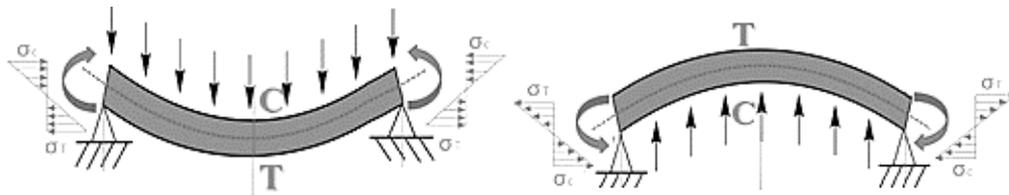
### 2.8.2.1 Convección de signos

Aunque la convección de signos sea arbitraria, a continuación, se presenta aquella que es comúnmente la más usada.



**Figura 11-2:** Momento flector positivo.  
Fuente: Hibbeler, 2011.

Al producirse el fenómeno de la flexión se originan dos estados en dicho elemento, un estado de compresión en las fibras encima del eje neutro y un estado de tensión en las fibras por debajo del eje neutro como se observa en la Figura 10-2, caso a) y lo contrario en el caso b), dependiendo del sentido de las cargas. El eje neutro es la fibra cuya longitud no varía.

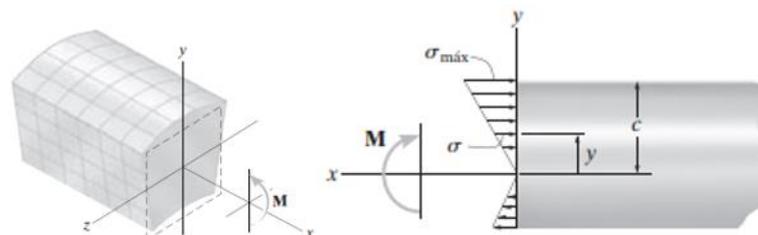


**Figura 12-2:** Esfuerzo de flexión a) momento positivo, b) momento negativo.  
Fuente: Hibbeler, 2011.

### 2.8.2.2 Flexión elástica

Los esfuerzos de flexión que se presentan en un elemento son el esfuerzo normal y el esfuerzo de corte. El esfuerzo normal sea de tracción o compresión, aumenta de forma proporcional a la distancia desde el eje neutro hacia las fibras externas. Mientras que los esfuerzos de corte, producidos por fuerzas perpendiculares al eje del elemento deben ser considerados siempre y cuando las distancias entre los apoyos sean pequeñas. (López S. & Bonilla S., 2012)

Al aplicarse un momento a un elemento, se genera un esfuerzo normal en la dirección longitudinal, por lo que los demás componentes de esfuerzo normal y cortante serán igual a cero.



**Figura 13-2:** Distribución de esfuerzo normal en la sección transversal.  
Fuente: Hibbeler, 2011.

Este estado de esfuerzo ocasiona que el material de dicho elemento presente solo un esfuerzo normal longitudinal cuya expresión es la siguiente:

$$\sigma_f = \frac{M \cdot y}{I_z} \quad (11-2)$$

Donde:

$\sigma_f$ : Esfuerzo normal de flexión [ $N/m^2$ ]

$M$ : Momento interno resultante [ $Nm$ ]

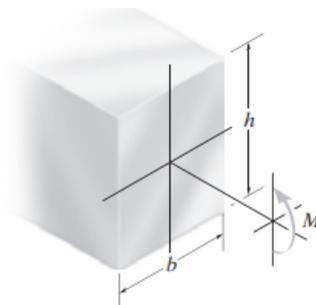
$y$ : Distancia perpendicular desde el eje neutro; distancia máxima  $y=c$  [ $m$ ]

$I_z$  Momento de inercia del área de la sección transversal [ $m^4$ ]

La distribución real de esfuerzos en cierta sección transversal dada no puede determinarse únicamente con la estática, sólo se la puede obtener analizando las deformaciones producidas en el elemento. (Ferdinand P. y Russell 2010)

### 2.8.2.3 Flexión inelástica

Si al aplicarse un momento, hace que un material quede deformado, entonces se debe emplear un análisis plástico si se requiere determinar la distribución de esfuerzo. Para este análisis, se supondrá que el material tiene el mismo diagrama esfuerzo-deformación en tensión y compresión. Por simplicidad, se considera una viga de sección rectangular con un área transversal con dos ejes de simetría.



**Figura 14-2:** Viga rectangular.  
Fuente: Hibbeler, 2011.

Momento de fluencia: Si un material es sometido a un esfuerzo que alcanza al esfuerzo de fluencia ( $\sigma_Y$ ) este tiende a presentar un comportamiento elástico-perfectamente plástico. De esta forma

cuando  $M = M_Y$  se produce a penas la cedencia en las fibras de la viga, siendo posible determinar el momento de fluencia mediante la fórmula de flexión (11-2).

$$\sigma_f = \frac{M \cdot c}{I_z}$$

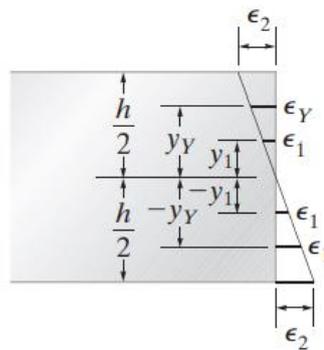
De la figura 14-2:

$$\begin{aligned} M &= M_Y \\ c &= h/2 \\ I_z &= b \cdot h^3/12 \end{aligned} \quad (12-2)$$

Remplazando:

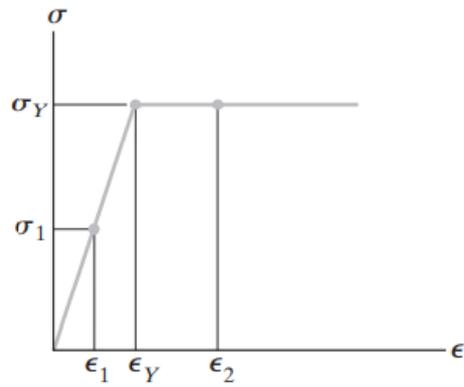
$$\begin{aligned} \sigma_Y &= \frac{M_Y \cdot h/2}{b \cdot h^3/12} \\ \sigma_Y &= \frac{M_Y}{b \cdot h^2/6} \\ M_Y &= \frac{b \cdot h^2}{6} \sigma_Y \end{aligned} \quad (13-2)$$

Momento plástico: Cuando  $M > M_Y$ , en la parte superior e inferior de la viga comenzará a presentarse una deformación ocasionando la distribución de deformación como se muestra a continuación:



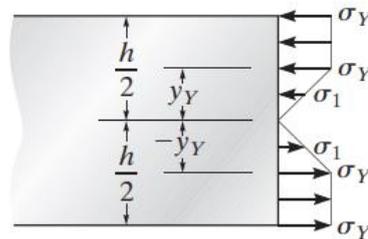
**Figura 15-2:** Distribución de la deformación.  
Fuente: Hibbeler, 2011.

Dicha distribución de esfuerzos es posible determinarla a partir del diagrama esfuerzo deformación. Donde se observa que las deformaciones  $\epsilon_1, \epsilon_Y, \epsilon_2$  corresponden a los esfuerzos  $\sigma_1, \sigma_Y, \sigma_Y$ , respectivamente.



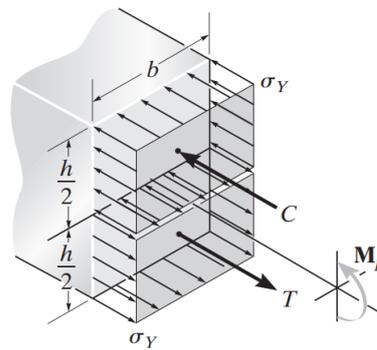
**Figura 16-2:** Diagrama  $\sigma$  vs  $\epsilon$  región elastoplástica.  
 Fuente: Hibbeler, 2011.

Al representar la distribución de esfuerzo en la sección se tiene:



**Figura 17-2:** Distribución de esfuerzos.  
 Fuente: Hibbeler, 2011.

Los bloques de esfuerzo en tensión y compresión son rectangulares y triangulares cuyas fuerzas resultantes que producen son equivalentes a sus volúmenes. A demás, debido a la simetría y a que el eje neutro pasa por el centroide de la sección transversal, el momento plástico  $M_p$  resulta del producto entre la fuerza resultante por la distancia al centroide de cada bloque a partir del eje neutro.



**Figura 18-2:** Fuerzas actuantes del momento plástico.  
 Fuente: Hibbeler, 2011.



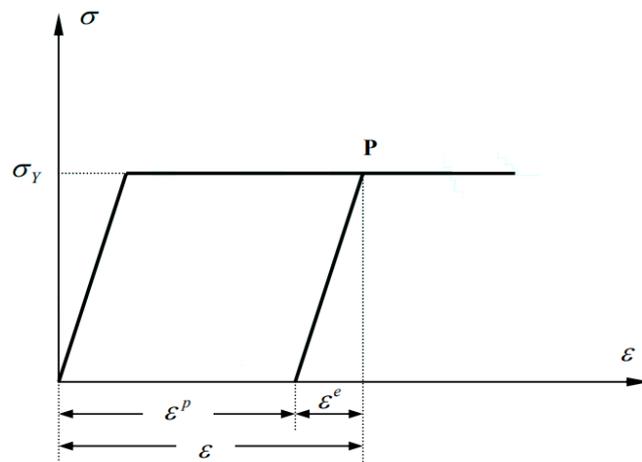
Una vez que se sobrepase el límite de fluencia, las deformaciones no son totalmente recuperables. De la figura 20-2 al presentar un ciclo de carga y descarga (curva OAB), se observa que la deformación en A es:

$$\varepsilon_A = (\varepsilon_A - \varepsilon_B) + \varepsilon_B \quad (14-2)$$

Donde:

$(\varepsilon_A - \varepsilon_B)$ : Deformación recuperable

$\varepsilon_B$  : Deformación no recuperable



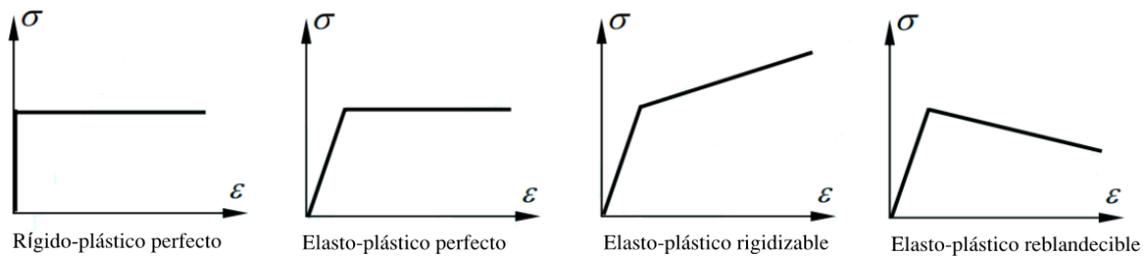
**Figura 21-2:** Idealización del comportamiento elastoplástico perfecto.

Fuente: (Prat 2006)

De una forma idealizada, se observa que para un punto P en el diagrama presentado, la deformación se compone de una parte elástica (recuperable) y plástica (no recuperable), de esta forma se cumple la relación:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p \quad (15-2)$$

En la teoría de plasticidad, existen curvas esfuerzo-deformación idealizadas que permiten su estudio más a fondo, dichas curvas se muestran a continuación.



**Figura 22-2:** Idealización del comportamiento elastoplástico perfecto.

Fuente: (Prat 2006)

## 2.9 Investigaciones

(Ortega y Pazmiño 2017), Este trabajo realiza un análisis del comportamiento estructural de una carrocería de un bus, sobre el cual se aplica una carga simulando un impacto frontal, el cual fue analizado por el método de elementos finitos en el paquete computacional LS Dyna, para proponer una modificación a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323.(Ortega y Pazmiño 2017)

(Calle y Fernandez 2009), realizan el estudio y optimización de elementos estructurales frente a un impacto para absorción de energía durante el mismo. El cual se lo realizara mediante la simulación en el software Abaqus, en donde se analiza una viga biapoyada sometida a carga de flexión dinámica. Este análisis es para estructuras de aplicación en sistemas de seguridad pasivos en medios de transporte, con la finalidad de reducir el grado de afectación al ocupante durante un accidente. Trabajan absorbiendo la energía cinética derivada del choque mediante deformación. Este análisis se enfoca en que la deformación se debe dar de una forma controlada.

(Herrera y Del Castillo 2016), se centra en las colisiones vehiculares para determinar el alcance máximo donde se podría disponer de una reparación de los componentes del vehículo mediante ensayos destructivos a los materiales usados, basándose en la aplicación de normas establecidas, considerando que no se pierdan las propiedades mecánicas y que se cumpla con los estándares mínimos de seguridad establecidos por los fabricantes, garantizando así la seguridad de los conductores y ocupantes.

(Geovanni y Puente), presenta la fabricación de carrocerías para buses urbanos, en donde como objetivo principal incluyen el cambio de la matriz productiva, además de pretender que las carrocerías de buses urbanos puedan brindar a la sociedad un medio de transporte seguro y confortable, y que al mismo tiempo pueda competir a nivel nacional con las demás empresas de fabricación. Durante el diseño de una carrocería se debe considerar como factor primordial la seguridad del conductor y los pasajeros durante una colisión, para ello se cuenta con diversas normativas que varían en cada nación ya que algunos cuenta con una normativa propia para garantizar la integridad de los ocupantes en el caso de producirse eventos en donde su seguridad se vea afectada, estas normativas nos permiten mediante el correcto análisis de absorción de energía en la estructura reducir los efectos de los impactos.

## 2.10 Simulación de impactos

La simulación de impacto de vehículos es ampliamente utilizada en la actualidad por fabricantes de la industria automotriz, entidades dedicadas a la homologación de vehículos e investigadores relacionados a la seguridad de ocupantes.(López S., 2015)

Un método que se usa para la realización de una simulación es por medio del análisis por elementos finitos (FEA, siglas en inglés de Finite Element Analysis), la cual es una técnica de simulación por computador usada en ingeniería. Existen muchos paquetes de software, tanto libres como no libres.

Mediante una simulación se obtiene información para observar el modo de fallo de los materiales mediante el análisis de los resultados, con esto se puede reducir el valor de costos y tiempo requeridos en un ensayo de choque (crash test) o la construcción de prototipos, permitiendo el desarrollo y mejoramiento de los diseños y sistemas de seguridad.(López, 2015) A demás, los valores arrojados por las simulaciones, sirven también para validar sistemas que impliquen la lectura de datos en ensayos que traten de ensayos mecánicos.



**Figura 23-2:** Simulación de un impacto frontal.

Fuente: Moradi R, 2013

## 2.11 Acelerómetro

El acelerómetro es un dispositivo que nos permite obtener las fuerzas de aceleración, estas pueden ser estáticas como la constante de la gravedad que dirige a todos los objetos al centro de la tierra, o a su vez dinámicas como el movimiento o las vibraciones de algún componente.

Además nos permite comprender los mecanismos de un sistema al obtener diferentes medidas, entre las más conocidas tenemos la aceleración, velocidad, posición, aceleración angular, velocidad angular, ángulo de inclinación y por ultimo fuerza.(López S., 2015)

### 2.11.1 Clasificación

Existen diversidad de acelerómetros y esto es debido a que varían según su capacidad de carga, que va desde un gramo hasta miles de gramos o a su vez si se considera el rango de frecuencia, existen acelerómetros que parten desde los 0 Hz, los cuales son usados en aplicaciones donde se considera bajas frecuencias y por otro lado existen también acelerómetros que llegan hasta miles de Hz para altas frecuencias, estos son muy comunes en el análisis de vibraciones. Entre los más

comunes se puede mencionar los acelerómetros mecánicos, capacitivos, piezoeléctricos, piezoresistivos y micro mecánicos.(López S., 2015)

#### 2.11.1.1 *Microelectromecánicos (MEMS)*

Los acelerómetros más frecuentemente usados son los MEMS, los cuales están conformados por placas capacitivas. Unos cuantos de estos son fijos, otros se encuentran unidos a resortes nanométricos que permanecen en movimiento debido a las fuerzas de aceleración que actúan sobre estos. El movimiento que existe entre estas placas en relación de la una con la otra ocasiona que la capacitancia entre ellas cambie, esto ocasiona que el circuito envíe una tensión de salida con la que se puede dimensionar la aceleración.(Santos 2018a)

#### 2.11.1.2 *Piezoeléctricos*

Otro acelerómetro que tiene gran demanda es el piezoeléctrico, estos sensores se caracterizan por detectar la aceleración en base a la carga eléctrica en un material piezoeléctrico, mientras está expuesto a un esfuerzo mecánico.(Santos 2018a)

Estos elementos están conformados por una masa sujeta a un extremo mediante un muelle, la misma que comprime el material piezoeléctrico, es muy frecuente el uso de circonato de plomo, todos estos componentes se encuentran en el interior de una caja metálica. Mientras al sistema se le aplica una fuerza, el disco piezoeléctrico cambia su potencial variable, proporcional a la aceleración de la masa.(Santos 2018a)

Los acelerómetros piezoeléctricos con electrónica incorporada (IEPE) cuentan con tecnología de un transductor piezoeléctrico con un cambio ligero, este acelerómetro cuenta internamente con componentes electrónicos los mismos que cumplen la función de un amplificador de carga (Ruiz Montalvo 2010).

Este tipo de acelerómetros presenta grandes ventajas como las que se mencionan a continuación: (Ruiz Montalvo 2010).

- Cuenta con una salida de baja impedancia, lo cual lo hace perfecto para una conexión directa con cualquier voltímetro, osciloscopio o sistema de adquisición de datos.
- El cable de conexión, no genera cambios en la sensibilidad o en la respuesta en frecuencia del sistema.
- Su costo es más económico a diferencia de un sistema el cual cuenta con un acelerómetro piezoeléctrico y un amplificador de carga.
- La señal que envía este transductor suele ser más estable y cuenta con un bajo nivel de ruido debido a que no es necesario el uso de un cable que conecte el sensor con su amplificador.

### 2.11.1.3 *Piezoresistivos*

A diferencia de los piezoeléctricos, Los acelerómetros piezoresistivos basan su funcionamiento en la misma propiedad que tienen las resistencias eléctricas, el cual consiste en cambiar de valor cuando el material se deforma mecánicamente. Para su funcionamiento, emplean una masa suspendida por medio de un elástico conectado a cuatro galgas extensiométricas. Esta masa mientras es afectada por la aceleración perpendicular a la superficie ocasiona que las galgas se deformen y por ende que su resistencia cambie de forma proporcional al cambio de la velocidad con respecto al tiempo. Este acelerómetro se caracteriza porque no produce un potencial eléctrico sino solo una variación en la resistencia, además que puede medir aceleraciones a frecuencias muy bajas incluso de hasta 0 HZ.(Santos 2018a)

### 2.11.1.4 *Acelerómetros micromecánicos (MEMS)*

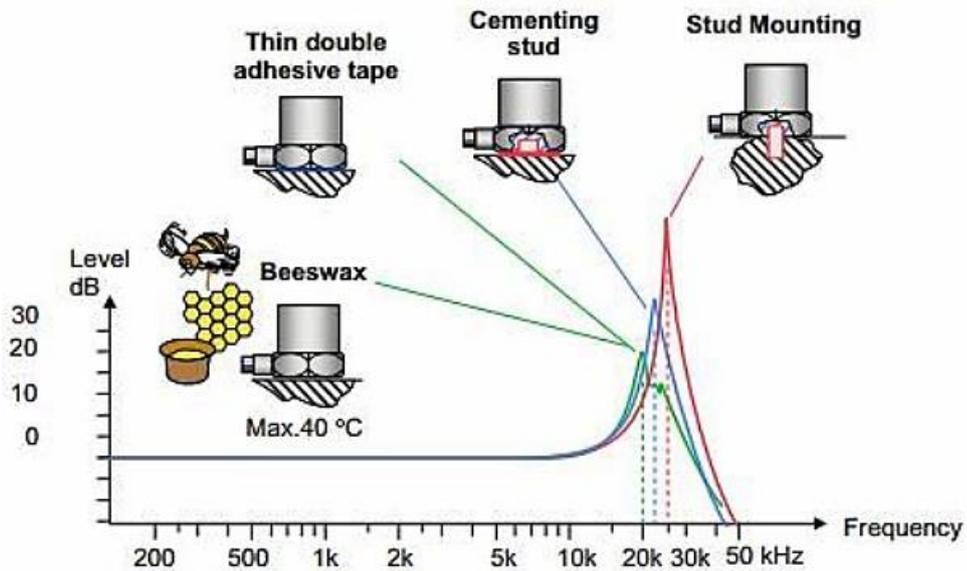
Los constantes avances de la tecnología electromecánica micro en los sistemas dan la posibilidad de detectar el movimiento, lo cual permite hacer uso de estos sensores en muchas aplicaciones en varias industrias. Estos sensores son capaces de medir el movimiento tal como aceleración, vibración, choque, e inclinación. (Arenas 2008)

### **2.11.2 *Montaje del acelerómetro.***

Existen varios factores que se consideran importantes a la hora de montar un acelerómetro con el fin de garantizar la buena lectura de datos de vibración, como se muestra en le figura 24-2, donde se muestra el tipo de sujeción según la frecuencia a medir. Un montaje inadecuado puede comprometer las medidas, disminuyendo gravemente el rango de frecuencia útil.

Es primordial asegurar un contacto mecánico cercano entre la base y la superficie acelerómetro a la que se va a unir (Contreras 2017).

### 2.11.2.1 Tipos de montaje



**Figura 24-2:** Tipos de montaje de un acelerómetro.

Fuente: (Contreras 2017)

- Mediante cera: utilizado cuando no existe la posibilidad de fijación mediante un tornillo al realizar una perforación sobre la superficie vibrante, esto se debe a que se requiere de mucho cuidado de modo que no exista la posibilidad de que se desprege el transductor y comprobar que el ambiente no se encuentre a una temperatura mayor a los 40 °C (Contreras 2017).
- Mediante opresor: utilizado en la estructura en la cual se realiza un agujero mediante un barreno, con la ayuda de un opresor se mantienen juntas las superficies de la máquina y la base del transductor, es de gran importancia que el opresor cuente con una longitud adecuada para tener un buen contacto entre el transductor y la superficie sujeta a vibración (Contreras 2017).
- Mediante el uso de pegamento: confiable y rápido, sin embargo, al momento de retirar el sensor será necesario hacer uso de una herramienta adecuada para desprege el transductor (Contreras 2017).
- Mediante el uso cinta: método muy rápido, pero debido a su adherencia no lo hace muy confiable en comparación a la del pegamento (Contreras 2017).
- Montaje magnético: ayuda frecuentemente para realizar mediciones de forma portátil, es muy útil al momento de realizar supervisión de maquinaria y otras aplicaciones pudiendo ser estas portátiles o de tendencia (PCB Piezotronics 2020).

Una elección adecuada del imán y una adecuada preparación de la superficie de montaje son criterios fundamentales que se deben tener en cuenta para obtener mediciones validas,

especialmente a altas frecuencias; Si existe la presencia de una mala instalación esto daría una caída de al menos un 50% en el rango de frecuencias del sensor (PCB Piezotronics 2020).

Por lo general, los imanes considerados de tierras raras son común mente usados por su gran resistencia. Los imanes que cuentan con una superficie plana en su base son adecuados para superficies lisas y planas, por otra parte, los imanes de doble carril la mejor opción al contar con una superficie curva. Si dado el caso la superficie es magnéticas o rugosas, lo recomendable es hacer uso de suelda, epoxie o adhiera una almohadilla de montaje de acero a la superficie. Esto permite obtener una ubicación adecuada en donde el montaje se puede repetir para diversos ensayos proporciona una ubicación suave y repetible para el montaje del sensor (PCB Piezotronics 2020).

#### *2.11.2.2 Incidencia de la longitud de cable en la toma de datos*

El funcionamiento del acelerómetro mediante el uso de cables largos podría afectar la respuesta en frecuencia del acelerómetro, además de incluir un ruido de baja frecuencia y finalmente producir una distorsión de alta frecuencia cuando no se cuenta con la intensidad de corriente adecuada para conducir la capacitancia del cable. Si se considera los sistemas de modo de carga, se tiene que los ruidos del sistema es una función de la longitud del cable, estos sensores brindan una salida de alta tensión y baja impedancia lo cual resulta conveniente para conducir cables largos a través de entornos difíciles. El ruido no aumenta prácticamente con los sensores, la carga capacitiva del cable más largo puede distorsionar o filtrar las señales de mayor frecuencia en función de la corriente de alimentación y la impedancia de salida del sensor (PCB Piezotronics 2020).

Por lo general, la distorsión de la señal no se presenta en las pruebas de baja frecuencia dentro de un rango de hasta 1.000 Hz. Por otro lado, en medidas de vibración de mayor frecuencia por cables de más de 500 pies, existe la posibilidad de una distorsión de la señal (PCB Piezotronics 2020).

#### **2.11.3 *Phyphox para Smartphone.***

La aplicación Phyphox, fue desarrollada por el doctor Sebastián Kuhlen con un nivel pedagógico, de la cual da conocer todas las características de esta aplicación como una forma interactiva para poder entender y experimentar la física de una manera más practica mediante experimentos que se pueden realizar a través de su teléfono móvil (Sandoval, 2015).

##### *2.11.3.1 Sensores*

Phyphox, proporciona grandes ventajas, lo cual permite hacer uso de varios sensores que posee un teléfono inteligente para análisis experimental, como, por ejemplo, la detección de frecuencia

de un péndulo, donde se tiene que utilizar el acelerómetro o a su vez se puede medir el efecto Doppler mediante el uso del micrófono.



**Figura 25-2:** Uso de sensores.  
Fuente: phyphox.org

### 2.11.3.2 *Sensores compatibles*

Phyphox tiene compatibilidad con los siguientes sensores de entradas y salidas:

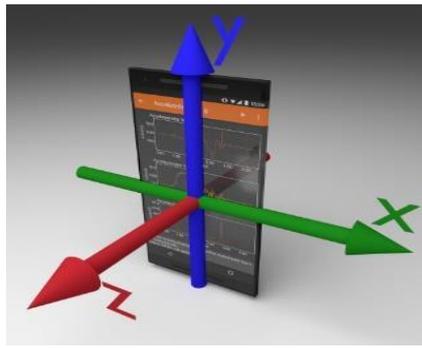
Entradas:

- Acelerómetro.
- Magnetómetro.
- Giroscopio.
- Sensor de luz.
- Presión.
- Sensor de proximidad.
- Micrófono.
- GPS / Ubicación.
- Bluetooth para dispositivos personalizados (por ejemplo, un Arduino).

Salidas:

- Altavoz.
- Bluetooth para dispositivos personalizados (por ejemplo, un Arduino).

### 2.11.3.3 El sistema de coordenadas



**Figura 26-2:** Sistema de coordenadas.

Fuente: phyphox.org

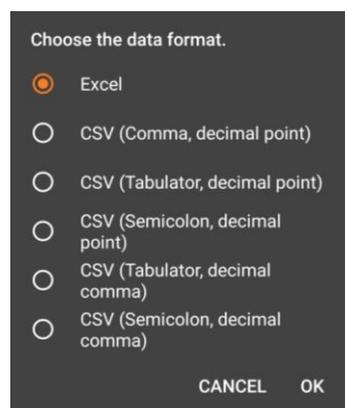
Phyphox es una aplicación la cual cuenta con tres ejes cardinales (x, y, z) en donde el eje “z” es perpendicular a la pantalla, El eje “x” se presenta de manera que se direcciona a la derecha, y finalmente el eje “y” apunta hacia arriba a lo largo del lado más largo del teléfono.

### 2.11.3.4 Exportación de datos

Al realizar experimentos, en donde se recolecta datos, estos pueden ser exportados en varios formatos conocidos, adicionalmente brinda la posibilidad de guardar los ensayos en la aplicación a de más de poder compartir estos datos a través de cualquier aplicación del teléfono.

Los formatos de exportación de la aplicación Phyphox son:

- Valores separados por comas (CSV)
- Valores separados por tabuladores
- MS Excel (xls)



**Figura 27-2:** Formatos de exportación.

Fuente: phyphox.org

#### **2.11.4 Variación de la aceleración con un péndulo mediante un Smartphone.**

El uso de los sensores de los Smartphone permite que se puedan sustituir varios materiales que resultan costosos para poder realizar experimentos, ya que basta con conectar el móvil para poder tener una lectura de datos con precisión, según la variable a analizar, esto incluso permite su implementación en los métodos de enseñanza tradicionales y dado que es un elemento muy usado no tardará de llamar la atención de los estudiantes. (PORTILLA, 2015)

La aplicación permite administrar los sensores integrados en el teléfono para poder realizar el experimento y así determinar la oscilación del péndulo simple registrando los datos sin procesar para poder exportarlos después de terminar el experimento (Pérez & Enrique, 2015).

### **2.12 Sensor de deformación**

Entre los tipos de medidores de deformación están los mecánicos, ópticos, de rayo láser, eléctricos entre otros. Los cuales para su selección dependen de la precisión del instrumento, el rango de medida, el tamaño y forma del elemento a analizar, el lugar de deformación y sus condiciones de funcionamiento

#### **2.12.1 Galgas extensiométricas**

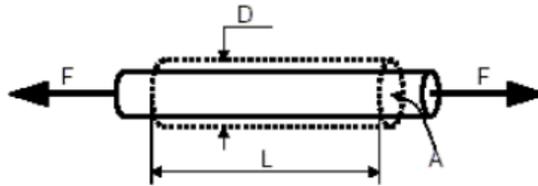
Una galga extensiométrica es un transductor cuya resistencia varía en función de la deformación que sufre la superficie en donde esté instalada. La longitud del hilo metálico por el cual está constituido una galga, es directamente proporcional a su resistencia. De esta forma, la fuerza, presión, tensión, peso, deformación, etc., produce un cambio de la resistencia eléctrica la cual puede ser medida. (Ruiz Guillermo 2005)

##### **2.12.1.1 Principio de funcionamiento**

Las galgas extensiométricas se basan en la variación de la resistencia de un conductor o un semiconductor cuando es sometido a un esfuerzo mecánico. Si se considera un hilo metálico de longitud  $l$ , sección  $A$  y resistividad  $\rho$ , su resistencia eléctrica  $R$  es:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (16-2)$$

Este efecto conocido también como efecto piezorresistivo, establece que la resistividad de las galgas extensiométricas, depende de la deformación a la que se somete, el material que lo constituye y su diseño.



**Figura 28-2:** Efecto piezorresistivo.

Fuente: (Idrovo y Quintanilla 2010)

Cada una de las variables, al producirse un esfuerzo en dirección longitudinal, variarán modificando consigo la resistencia R.

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

$$\frac{\partial R}{R} = \frac{\partial \rho}{\rho} + \frac{\partial l}{l} - \frac{\partial A}{A} \quad (17-2)$$

Si además se considera una dimensión transversal  $D$ , la relación entre esta y la dimensión longitudinal  $l$  viene dada por la ley o razón de Poisson. De la Figura 28 la barra al estirarse, genera un  $L' > L$ , y a la vez un estrechamiento de su diámetro, es decir:  $D' < D$ , por lo que el estiramiento (positivo) y el estrechamiento (negativo) multiplicado por (-1), es un número positivo comprendido entre 0 y 0,5. Se lo designa con la letra griega mu ( $\mu$ ) y su expresión es:

$$\mu = - \frac{dD/D}{dl/l} \quad (18-2)$$

Donde:

$\mu$  : Razón de Poisson.

$dD/D$ : Razón de deformación lateral (transversal).

$dl/l$  : Razón de deformación axial (longitudinal).

A continuación, se presenta dicho coeficiente para algunos materiales.

**Tabla 2-2:** Razón de Poisson de materiales comunes.

Material		Razón de Poisson
Metálicos		
Aleación de aluminio forjado	2014-T6	0.35
	06061-T6	0.35
Aleación de hierro forjado	Gris ASTM 20	0.28
	Maleable ASTM A-197	0.28
Aleación de cobre	Latón rojo C83400	0.35
	Bronce C86100	0.34
Aleación de magnesio	Am 1004-T61	0.30
Aleaciones de acero	Estructural A36	0.32
	Inoxidable 304	0.27
Aleaciones de titanio	Ti-6A14V	0.36
No metálicos		
Concreto	De baja resistencia	0.15
	De alta resistencia	0.15
Plástico reforzado	Kevlar	0.34
	Vidrio al 30%	0.34

Fuente: Hibbeler, 2011

2.12.1.2 *Factor de galga*

El factor de galga es un factor adimensional que especifica la sensibilidad de la misma, se define como el cambio de la resistencia por unidad de longitud y su expresión es:

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} \quad (19-2)$$

Donde:

 $GF$ : Factor de galga $\Delta R$ : Variación de la resistencia de la galga [ $\Omega$ ] $R$  : Resistencia nominal de la galga [ $\Omega$ ] $\Delta l$  : Variación de la longitud del elemento [ $m$ ] $l$  : Longitud inicial del elemento [ $m$ ]

Para las aplicaciones que requieran de cargas mecánicas, es recomendable una sensibilidad alta dado que es mucho mejor percibir un cambio mayor de resistencia ante una pequeña variación de longitud antes que percibir un cambio pequeño en la resistencia. Existe una gran variedad de galgas extensiométricas y por ende distintos factores de galga.

**Tabla 3-2:** Factores de Galgas Comunes.

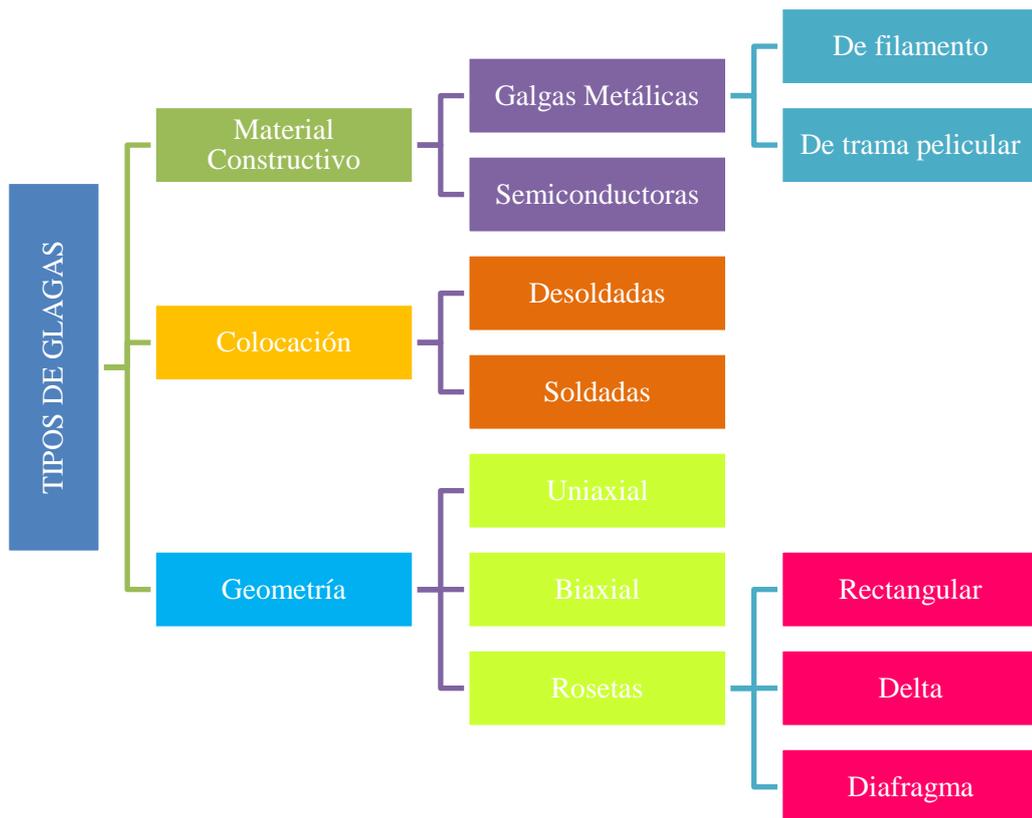
Material	K
Constantán	2.1
Isoelastic	3.6
Karma	2.0
Aleación 479	4.1

Fuente: (Idrovo y Quintanilla 2010)

Realizado por: Taday J., Rojas M.

### 2.12.2 Clasificación.

Una de las clasificaciones de las galgas extensiométricas es la siguiente:



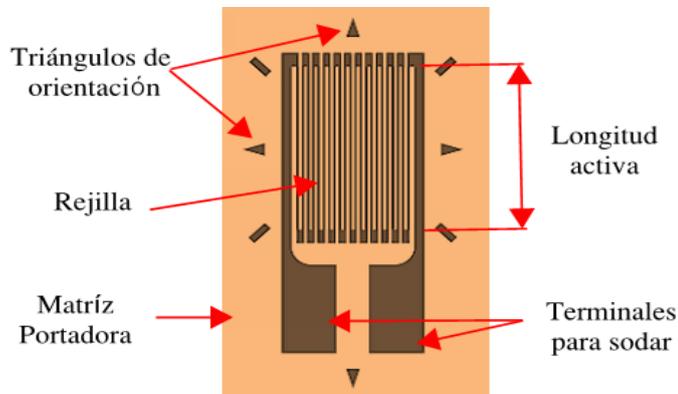
**Figura 29-2:** Clasificación de las galgas extensiométricas.

Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021

### 2.12.3 Partes de una galga extensiométrica

Las partes principales de una galga extensiométrica son:



**Figura 30-2:** Partes de una galga extensiométrica.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021

### 2.12.4 Características de las Galgas.

Las principales características de las galgas son las siguientes: (Idrovo y Quintanilla 2010)

- Ancho y Longitud: Estas características determinan el tamaño de la galga extensiométrica, y deben ser tales que estén acorde a las dimensiones del elemento en el que se la vaya a instalar.
- Resistencia de la galga: Se refiere al valor de la resistencia del hilo conductor sin deformar. Las resistencias nominales son de  $120\Omega$ ,  $350\Omega$  y  $1000\Omega$  cuya tolerancia va desde el 0.15% a un 0.8%.
- Factor de galga: Este valor adimensional es una constante K que establece la sensibilidad de la galga y depende del material de fabricación de la misma.
- Material de la lámina: Material del hilo conductor o semiconductor.

**Tabla 4-2:** Materiales de elemento sensible de la galga.

Material	Características	Aplicaciones
Constatán	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas estáticas</li> <li>- Más usado y económico</li> <li>- Autocompensación térmica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grandes elongaciones (estado plástico de deformación)</li> </ul>
Isoelástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran relación S/N</li> <li>- Precisan control de temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas dinámicas</li> <li>- Medidas de fatiga</li> </ul>
Karma	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Autocompensación térmica</li> <li>- Soldadura de terminales compleja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas a bajas temperaturas</li> <li>- Medidas con temperatura variable o no controlada</li> </ul>
Aleación Pt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costosa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas a altas temperaturas</li> </ul>

Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

- Material de la base: Material de la matriz contenedora de la lámina conductora o semiconductor.

**Tabla 5-2:** Materiales de matriz portadora de la galga.

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

Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

- Peso: Esta característica presenta importancia cuando se trata de mediciones de alta precisión ya que el peso puede influir en la medida tomada.
- Temperatura de funcionamiento: Se refiere al rango de temperatura en el cual la galga funcionará correctamente, fuera del rango establecido por el fabricante, la medición puede desviarse de la deformación real medida.
- Comportamiento a la fatiga: Se refiere al número de ciclos de carga y descarga puede soportar la galga sin presentar deterioro en la matriz portadora e hilo conductor. Siempre y cuando las galgas trabajen en su zona elástica son capaces de soportar entre unos  $10^5$  y  $10^7$  ciclos.
- Deformación máxima: El máximo alargamiento al que puede someterse la galga depende de las propiedades del hilo conductor, y del material de la matriz portadora y del adhesivo aplicado. El límite de deformación viene dado en forma porcentual y oscila entre 0,15% a 5% pero existe galgas cuyo límite llega hasta un 20% y 25%.

### 2.12.5 Accesorios para las galgas extensiométricas

Con el fin de asegurar una buena toma de datos por parte de las galgas extensiométricas es necesario el manejo de ciertos instrumentos y de un procedimiento, el cual se detalla a continuación:

### 2.12.5.1 Preparación de la superficie

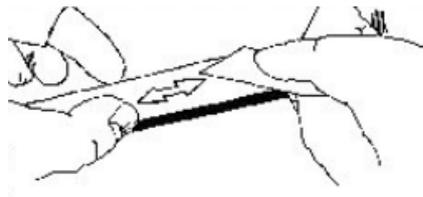
En esta etapa se trata de preparar la superficie del material en donde se va a instalar la galga, dejándola libre de residuos o imperfecciones y para ello se hace uso de los siguientes instrumentos:

- Espátula: Quita toda aspereza de la superficie como rebabas de material, óxido y grumos de pintura.
- Acetona: Cumple la función de removedor de grasas o aceites que se encuentre en la superficie de la zona a pegar la galga extensiométrica. Puede usarse también cualquier desengrasante comercial.



**Figura 31-2:** Desengrasado con solvente.  
Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

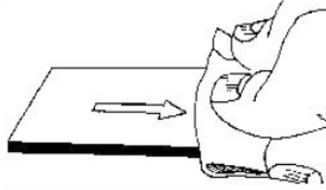
- Lijas: Se recomienda iniciar con una lija gruesa (# 180) hasta una lija más fina (# 360) con el fin de obtener una superficie lisa, compacta y bien pulida.



**Figura 32-2:** Lijado de la superficie.  
Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

Cabe mencionar que para lograr mejores resultados se debe evitar:

- El contacto de los dedos con la superficie en cuestión.
- Limpiar la superficie con un paño cuyo material sea rugoso, áspero.
- Contaminar el área preparada.
- Preparar parcialmente la superficie por no tener los insumos adecuados.

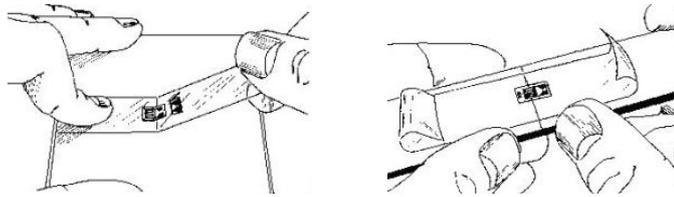


**Figura 33-2:** Acondicionamiento de la superficie.  
Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

#### 2.12.5.2 Pegado de la galga extensiométrica

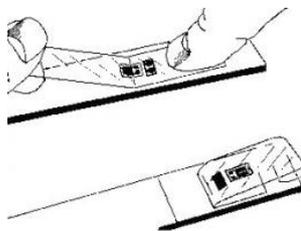
Para llevar a cabo el pegado de la galga, se requiere conocer la manera adecuada de su manipulación y orientación, así como el adhesivo a utilizar.

- Pinzas: Con ayuda de unas pinzas se manipula las galgas evitando de esta forma el contacto físico y la contaminación con agentes de su entorno.
- Cinta adhesiva: Esta cinta permitirá ubicar la galga por lo que tendrá que ser obligatoriamente transparente. Previamente se debió dibujar líneas de posicionamiento en la superficie del material y en la cinta para su alineación.



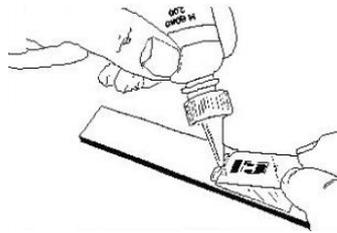
**Figura 34-2:** Ubicación de la galga en cinta adhesiva y alineación.  
Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

- Adhesivo: Una vez que se tenga la galga en la cinta y este correctamente alineada se la pega de un extremo, mientras que del otro extremo se levanta hasta que quede totalmente libre del lado opuesto a los terminales de soldadura.



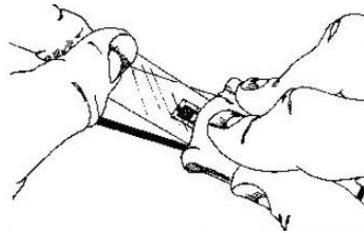
**Figura 35-2:** Posicionamiento para su pegado.  
Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

Es recomendable limpiar nuevamente la superficie en cuestión con el fin de evitar la contaminación de la misma. Con la parte baja de la cinta levantada manteniéndola en una posición fija se aplica el adhesivo entre la unión de la cinta y la superficie. Debe existir más de 10 mm entre la galga en la cinta y la superficie a ser pegada.



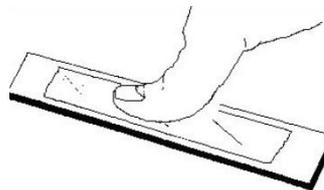
**Figura 36-2:** Aplicación del adhesivo.  
Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

Una vez aplicado el adhesivo, posicionar la cinta a 30 grados sobre la superficie de instalación, mantener tensada la cinta mientras que con un paño se va comprimiendo hasta lograr el pegado total de la galga.



**Figura 37-2:** Pegado de la galga.  
Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

Una vez terminado el paso anterior mantener presionado la galga sobre la superficie con ayuda del pulgar durante unos minutos.



**Figura 38-2:** Presión sobre la galga.  
Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

### 2.12.5.3 Soldado

Una vez pegada a galga lo que sigue es el soldado de los terminales de soldadura a los cables que la conectan con su circuito acondicionador de señal.

Terminales de soldadura: Permiten soldar la galga con el cable hacia el puente de wheatstone. Estos terminales estan ubicados aproximadamente a 1.6mm del extremo de la galga.

Cautín: Es la herramienta con la que se logra unir los cables a los terminales de suelda. Es importante que la punta del cautín se de terminación plana como la punta de un desarmador y a la hora de soldar utilizar esta parte evitando el contacto con el terminal por más de un segundo debido a que el material de la base es muy delicado.



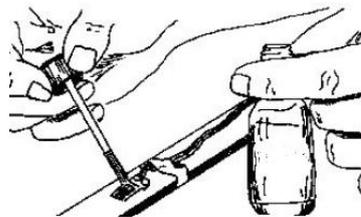
**Figura 39-2:** Soldado de la galga.

**Fuente:** Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

#### 2.12.5.4 Protección

Una vez que se ha preparado la superficie, y se haya realizado el pegado y soldado la galga es necesario protegerla del medio ambiente caso contrario correrá riesgo a ser influenciada por el medio, así como recibir daños mecánicos permanentes. Además, dicha protección evita la corrosión y oxidación de la galga. Según el tipo de galga su fabricante establece la protección adecuada para su aplicación.

Es recomendable ir verificando la instalación de la galga en cada una de sus etapas, considerando un número mínimo de revisiones de tres: después del pegado, después del soldado y finalmente después de aplicarse el protector.



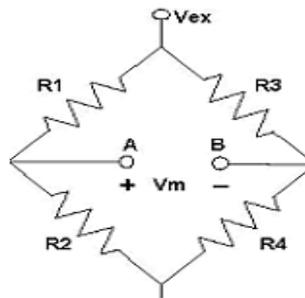
**Figura 40-2:** Aplicación de recubrimiento.

**Fuente:** Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

## 2.13 Puente de Wheatstone

La medición de las galgas extensiométricas es un caso especial, donde para poder medir los pequeños cambios de resistencia de una galga se requiere utilizar el denominado puente de Wheatstone.

El puente de Wheatstone es una configuración en la cual se presenta cuatro resistencias en donde dependiendo de su disposición se podrá obtener medidas de variaciones de voltaje mínimas expresada en milivoltios. En el caso de presentarse alguna deformación, el puente se desbalancea y por ende también el voltaje, de modo que su valor será proporcional a la fuerza que causó dicha deformación. (Idrovo P. & Quintanilla L., 2010) Se dice que el puente está en equilibrio cuando dichas galgas no presentan deformación alguna.



**Figura 41-2:** Puente de Wheatstone.  
Fuente: Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

El puente de Wheatstone está en equilibrio (estable), cuando el voltaje AB de la figura... presenta un valor de cero o si al aplicar un divisor de voltaje entre los puntos A y B, el  $V_A$  sea igual a  $V_B$  como se describe a continuación:

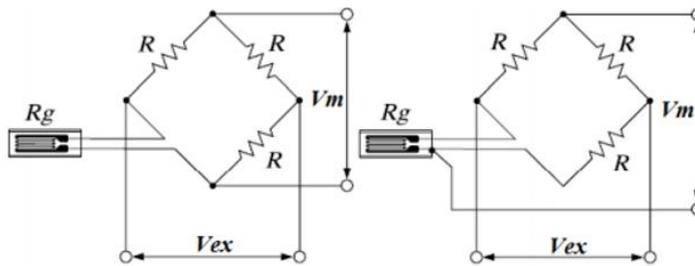
$$V_A = V_{ex} \left( \frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) \quad (20-2)$$

$$V_B = V_{ex} \left( \frac{R_4}{R_4 + R_3} \right) \quad (21-2)$$

Las resistencias de las ramas del puente pueden ser sustituidas total o parcialmente por las galgas extensiométricas. En el caso de una, dos o tres galgas, las resistencias sobrantes deberán ser resistencias fijas. El número de galgas que se tenga en el puente Wheatstone determina el tipo del mismo como se describe a continuación:(Méndez 2017)

### 2.13.1 *Cuarto de Puente*

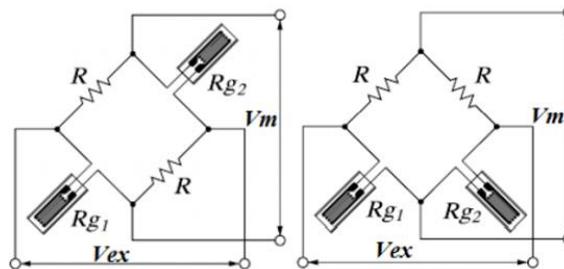
Posee una sensibilidad baja dado que solo consta de una galga extensiométrica, esto hace que se vea afectado por la temperatura y al no tener otra galga para una auto compensación, el puente tiende a estar desequilibrado. Otro inconveniente es la resistencia que puede generar los cables de conexión entre la galga y el puente, pero este problema se ve solventado con una conexión de tres cables.



**Figura 42-2:** Cuarto de puente a) Normal, b) De tres cables.  
**Fuente:** Idrovo U. & Quintanilla M., 2010.

### 2.13.2 Medio Puente

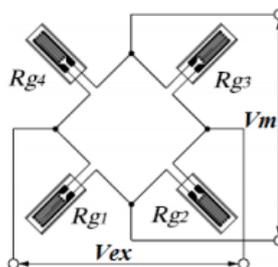
Con esta configuración se puede mejorar la sensibilidad de medición, así como compensar los efectos de temperatura.



**Figura 43-2:** Medio puente: a) mejora sensibilidad, b) compensa la temperatura.  
**Fuente:** Idrovo U. & Quintanilla M., 2010.

### 2.13.3 Puente Completo

Este arreglo se lo usa en la construcción de celdas de carga debido a su gran mejora en la sensibilidad, así como la compensación de la temperatura a la hora de efectuar la medición.



**Figura 44-2:** Puente completo.  
**Fuente:** Idrovo P. & Quintanilla L., 2010.

## 2.14 Sistema de adquisición de datos

La adquisición de datos consiste en captar las señales que se den en un fenómeno presente en el mundo real, con el fin de generar datos que puedan ser analizados por un computador, es decir lo

que hace es convertir un conjunto de señales físicas en valores de tensión eléctrica y de esta forma poder digitalizar dicha información para su procesamiento.

La medición de estas magnitudes físicas se logra con las debidas herramientas para procesar estas señales físicas y convertirlas en datos procesables. Dicho proceso consta de tres etapas:

- Conversión de la señal física
- Acondicionamiento de la señal eléctrica para su lectura digital
- Procesamiento de datos



**Figura 45-2:** Proceso de adquisición de datos.  
Fuente: NI

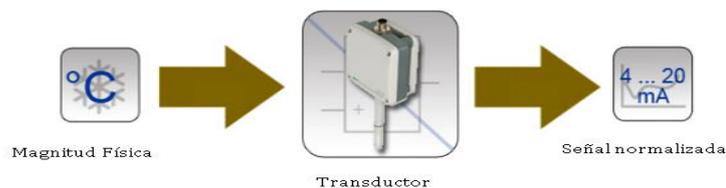
## 2.14.1 Descripción de los componentes de un sistema DAQ

### 2.14.1.1 Sensor

Un sensor conocido también como sonda, es aquel elemento que está en contacto directo con el fenómeno o magnitud a medir, su finalidad es convertir la señal física en una señal eléctrica traducida en diferencial de potencial o una variación de intensidad según el tipo de sensor.

### 2.14.1.2 Transductor

Es un dispositivo cuya misión es traducir o convertir una señal física en otra distinta que sea entendible por un sistema. La variación de resistencia que se obtiene de un sensor es un valor directo del fenómeno medido, por lo que con ayuda de un transductor se puede asociar esta variación con tensión o intensidad. El transductor por lo tanto suele incluir al sensor. (INESEM 2020)



**Figura 46-2:** Función de un transductor-sensor.  
Fuente: (INESEM 2020)

Un transductor necesita estar calibrado para cumplir a cabalidad su función de medir.

### 2.14.1.3 Clasificación de los sensores

Según la energía, un sensor puede ser activo o pasivo

- Sensor activo: Aquel sensor que requiere una fuente externa de excitación como los RTD (Detector de Temperatura Resistivo) o celdas de carga.
- Sensor pasivo: Aquel sensor que no requiere de una fuente externa de excitación como los termopares o fotodiodos

Según el principio de funcionamiento, los sensores se pueden clasificar en:

- Sensores primarios.
- Sensores resistivos.
- Sensores de reactancia variable y electromagnética.
- Sensores digitales

Sensores según la magnitud a medir, los cuales están directamente relacionados con el fenómeno o estímulo físico que se desea medir.

**Tabla 6-2:** Clasificación de los sensores según la magnitud a medir.

Magnitud detectada	Transductor	Señal de salida
Posición lineal o angular	Finales de carrera	Todo-Nada
	Potenciómetros	Analógica
	Encoders (absolutos/incrementales)	Digital
Pequeños desplazamientos o	Transformadores diferenciales (LVDT)	Analógica
	Galgas extensiométricas	Analógica
Velocidad lineal o	Dinamos tacométricas	Analógica
	Encoders (absoluto/incremental)	Digital
	Detectores inductivos	Digital
Aceleración	Acelerómetros	Analógica
	Sensores de velocidad + calcular	Digital
Fuerza y par	Medición indirecta (mediante galgas o	Analógica
Nivel	Flotador + detector desplazamiento	Analógica
	Capacitivos	Analógica
	Ultrasonidos	Digital

**Tabla 6-2 (Continúa):** Clasificación de los sensores según la magnitud a medir.

Presión	Membrana + detector desplazamiento	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
Caudal	Presión diferencial (Diafragmas/tubos de	Analógica
	De turbina	Analógica
	Magnético	Analógico
Temperatura	Termostatos	Todo-Nada
	Termopares	Analógica
	Termopares	Analógica
	Termorresistivos (PT100)	Analógica
	Resistencias NTC	Analógica
	Resistencias PTC	Analógica
	Pirómetros	Analógica
Sensores de presencia o proximidad	Inductivos	Todo – Nada
	Capacitivos	Todo – Nada
	Ópticos (Células fotoeléctricas)	Todo – Nada
	Ultrasónicos	Analógicos
Sistemas de visión	Cámaras de video y tratamiento de imagen	Procesamiento por

**Fuente:** (Vanegas García 2014)

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Los sensores normalmente acondicionados son más caros porque contienen componentes para filtrado, amplificación de señal, así como como cables de excitación y los circuitos regulares para la medición.

### **2.14.2 Dispositivo DAQ**

Es el hardware que actúa como interfaz entre la PC y las señales captadas provenientes del sensor. Consta de un acondicionador de señal, un convertidor Analógico Digital (ADC) y un bus de conexión.

#### **2.14.2.1 Acondicionamiento de señal**

Su objetivo es obtener una señal cuyo comportamiento sea válido para su lectura por parte de una tarjeta de adquisición de datos. Entre las funciones principales que lleva a cabo un acondicionador sobre la señal están:

- Transformación. Se refiere a la conversión de una variación de intensidad en una diferencia de potencial.
- Amplificación. La señal que proviene de un sensor suele ser pequeña, por lo que se la amplifica para su detección por parte de la tarjeta de adquisición de datos. La amplificación, permite reducir el ruido que puede afectar la transmisión de la señal.
- Conversión. Se trata de la conversión de la señal eléctrica en una señal óptica, de luz.
- Filtrado. Se elimina los ruidos de alta frecuencia que son motivo de pérdida de exactitud.
- Excitación. Muchos sensores necesitan de una excitación, ya sea de corriente o tensión, para producir una variación proporcional de la magnitud a medir.
- Linealización. Para los sensores que no presentan una variación lineal de su magnitud medida, requiere de cálculos para convertir la respuesta de dicho sensor en lineal.

#### 2.14.2.2 Tarjeta de adquisición de datos

Las tarjetas de adquisición de datos se encargan de:

- La conversión de señales desde analógica a digital.
- La comunicación con el ordenador.

Las características más relevantes de una tarjeta de adquisición de datos son: (López, 2015)

- Números de canales: Los numero de canales nos muestran el número de magnitudes que podemos adquirir con una misma tarjeta, por lo general las tarjetas que tienen un solo ADC y los diversos canales se generan mediante un multiplexor analógico.(López, 2015)
- Velocidad de muestreo: En la velocidad de muestreo se considera que si esta es mayor, en consecuencia se tendrá una mejor representación de la señal, de cualquier modo, la velocidad debe ser siempre superior al doble de la frecuencia que se quiere representar.(López, 2015)

Depende del número de canales que se tenga activos, las tarjetas indican la velocidad de muestreo del ADC con el fin de obtener la velocidad de muestreo de cada canal, la misma que se calcula con la siguiente formula:

$$V_{muestreo \times canal} = \frac{V_{muestreo \ ADC}}{N_{canales \ activos}} \quad (22-2)$$

- Resolución: La resolución se refiere a la representación de una muestra y está dada por la cantidad de bits del ADC, entonces a mayor número de bits del ADC la tarjeta será capaz de

detectar variaciones más pequeñas en la señal.(López, 2015) El número de niveles en el que una señal se divide para su representación viene dada por  $2^n$ , donde n es la cantidad de bits del conversor.

Por ejemplo, un conversor de 12 bits tendrá 4096 niveles distintos, si se tiene un rango de entrada de 10 V, proporcionaría una resolución de:

$$\frac{10V}{4096} = 2.44mV$$

Es decir, se detectará variaciones de tensión de hasta 2.44mV como mínimo. Por lo tanto, al incrementar los bits del conversor se obtendría claramente una mejor resolución.

- Rango de entrada: Limita el rango en el que debe mantenerse la señal de entrada para que esta pueda ser convertida, existe la posibilidad de seleccionar el rango, por hardware o por software según la tarjeta de adquisición.(López, 2015)
- Capacidad de temporización: Es una característica interna de las tarjetas de adquisición, y permite las siguientes funcionalidades:
  - ✓ Control de los momentos en los que se debe leer una señal
  - ✓ Identificar las veces en que se produce un error
- Forma de comunicarse con el computador: Debido a que se trata de un dispositivo periférico, la comunicación con el computador se logra mediante:
  - ✓ Entrada-salida por interrupción (normal)
  - ✓ Acceso directo a memoria (DMA), en este caso el flujo de datos puede ser elevado

#### 2.14.2.3 *Convertidor analógico digital (ADC)*

Previo a la manipulación de las señales analógicas provenientes de los sensores, estas deben ser convertidas en señales digitales; esto debido a que la señal de los sensores no siempre es compatible con el hardware de adquisición de datos.

#### 2.14.2.4 *Bus de conexión*

Sirve para la conexión entre el dispositivo DAQ y la PC cuyo fin es transmitir instrucciones y datos medidos. Entre los buses más comunes esta USB, PCI, PCI express y Ethernet. El bus se conecta desde el dispositivo DAQ hasta una ranura o puerto de la computadora.

### **2.14.3 Computador (PC)**

El computador se lo usa para procesar, visualizar y almacenar datos de medida, es decir, es posible controlar el funcionamiento del dispositivo DAQ gracias a su software programable. En el caso de un laboratorio una Pc de escritorio es suficiente por el poder de procesamiento mientras que en una planta de producción es recomendable usar una laptop.

#### *2.14.3.1 Software controlador*

Este software presenta una interfaz de programación lo cual posibilita la interacción con un dispositivo DAQ mediante el uso de aplicaciones API para construir softwares de aplicación.

Una aplicación API (Interfaz de Programación de Aplicaciones), permite que dos programas de software se comuniquen entre sí.

#### *2.14.3.2 Software de aplicación*

Mediante el software de aplicación se logra adquirir, analizar y presentar datos de medida facilitando de gran manera la interacción entre PC y usuario. Estas aplicaciones pueden tener una funcionalidad predefinida o personalizada, esta última es más común debido a que facilita automatizar varias funciones de un dispositivo DAQ, procesar señales y mostrar interfaces personalizadas.

## **2.15 LabVIEW**

Es un entorno de desarrollo gráfico de ingeniería, cuyas funciones sirven para realizar la adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de mediciones y la presentación de datos.

Entre las características más relevantes se tienen: (NI 2018)

- El tiempo de desarrollo de una aplicación es muy corto comparado con otros softwares debido a que su manejo es amigable con el usuario.
- Entorno gráfico de programación especializado en tareas de instrumentación electrónica.
- Diseña circuitos electrónicos para todo tipo de necesidades.
- Reduce los costes de implementación de los sistemas gracias a su fórmula de trabajo.
- Visualiza, analiza y comparte datos.
- Amplia compatibilidad.
- Bibliotecas integradas y específicas para el campo de la ingeniería.

### 2.15.1 Aplicaciones y ventajas

LabVIEW ha sido la herramienta utilizada en muchos casos prácticos donde se requería de sus posibilidades, por ejemplo para la medición de temperaturas y la creación de informes en industrias alimentarias, para automatizar líneas de producción de telefonía móvil, para el control de transformadores de potencia, para la detección de errores en maquinaria, etc. (NI 2018)

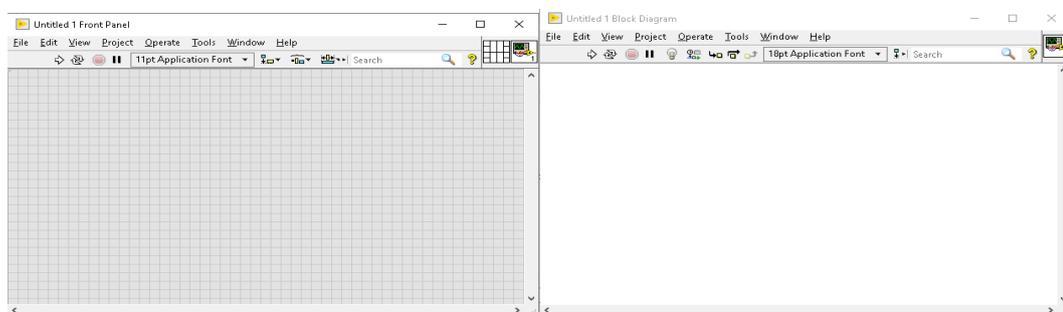
Las ventajas que brinda este entorno gráfico son la siguiente:

- Es flexible, por lo que permite realizar cambios y actualizaciones tanto en el hardware como en el software.
- Con el desarrollo de un solo sistema es posible integrar las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- Existe la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

### 2.15.2 Interfaz

En la interfaz de LabVIEW se consta de dos ventanas principales:

- Panel frontal: donde consta los instrumentos reales que se usará como botones, indicadores pantalla, etc.
- Diagrama de bloques: en donde se encuentra la programación o circuitería.



**Figura 47-2:** Panel frontal y Diagrama de bloques.

**Realizador por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Los programas desarrollados en LabVIEW tienen la extensión VI que significa instrumento virtual (Virtual Instrument). Además de las dos ventanas principales, otra parte fundamental son los Iconos/conectores que son medios usados para conectar un VI con otros VIs. (Albán 2013)

## CAPITULO III

### 3 MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Enfoque

En este trabajo de integración curricular tipo proyecto técnico, se utilizará un enfoque cuantitativo ya que el sistema de adquisición, toma mediante una asignación netamente numérica las lecturas de aceleración y deformación unitaria a causa de un impacto. En menor medida, será necesario un enfoque cualitativo con el fin de verificar del correcto funcionamiento del sistema de adquisición utilizando sus herramientas integradas.

Se dice que se tiene un enfoque cualitativo, debido a que el sistema de adquisición de datos proporciona una referencia visual importante sobre el estado del ensayo en tiempo real de las variables analizadas. (DEMESoft 2020)

#### 3.2 Modalidad del trabajo de integración curricular

##### 3.2.1 *Diseño*

El trabajo siendo de enfoque cuantitativo, será no experimental en la parte de la adquisición de los datos, dado que los valores tanto de aceleración como deformación unitaria serán directamente obtenidos en el momento del impacto en su estado natural. Pero, en la parte de validación se efectuará una parte experimental ya que además de la validación analítica se hará uso de una simulación, facilitando una estimación de error entre dichos valores y los valores arrojados por el sistema de adquisición. (López 2016)

##### 3.2.2 *Alcance*

El presente trabajo técnico se considera como correlacional dado que para la lectura de las variables de aceleración y deformación en función del tiempo, obtenida por el sistema de adquisición durante una prueba de impacto, existirán varias posibilidades de acondicionamiento, en donde se podrá variar ciertos parámetros en la configuración de la adquisición del sistema obteniendo diferentes apreciaciones en la toma de datos hasta lograr obtener los más adecuados con el fin de proporcionar información útil que permita la determinación de la resistencia y comportamiento de materiales sometidos a impactos dentro de la industria del transporte entre otras.

### 3.3 Descripción de los componentes utilizados

En el sistema a implementar se va hacer uso de los siguientes componentes:

- Sensores: se utiliza un acelerómetro, el cual como se deriva de su nombre servirá para medir la aceleración registrada por el impacto. Además, se hace uso de galgas extensiométricas, con las cuales se mide la deformación unitaria en un punto específico de la probeta.
- Dispositivo (DAQ): Dado que en este proyecto se requiere un funcionamiento adecuado y estable se utiliza el dispositivo Ni Compact DAQ.
- Software de aplicación: se hace uso del software LabVIEW cuyo lenguaje de programación, biblioteca y herramientas para la adquisición de datos permite visualizar, procesar y almacenar los datos adquiridos.
- Dispositivos de conexión: se hace uso de varios cables y adaptadores para establecer la conexión eléctrica.

#### 3.3.1 Descripción de sensores

##### 3.3.1.1 Sensor de deformación

La galga extensiométrica usada es de alta precisión y estabilidad, comúnmente se usa como sensor de presión, peso y para mediciones de flexión estructural. Entre sus características están:

- Dimensiones: 7.4 x 4.4 mm
- Resistencia: 350 Ohm
- Factor de galga: 2.04
- Tolerancia:  $\leq \pm 1\%$
- Temperatura: -30 °C/80°C



**Figura 48-3:** Galga extensiométrica.

Fuente: <http://proveedoracano.com/eshop/galga-Bf350>

##### 3.3.1.2 Sensor de aceleración

El acelerómetro usado tiene las siguientes características:

- Sensibilidad:  $\pm 10\%$  100mV/g ( $10.2\text{ mV}/(m/s^2)$ ).
- Rango de frecuencia: ( $\pm 3\text{dB}$ ).
- Rango de medición:  $\pm 50\text{g}$  ( $\pm 490\text{ m/s}^2$ ).
- Frecuencia: 0,5 a 10000 Hz

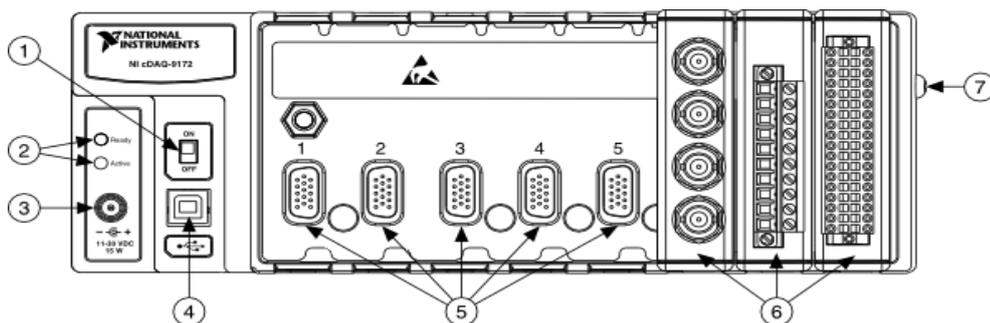


**Figura 49-3:** Acelerómetro IMI 603C01.  
Fuente: <https://www.yellotec.co.za/files>

### 3.3.2 Descripción del dispositivo DAQ

#### 3.3.2.1 Chasis.

El chasis NI Compact DAQ-9172, tiene una capacidad de tratar un rango amplio de señales analógicas y digitales, dotado de una interfaz USB 2.0 que facilita la transferencia de los datos al conectarse a un PC. Controla la temporización, sincronización y transferencia de datos entre módulos de E/S de la serie C. Sus cuatro contadores y temporizadores de uso general son de 32 bits, además su diseño brinda confiabilidad y rendimiento a la hora de trabajar en ambientes industriales. Sus componentes son:



**Figura 50-3:** Componentes del chasis DAQ-9172.  
Fuente: <https://www.ni.com/documentation/en/compactdaq-chassis/latest/cdaq-9172/pinout/>

1. Switch de poder
2. Focos indicadores de lectura y activo
3. Conexión de fuentes de poder.
4. Conexión USB.

5. Espacio disponible para los módulos.
6. Módulos instalados para entradas y salidas tipo C.
7. Tornillo para conexión a tierra.

### 3.3.2.2 Módulos

El módulo utilizado para el tratamiento de la aceleración es el NI 9234, debido a que cumple con los requerimientos de funcionamiento y presenta las siguientes características:

- Resolución: 24 bits.
- Canales con filtro anti-aliasing: 4.
- Entradas analógicas:  $\pm 5V$ .
- Velocidad de muestreo: 51.2 kS/s (ajuste automático).
- Rango de operación: Amplio.
- Compatible con sensores “TEDS”.
- Incorpora acoplamiento de AC/DC y acondicionamiento de señales IEPE.
- El canal de entrada mide las señales simultáneamente.
- Procesamiento para monitoreo de condiciones como análisis de frecuencia y rastreo de orden.



**Figura 51-3:** Módulo NI-9234.

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/204481/#>

El módulo a usar para el tratamiento de la deformación es el NI 9237 el cual presenta las siguientes características:

- Resolución: 24 bits.
- Entradas analógicas:  $\pm 25$  mV/V.
- Velocidad de muestreo: 50kS/s, 4 muestreos simultáneos de entradas analógicas.
- Rango de operación: -40 a 70 °C.

- Compatible con sensores “TEDS”.
- Excitación interna sobre los 10 V.
- Programable con medio puente y puente completo de Wheatstone.



**Figura 52-3:** Módulo NI-9237.

**Fuente:** <https://www.ni.com/es-cr/support/model.ni-9237.html>

### 3.3.3 Descripción de los elementos de conexión

#### 3.3.3.1 Accesorios de conexión NI 9944.

Con este elemento se logra la conexión entre el módulo y la galga extensiométrica, adecuado para cuarto de puente de Wheatstone.



**Figura 53-3:** Accesorio NI 9944.

**Fuente:** (National Instruments [sin fecha])

#### 3.3.3.2 Cable RJ50.

Conector estándar cuyo extremo posee señales divididas conocidas como espirales.

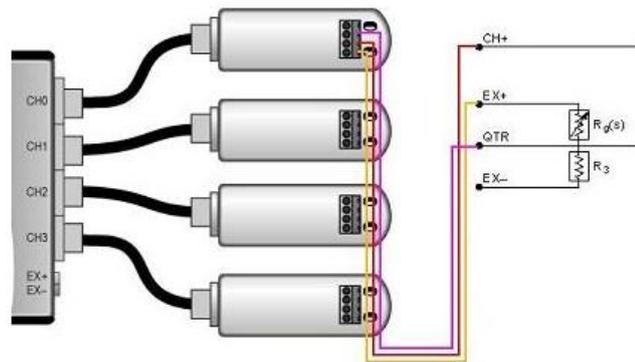
#### 3.3.3.3 Cable coaxial.

Este cable consta de un material anticorrosivo retardador del fuego de su cubierta por lo que es ideal para instalaciones fijas como en edificios públicos y en instalaciones gubernamentales. Posee las siguientes características:

- Resistencia del conductor:  $<85\text{Ohm/km}$ .
- Resistencia del aislamiento:  $<10\text{GOhm/km}$ .
- Atenuación: a  $1\text{MHz}$   $<3.5\text{dB/km}$ .
- Impedancia:  $110\text{Ohm} \pm 2\%$ .
- Rango de temperatura:  $-5^\circ\text{C}$  a  $+50^\circ\text{C}$ .
- Diámetro exterior:  $5\text{mm}$ .
- Capacidad de corriente:  $25^{\text{a}}$

### 3.3.4 Conexión de los módulos a los sensores.

Una vez determinado el número de sensores, se conecta del accesorio NI 9944 (al tratarse de una conexión de cuarto de puente de Wheatstone), como se indica a continuación.



**Figura 54-3:** Conexión 1/4 de puente Wheatstone - accesorio NI 994.  
Fuente: (National Instruments 2020)

En el extremo contrario se conecta directamente al canal del módulo NI9237

## 3.4 Software Labview

### 3.4.1 Librerías/controladores

Previo a la utilización del software DAQ, es necesario instalar el entorno de desarrollo de aplicación que para este trabajo se hará uso de LabVIEW y después su software controlador, NI-DAQmx. En la página de NI se dispone de una tabla en la cual se puede conocer las versiones compatibles entre ambas partes.

**Tabla 7-3:** Versiones compatibles entre NI-DAQmx y LabVIEW.

NI-DAQmx Version	LabVIEW/LabVIEW Real-Time Version								
	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
20.0									
19.6									
19.5									
19.1									
19.0									
18.6									
18.5									
18.1									
18.0									
17.6									
17.5									
17.1.1									
17.1									
17.0									

**Fuente:** <https://www.ni.com/content/ni/locales/es-cr/support/documentation/compatibility/16/ni-daqmx-and-labview-compatibility.html>

La versión de LabVIEW 17.0 es compatible con la versión 17.0 de NI-DAQmx. Al trabajar con versiones no compatibles tanto de LabVIEW como del software controlador, se presentarán ciertos errores.

### 3.5 Programación

La programación se lleva a cabo mediante el software LabVIEW, el cual facilita el desarrollo de un programa para la adquisición de las señales de aceleración y deformación unitaria, además de su manejo y representación de forma gráfica, con el fin de generar las respectivas interpretaciones.

#### 3.5.1 Descripción de entradas y salidas

En las siguientes tablas se indican las entradas y salidas que se refiere a los controles e indicadores, respectivamente, que se usaron para introducir y presentar datos y resultados en pantalla.

**Tabla 8-3:** Entradas presentes en la pestaña de portada

<b>Portada</b>		
<b>Tipo de objeto</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Función</b>
Controlador	Cadena de caracteres	Ingreso del nombre de carpeta a guardar datos
Indicador	Cadena de caracteres	Selección del nombre de la carpeta
Indicador	Cadena de caracteres	Indica la carpeta seleccionada
Controlador	Booleano	Inicio de la prueba

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

**Tabla 9-3:** Entradas y salidas presentes en la pestaña de prueba.

<b>Prueba</b>		
<b>Tipo de objeto</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Función</b>
Controlador	Booleano	Inicio de la medición
Indicador	Numérico	Número de pruebas
Indicador	Numérico	Tiempo transcurrido
Indicador	Numérico	Muestras
Controlador	Numérico	Ingreso del valor de módulo de elástico
Controlador	Numérico	Ingreso del valor de factor
Indicador	Numérico	Valor de deformación 1
Indicador	Numérico	Valor de deformación 2
Indicador	Numérico	Valor de deformación 3
Indicador	Numérico	Valor de deformación 4
Indicador	Numérico	Valor de esfuerzo 1
Indicador	Numérico	Valor de esfuerzo 2
Indicador	Numérico	Valor de esfuerzo 3
Indicador	Numérico	Valor de esfuerzo 4
Indicador	Gráfico	Curva deformación 1 vs tiempo
Indicador	Gráfico	Curva deformación 2 vs tiempo
Indicador	Gráfico	Curva deformación 3 vs tiempo
Indicador	Gráfico	Curva deformación 4 vs tiempo

**Tabla 3-3 (Continúa):** Entradas y salidas presentes en la pestaña de prueba.

Indicador	Gráfico	Curva aceleración media vs tiempo
Indicador	Gráfico	Curva aceleración Pitágoras vs tiempo
Controlador	Booleano	Detener medición
Controlador	Booleano	Volver a Portada

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.5.2 Descripción del panel frontal.

A continuación, se ubica los controles e indicadores previamente mostrados dando como resultado las siguientes pantallas:

- Portada: Se ingresa el nombre de la carpeta que contendrá las pruebas a realizarse. Una vez ingresado el nombre seleccionar de la lista desplegable caso contrario seleccionar una carpeta cuyo nombre ya se ingresó en pruebas anteriores. Se indica la carpeta seleccionada, con lo que se podrá seguir con la prueba.



**Figura 8-3:** Portada – LabVIEW.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

- Prueba: Se visualiza el número de prueba a ejecutarse, las muestras registradas y el tiempo que dura el ensayo. Antes de iniciar con la medición, se debe ingresar el módulo de Young para cálculo del esfuerzo y un factor de amplitud de onda para la curva de aceleración.



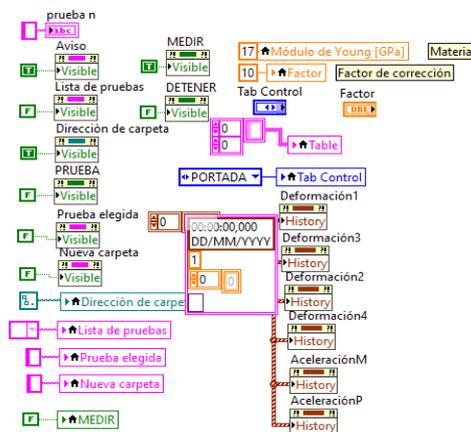
**Figura 55-3:** Ventana de prueba – LabVIEW.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.5.3 Descripción de diagrama de bloques

En la ventana de diagrama de bloques, se presenta los terminales de cada uno de los elementos ubicados en las pantallas de panel frontal, estos están unidos mediante conectores y además incluye las estructuras, funciones y otros elementos virtuales necesarios para cumplir con una función específica.

#### 3.5.3.1 Inicialización de variables y constantes

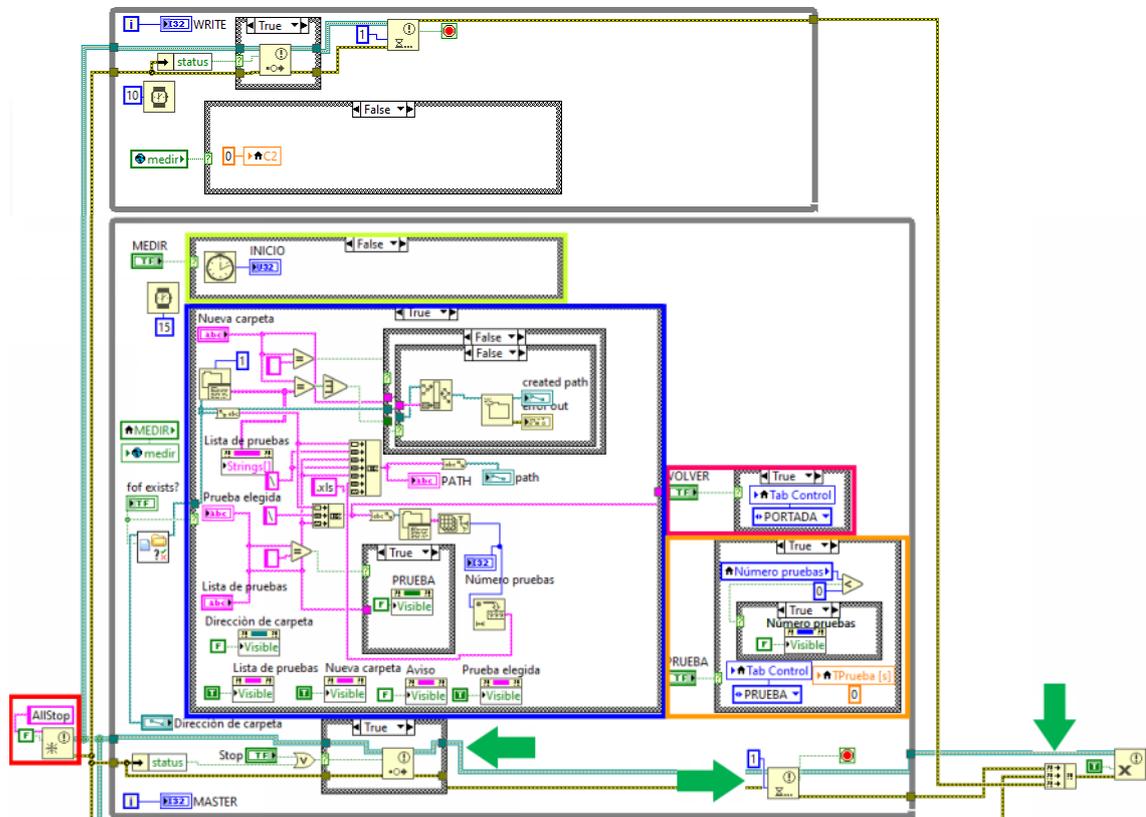
Previo a iniciar la medición, LabVIEW ejecuta en primer lugar los comandos que estén fuera de un ciclo, por lo tanto, se ubica fuera del ciclo While Loop cada uno de los indicadores y graficadores que se usan en la programación con el fin de establecer valores iniciales de sus variables y constantes.



**Figura 56-3:** Inicialización de objetos.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.5.3.2 Ingreso y selección de pruebas

El ingreso y selección de pruebas consta de varios procesos, los cuales se señalan a continuación:



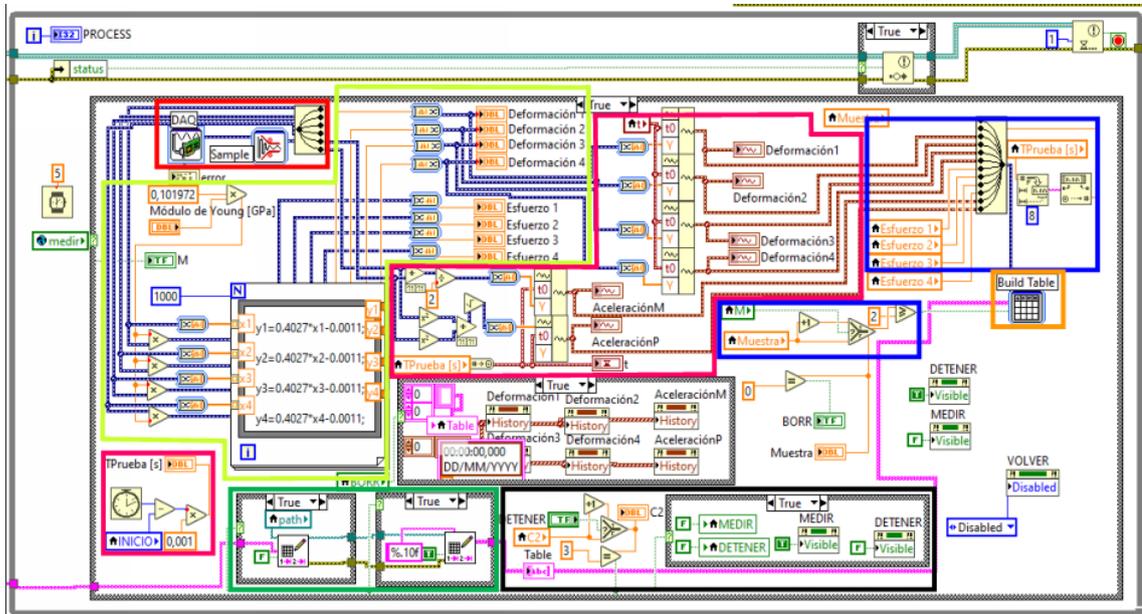
**Figura 57-3:** Diagrama de bloques para el ingreso y selección de pruebas.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

- Bloque de notificación para detener todos los ciclos de repetición (-).
- Contador de tiempo para determinar el tiempo de inicio de la prueba (-).
- Bloque que actúa sobre el botón “*volver*”, donde se presentará la primera página (-).
- Bloque de discriminación, creación y selección de carpetas donde la interfaz de ingreso se realiza al elegir una carpeta base y crear o seleccionar una carpeta ya creada en dicha carpeta base (-).
- Bloque que actúa sobre el botón de realizar prueba “*Prueba*”, que nos permite cambiar de la página de ingreso a la página prueba (-).
- Controles de recepción de notificación al pulsar el botón STOP que detendrá todos los ciclos de repetición (-).

### 3.5.3.3 Medición de aceleración y deformación

El diagrama de bloque para la toma de medidas de aceleración y deformación está comprendido de varios procesos, los cuales se señalan a continuación:



**Figura 58-3:** Diagrama de bloques para ejecutar las mediciones.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

- Configuración de la herramienta DAQ Assistant, la cual nos permite comunicar las galgas y acelerómetros con el software por medio de módulos especializados para cada variable. Luego de configurar cada módulo, se comprime y divide las señales en canales para poder operar sobre ellas (-).
- Al separar los canales, se diferencian las señales de aceleración y deformación. Por medio de operaciones se encuentra los esfuerzos que corresponde a la deformación arrojada por las galgas así como el ingreso de ecuaciones de corrección previamente calculadas (-).

De esta forma se obtiene los valores escalares de deformación, esfuerzo y promedio de aceleración.

- Los valores de aceleración y deformación se los pasa a régimen temporal relativo mediante la resta del tiempo inicial de prueba y el tiempo actual (-).
- Se inicia un contador de muestras, uniendo las variables que necesitan ser almacenadas (-).
- Se las añade a una tabla que las almacena según el tiempo de captura de datos y se establece el nombre de las columnas del archivo de datos que será guardado (-).

Columnas	Abc
0	Muestra
	Tiempo
	Deformación 1
	Deformación 2
	Deformación 3
	Deformación 4
	Esfuerzo 1
	Esfuerzo 2
	Esfuerzo 3
	Esfuerzo 4
	Aceleración M
	Aceleración P

**Figura 59-3:** Nombre de columnas.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

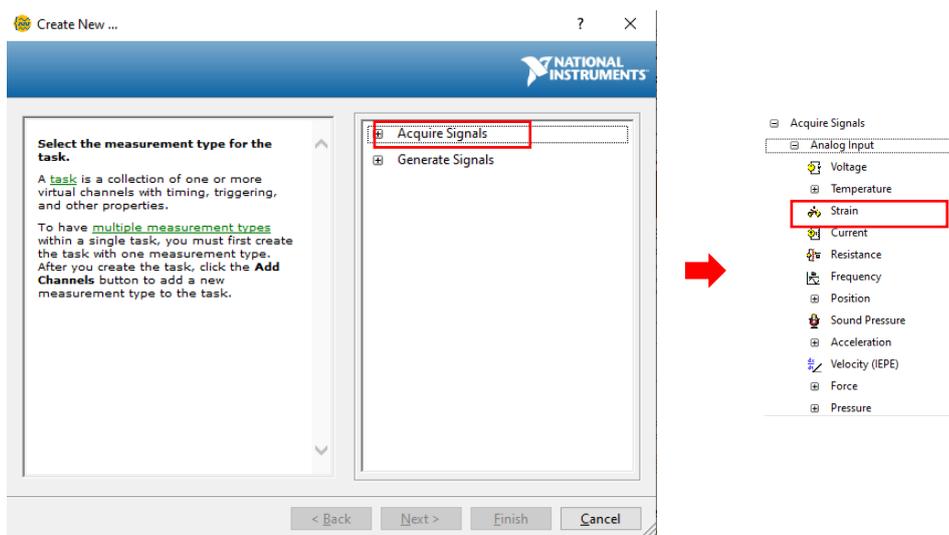
- Bloques para guardar la tabla creada y guardar nuevos archivos en orden según la disposición de la carpeta (-).
- Bloque de detención de captura de datos y reseteo, el cual detendrá el proceso de medición y permitirá la disposición para realizar la próxima medición (-).

### 3.6 Configuración de la DAQ

El software controlador del dispositivo DAQ en LabVIEW, NI-DAQmx posee un asistente “DAQ assistant”, el cual es una herramienta para el control del dispositivo DAQ de National Instruments. A continuación se describe el procedimiento para su configuración.

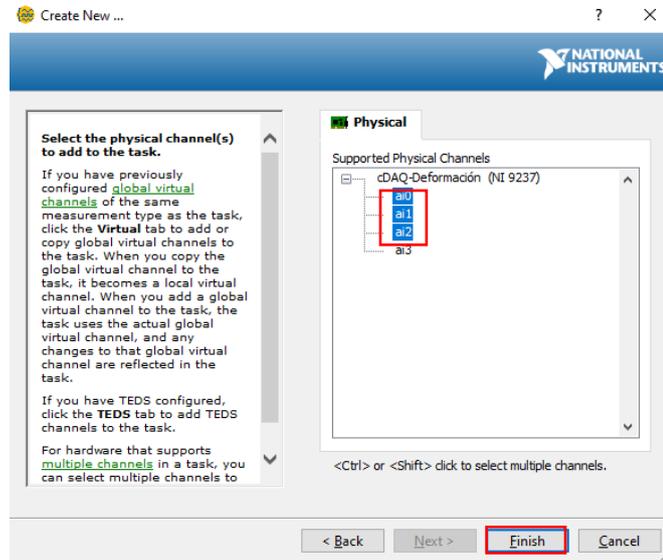


- 1) Dar doble clic en su ícono. Al tratarse de una adquisición de datos, desplegar *Acquire Signals*; desplegar *Analog Input* y seleccionar *Strain*.



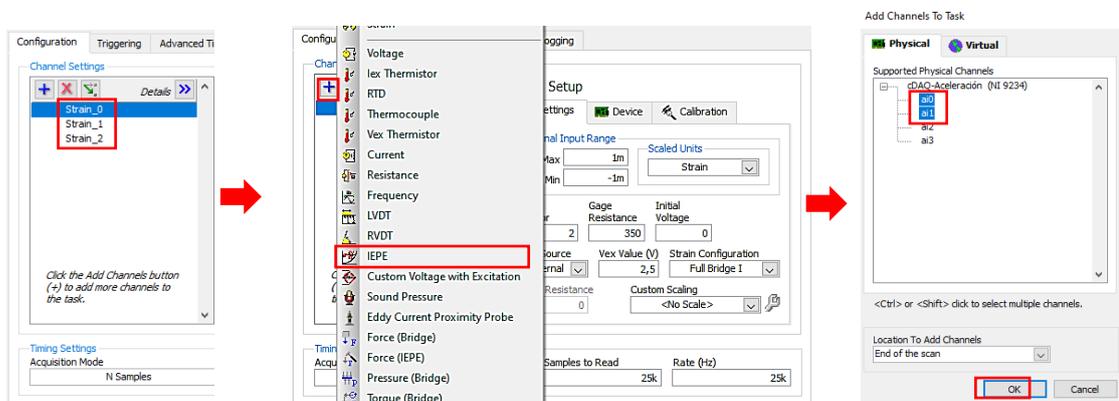
**Figura 60-3:** Adquisición de señales.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

- 2) En la pestaña que se despliega, se identifica el módulo apto para deformaciones y sus respectivos canales. Seleccionar el número de canales a usar y clic en *Finalizar*



**Figura 61-3:** Selección - Canales de deformación.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

- 3) En la siguiente ventana, se visualiza los canales seleccionados para medir deformación. Ahora, se debe añadir los canales de aceleración dando clic en **+**, luego en **IEPE** y una vez seleccionados clic en ok.



**Figura 62-3:** Selección - Canales de aceleración.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

- 4) Se ingresa el valor de los parámetros que se describen a continuación

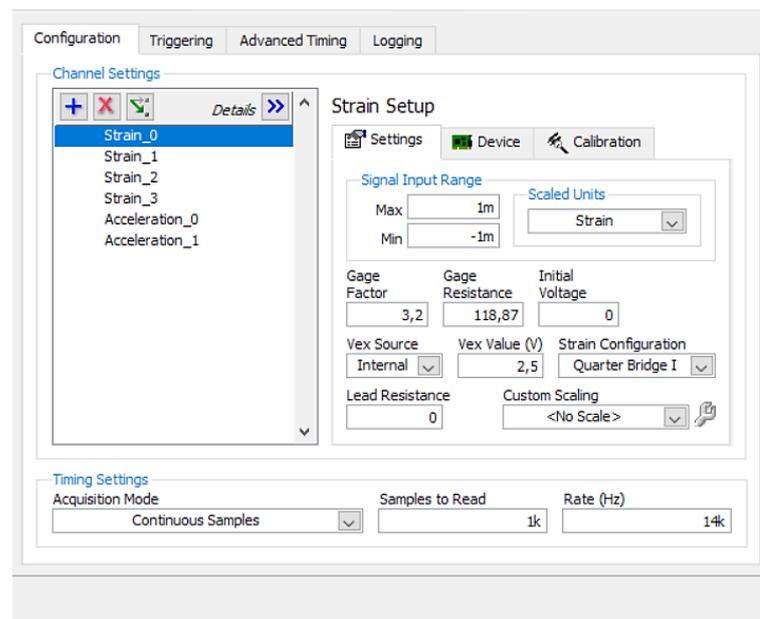
- *Signal Input Range*: Rango que establece la escala de la medición esperada. Es recomendable dejarlo por defecto.
- *Scaled Units*: La escala de las unidades de la variable a medir, dejarlo por defecto en el caso de la deformación; caso contrario en la aceleración, seleccionar  $m/s^2$ .

- *Sensitivity*: Este parámetro establece la sensibilidad del sensor ocupado, como se mencionó en el fundamento teórico este dato se encuentra en las especificaciones del sensor utilizado.
- *Sensitivity Units*: Unidades del sensor usado, dejarlo por defecto.

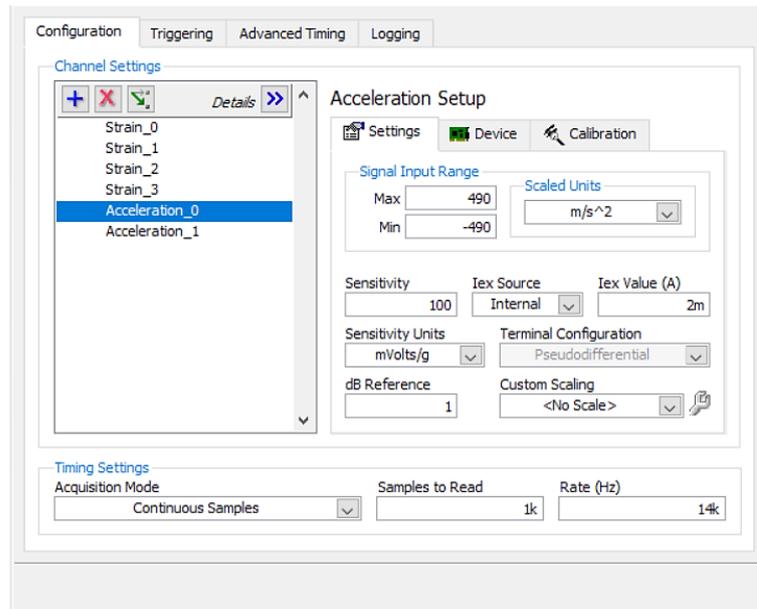
Los siguientes parámetros establecen la forma de adquisición de las señales:

- *Acquisition mode*: Con el fin de adquirir una señal de forma continua, se selecciona *Continuous samples*.
- *Samples to read*: Se refiere al número de muestras que el módulo va a leer para describir la señal adquirida. Se ha establecido muestrear 1000 muestras.
- *Rate*: Se refiere a la frecuencia de muestreo. Partiendo de las 1000 muestras a leer, según el teorema de muestreo se requiere una frecuencia mínima de 2 KHz para producir un registro confiable de la forma de la onda. Tomándose, por lo tanto una frecuencia de 14 KHz

Una vez establecido la frecuencia de muestreo así como el número de muestras, se dice que la tarjeta toma la amplitud de la señal se da cada 1/Rate (segundos). Es decir, cada 0.000071 segundos.



**Figura 63-3:** Parámetros DAQ – deformación.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.



**Figura 64-3:** Parámetros DAQ – aceleración.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.7 Calibración de la lectura de datos

#### 3.7.1 *Sensores de aceleración*

Para calibrar la lectura de datos por parte de los acelerómetros, se considera un prototipo a escala 5:1 de acero ASTM A36 con perfiles rectangulares semejantes a los perfiles usados al péndulo real.



**Figura 65-3:** Péndulo de impacto – Prototipo.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

A los sensores se los dispone de modo que se considere la aceleración tangencial la cual se origina al seguir la trayectoria de la curva generada por el péndulo durante el ensayo, asemejándose a lo que se conoce como péndulo simple.



**Figura 66-3:** Ubicación del acelerómetro en prototipo.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Generalmente, los acelerómetros se suministran debidamente calibrados. Si se emplean en sus condiciones normales de operación, es decir, no se someten a impactos muy elevados ni a golpes, no se encuentran expuestos a elevadas temperaturas ni radiaciones, etc., sus características prácticamente no varían incluso en períodos de varios años (Operacional 2005).

Existen calibradores que producen vibraciones justo a un nivel conocido para que se pueda comparar dicho nivel con el que mide el acelerómetro que se desea calibrar.

La mayoría de los transductores comerciales se suministran con certificados de calibración, pero es recomendable realizar un ensayo antes de comenzar a utilizarlo por varias razones:

#### 3.7.1.1 *Ensayo Estático*

Entre las cualidades más destacables de un acelerómetro piezoeléctrico, es que su voltaje se mantiene invariante e independiente del ángulo de inclinación, en otras palabras, al mantenerse estático en el punto más bajo y más alto los cuales son a los ángulos de cero y noventa grados la lectura del acelerómetro debe ser cero.



**Figura 67-3:** Angulos maximos y minimo.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.



**Figura 68-3:** Lectura de datos.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

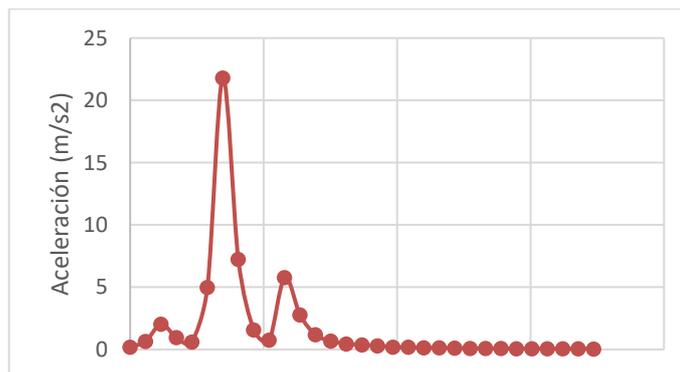
Los valores que se obtienen mediante el sistema de adquisición de datos, confirman una señal que se estabiliza constantemente en un valor de amplitud de cero, corroborando el funcionamiento adecuado del acelerómetro.

### 3.7.1.2 *Ensayo dinámico*

Mediante esta prueba funcionamiento del sensor se revisará el correcto funcionamiento del mismo en base a una comparación entre graficas obtenidas por el sistema de adquisición de datos en un rango de alturas de 20 cm a 45 cm.

#### **Altura: 20 cm**

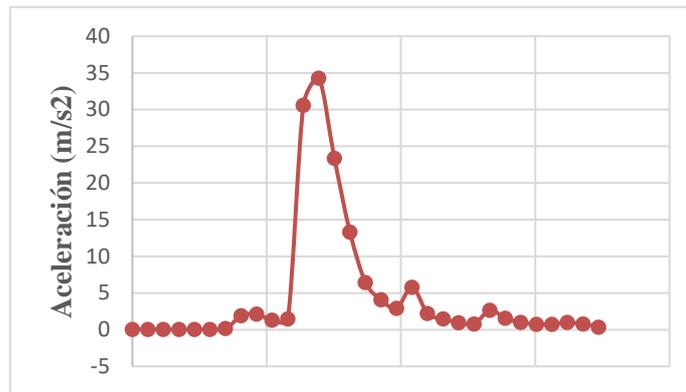
- Amplitud: 21.8084



**Gráfico 1-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 1\_Altura: 20cm.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

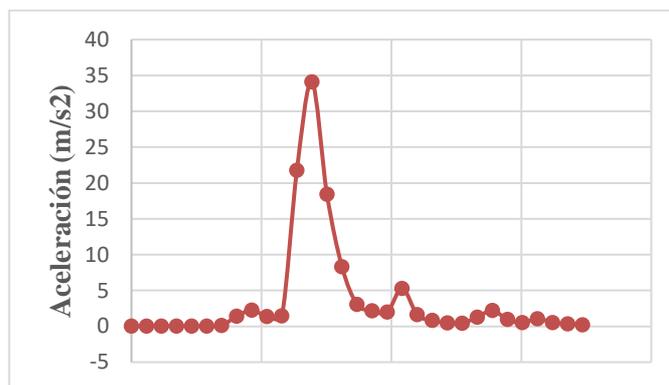


- Amplitud: 34.299



**Gráfico 5-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 2\_Altura: 25cm.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

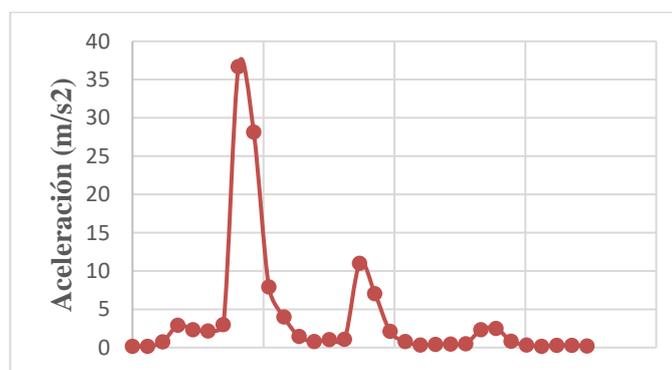
- Amplitud: 34.1202



**Gráfico 6-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 3\_Altura: 25cm.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

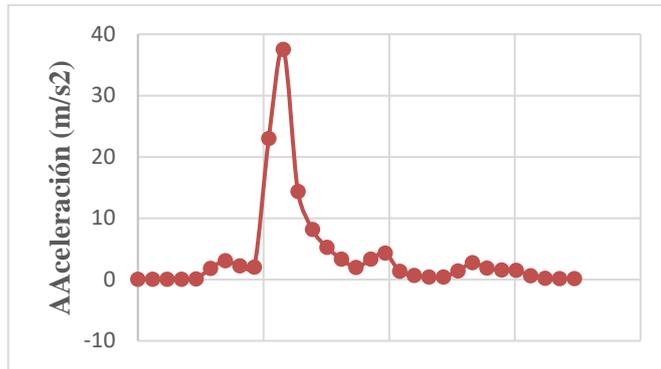
**Altura: 30 cm**

- Amplitud: 36.7047 – 37.5087 – 36.8517



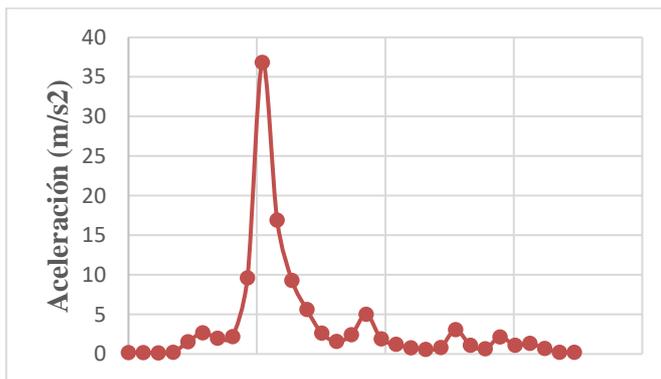
**Gráfico 7-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 1\_Altura: 30cm.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

- Amplitud: 37.5087



**Gráfico 8-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 2\_Altura: 30cm.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

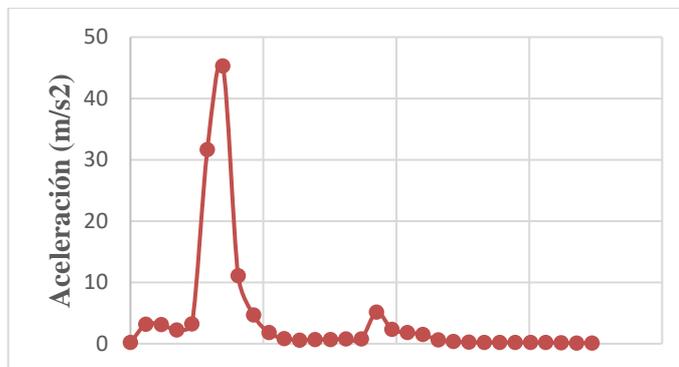
- Amplitud: 36.8517



**Gráfico 9-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 3\_Altura: 30cm.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

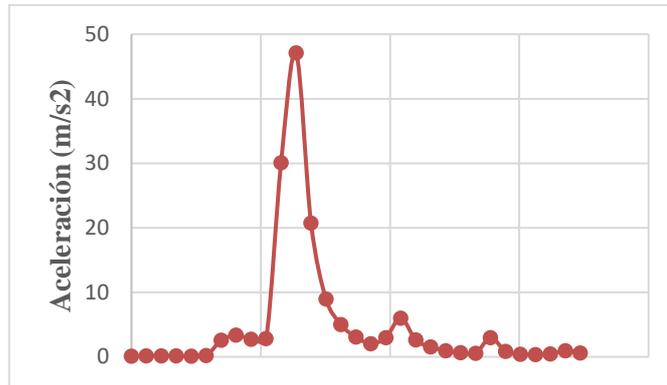
**Altura: 35 cm**

- Amplitud: 45.2791



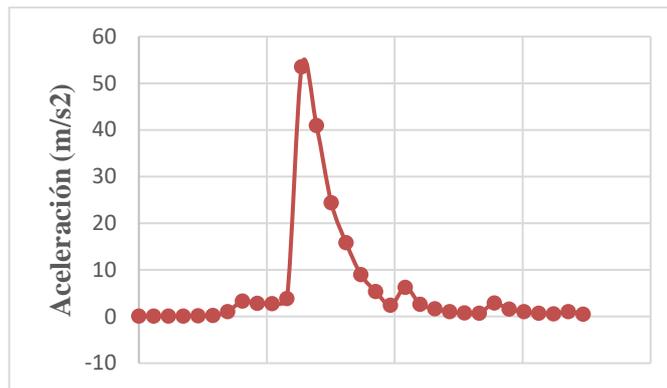
**Gráfico 10-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 1\_Altura: 35cm.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

- Amplitud: 47.0904



**Gráfico 11-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 2\_Altura: 35cm.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

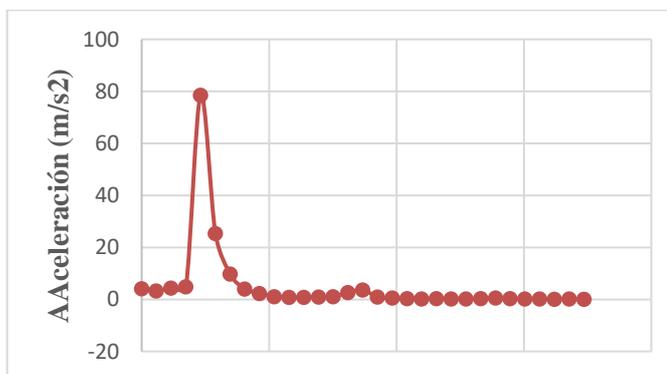
- Amplitud: 53.5586



**Gráfico 12-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 3\_Altura: 35cm.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

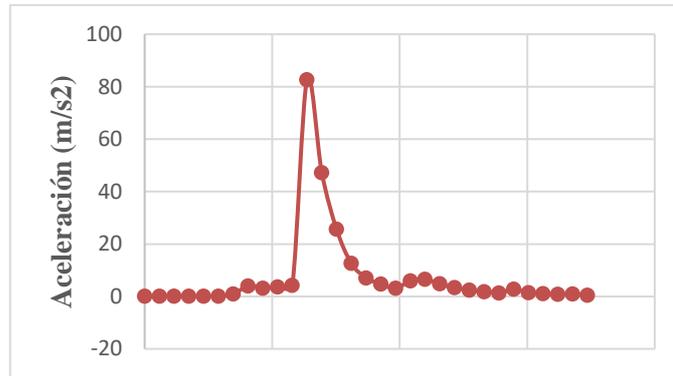
**Altura: 40 cm**

- Amplitud: 78.5201



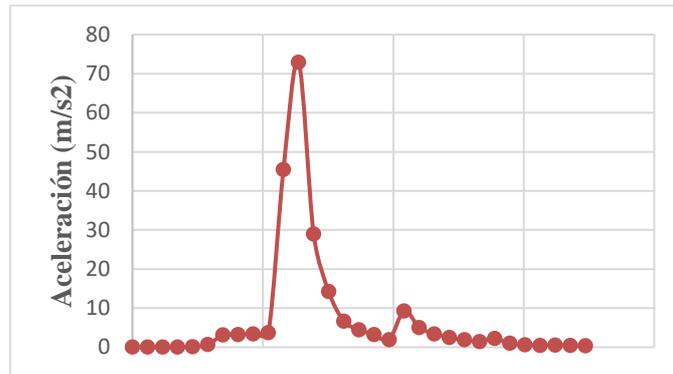
**Gráfico 13-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 1\_Altura: 40cm.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

- Amplitud: 82.6715



**Gráfico 14-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 2\_Altura: 40cm.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

- Amplitud: 72.9283

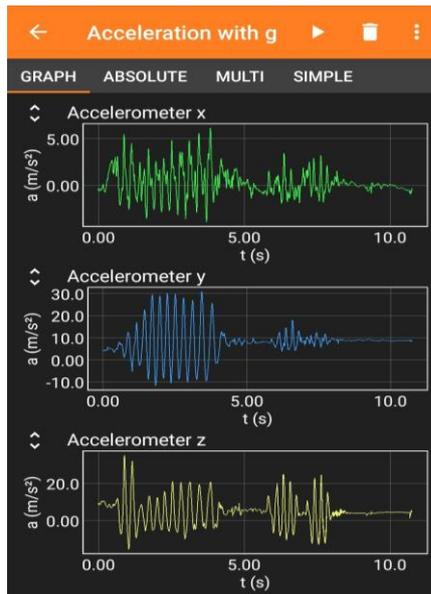


**Gráfico 15-3:** Aceleración vs Tiempo – Prueba 3\_Altura: 40cm.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Dado que las graficas reflejan un similitud con un rango muy pequeño de error entre cada medida definida para una altura especifica, se comprueba el sensor mantiene medidas constantes considerando una calibracion de muestras para una frecuencia de 51kHz como se recomienda para este tipo de sensor.

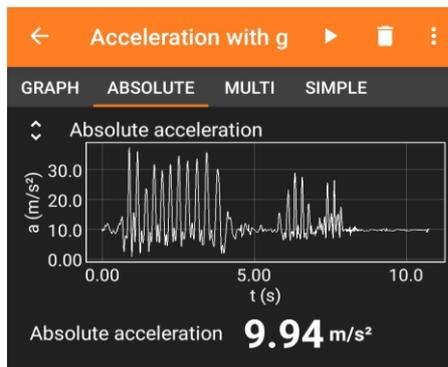
### 3.7.1.3 Datos obtenidos con Phypox

Se analiza la aceleración con la gravedad, para lo cual se cuenta con un acelerómetro tri-axial en donde se puede tener valores en los tres diferentes ejes (x, y, z)



**Figura 69-3:** Formatos de exportación de datos.  
 Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

A continuación, se puede visualizar la aceleración absoluta definiendo la aceleración total, en donde podemos considerar los picos de aceleración general y el valor de aceleración absoluta.



**Figura 70-3:** Formatos de exportación de datos.  
 Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

En el tercer apartado podemos visualizar las tres aceleraciones de los distintos ejes, graficados en un mismo eje de referencia lo cual nos permite analizar la incidencia de la aceleración en cada eje.



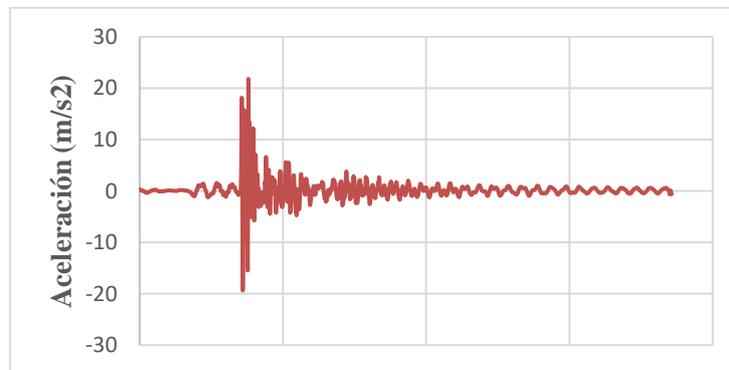
**Figura 71-3:** Formatos de exportación de datos.  
 Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.7.1.4 Comparación de datos entre Phyphox y Acelerómetro IMI-603C01

Para la prueba de funcionamiento se consideró la frecuencia de toma de datos por cada 5 milisegundos y sin considerar el valor de corrección de amplitud de 10 para la señal como el ensayo realizado anteriormente, para lo cual se varió la escala en el sistema de adquisición de datos debido a que encontraba programado con una frecuencia de toma de datos por cada milisegundo.

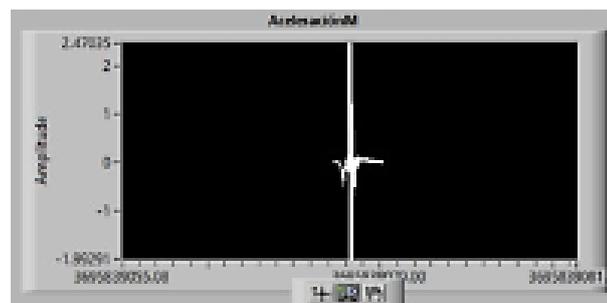
#### Prueba 1

- Distancia al eje: 16 cm
- Angulo de elevación: 11.76



**Gráfico 16-3:** Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 16cm.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

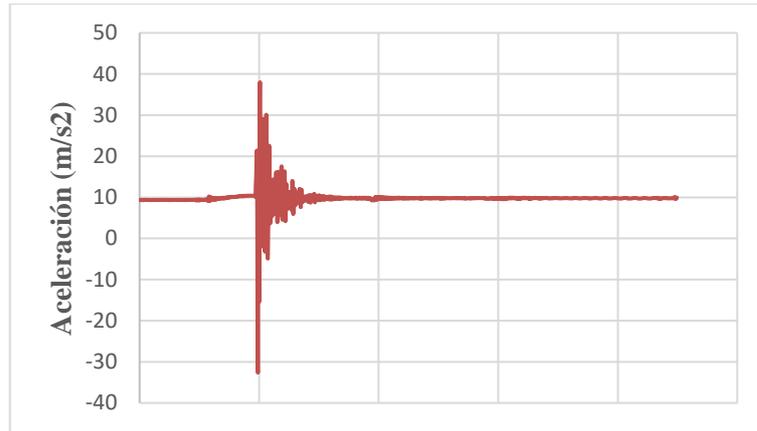


**Figura 72-3:** Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 16cm.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

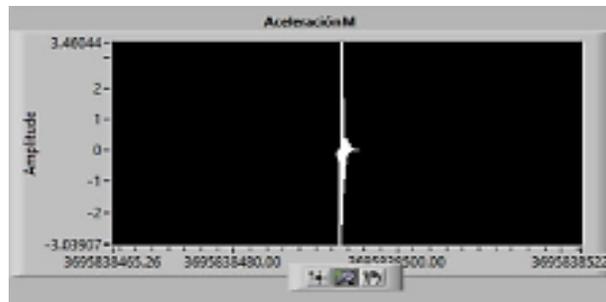
#### Prueba 2

- Distancia al eje: 20 cm
- Angulo de elevación: 14.76



**Gráfico 17-3:** Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 20cm.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.



**Figura 73-3:** Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 20cm.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

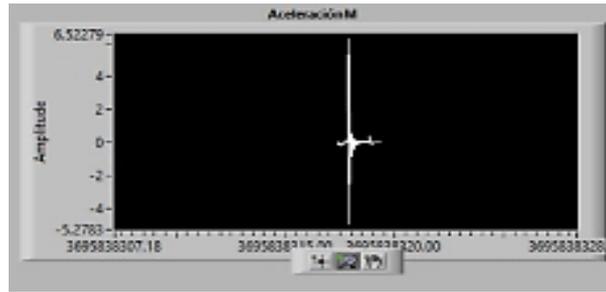
### Prueba3

- Distancia al eje: 30cm
- Angulo de elevación: 22.47



**Gráfico 18-3:** Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 30cm.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.



**Figura 74-3:** Aceleración vs Tiempo - Distancia al eje: 30cm.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Entre cada grafica existen desfases, las mismas que se debe a las atenuaciones debidas al diseño del Smartphone el mismo que está diseñado para absorber parte de los impactos efectuados sobre el mismo evitando que este último se vea afectado íntegramente. Por otra parte, el sensor de aceleración está en contacto directo para la toma de datos de aceleración, lo cual hace que se presente este desfase entre los picos.

Los valores tomados para la comparación se lo realizo sin el factor de compensación de amplitud de 10, el mismo que se lo coloco tentativamente para el primer ensayo, para obtener así la relación entre aptitudes más acertada.

**Tabla 10-3:** Comparación entre Phyphox y el sistema de adquisición.

	<b>Phyphox</b>	<b>sin gravedad</b>	<b>Sistema de adquisición de datos</b>	<b>Error</b>	<b>Factor corrección</b>
Máximo positivo	21,82723618	2,2250	2,47825	10,00	9,81
Máximo negativo	-19,38605118	-1,9762	-1,99295	0,8	9,81
Máximo positivo	37,9945	3,8730	3,4654	8,00	10
Máximo negativo	-32,6217	-3,3254	3,4654	8,00	10
Máximo positivo	69,9123764	7,1266	6,52279	8,47	10
Máximo negativo	-59,67695618	-6,0833	-5,2783	13,234	10

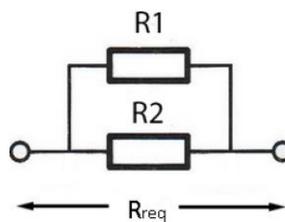
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Los valores tomados para la comparación, se lo realizo sin el factor de compensación de amplitud de 10, debido a que este factor de compensación asemeja a un acelerómetro capacitivo el mismo que considera el valor de la gravedad en cada ángulo de inclinación.

### 3.7.2 Sensores de deformación

#### 3.7.2.1 Circuito divisor de resistencia

El accesorio de conexión NI 9944 permite la conexión entre el módulo NI 9237 y una galga extensiométrica de  $120\Omega$ , pero debido a que las galgas que se disponía son de  $350\Omega$ , fue necesario aplicar un divisor de resistencia con el objetivo de acercarse a los  $120\Omega$  requeridos. Por lo tanto, se trata de hallar una resistencia que al conectarse en paralelo con la resistencia de  $350\Omega$  se obtenga una resistencia equivalente de  $120\Omega$ , valor aceptable por el accesorio de conexión NI 9944. Para ello partiendo de la expresión de suma de resistencias en paralelo, se tiene:



**Figura 75-3:** Divisor de resistencia.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

$$\frac{1}{R_{req}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Donde:

$R_{req}$ : Resistencia requerida,  $120\Omega$

$R_1$  : Resistencia de la galga,  $350\Omega$

$R_2$  : Resistencia buscada

Por lo tanto:

$$\frac{1}{120\Omega} = \frac{1}{350\Omega} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{120\Omega} - \frac{1}{350\Omega}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{120\Omega} - \frac{1}{350\Omega}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{23}{4200}$$

$$R_2 = 182.6087\Omega$$

La resistencia que se necesita para obtener una resistencia requerida de  $120\Omega$  a sido de  $182.6087\Omega$ , pero dado que esta resistencia no existe, se la reemplaza por una comercial de  $180\Omega$ .

En el menú de calibración de la galga de la DAQ, se debe ingresar el valor exacto de la resistencia real de la galga, una vez aplicado el arreglo mencionado. Por lo tanto es necesario realizar un recalcu de este valor.

$$\frac{1}{R'_{req}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Donde:

$R'_{req}$ : Resistencia requerida real

$R_1$  : Resistencia de la galga,  $350\Omega$

$R_2$  : Resistencia comercial  $180\Omega$

Entonces:

$$\frac{1}{R'_{req}} = \frac{1}{350\Omega} + \frac{1}{180\Omega}$$

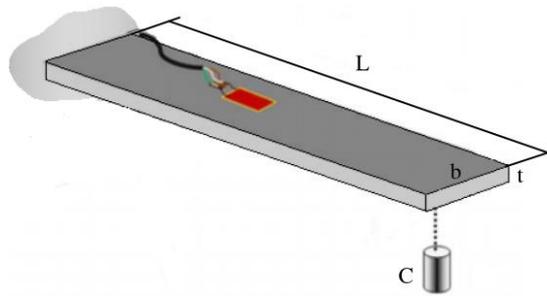
$$\frac{1}{R'_{req}} = \frac{53}{6300}$$

$$R'_{req} = 118.8679\Omega$$

El valor de resistencia de la galga a ingresar en la DAQ será de  $118.8679\Omega$ .

### **3.7.3 Instalación mecánica de la galga extensiométrica**

Para la calibración del sistema para la deformación se realizó una instalación mecánica como se muestra en la figura 2-4



**Figura 76-3:** Viga empotrada a flexión.

Fuente: (San Martín 2013)

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Donde:

$L$ : Longitud de la platina, 500mm

$b$ : Ancho de la platina, 25mm

$t$ : Espesor de la platina, 3mm

$C$ : Pesa aplicada

La platina esta empotrada en uno de sus extremos mediante 2 prensas tipo C de cuatro (amarilla) y tres (negra) pulgadas, respectivamente.



**Figura 31-3:** Empotramiento del prototipo.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

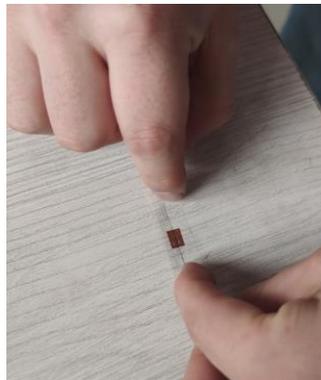
A continuación, se detalla el procedimiento que se realizó para la instalación de una galga:

1. Preparar la superficie de instalación de la galga, asegurándose de quitar toda partícula de grasa, polvo, etc. con algún agente externo para limpiar y el uso de lijas 320 y 400 para su acabado. Una vez que se obtenga una superficie uniforme, limpiarla con alcohol o acetona y secar.



**Figura 32-3:** Limpieza de superficie.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

2. Sujetar la galga con la ayuda de cinta adhesiva, previo a ello, se debe trazar una línea en la cinta que permita centrar la galga, lo que servirá como guía para el siguiente paso.



**Figura 33-3:** Líneas de orientación.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

3. Una vez ubicada la galga sobre la cinta, trazar líneas de referencia en la probeta para el centrado de la galga, iniciar pegando un extremo de la misma con el fin de dejar expuesto la parte inferior de la galga para el siguiente paso.



**Figura 34-3:** Ubicación de la galga.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

- Colocar una pequeña cantidad de pegamento Super Bonder (Brujita) a la galga y pegarla a la superficie ayudándose de la cinta que la sostenía. Se recomienda calentar la superficie pegada con un secador, para acelerar la reacción generada por el pegamento.



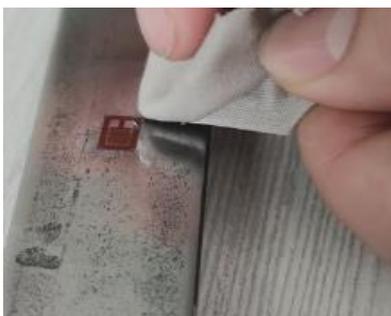
**Figura 35-3:** Pegado de la galga.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

- Finalmente, una vez pegado se debe retirar la cinta, hacerlo despacio con el fin de despegar la cinta de la galga más no la galga de la superficie de la probeta.



**Figura 36-3:** Galga pegada.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

- En el caso de presenta residuos del adhesivo de la cinta sobre la superficie alrededor de la galga, se deberá remover dichos residuos con mucho cuidado de no afectar la posición de la galga o a la galga misma.



**Figura 37-3:** Limpieza del contorno.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

- Finalmente, soldar los cables de conexión a los pines de la galga; una vez soldado agregar una capa de resina epóxica para aislar y protegerla del medio.



**Figura 38-3:** Soldado de la galga.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

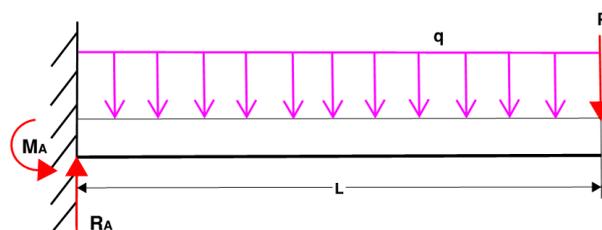
Una vez concluido este procedimiento se puede continuar con la conexión de la galga a su respectivo accesorio de conexión NI 9944, para la obtención de las lecturas. El prototipo final tiene la configuración de la figura....



**Figura 39-3:** Prototipo final para obtener lecturas de deformación.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.7.3.1 Cálculo de la deformación unitaria teórica

Para determinar la deformación unitaria del prototipo señalado, es necesario representarlo como una viga empotrada en la cual actúan cargas debido a: su propio peso, porta pesas y a las pesas que se ubicarán en su extremo.



**Figura 40-3:** Diagrama de fuerzas actuantes para la platina en voladizo.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Datos de las cargas actuantes:

- $P$  = Pesa "C" más peso porta pesas "c".
- $P'$  =Carga distribuida x longitud platina.
- Peso porta pesas =2.64 kg.
- Carga distribuida  $q = 0.00785 \text{ kg/cm}$ .

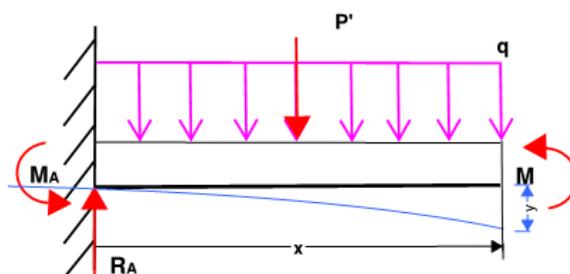
Reacción:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ R_A - P - P' &= 0 \\ R_A &= P + P' \\ R_A &= (C + c) + (q \cdot L)\end{aligned}$$

Momento:

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ M_A - P \cdot L - P' \cdot \frac{L}{2} &= 0 \\ M_A &= P \cdot L + P' \cdot \frac{L}{2} \\ M_A &= P \cdot L + (q \cdot L) \cdot \frac{L}{2} \\ M_A &= P \cdot L + q \cdot \frac{L^2}{2}\end{aligned}$$

Como ya se había definido en el capítulo 2, la deformación por flexión se ve influenciado por el momento flector de la sección analizada  $M$ , por lo tanto se tiene:



**Figura 41-3:** Diagrama para del cálculo del Momento Interno.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

$$\sum M = 0$$

$$M_A + M - R_A \cdot X + P' \cdot \frac{X}{2} = 0$$

$$M = R_A \cdot X - P' \cdot \frac{X}{2} - M_A$$

$$M = R_A \cdot X - (q \cdot X) \cdot \frac{X}{2} - M_A$$

$$M = -\frac{q \cdot X^2}{2} + R_A \cdot X - M_A$$

Para obtener la deformación unitaria, se calcula en primer lugar el esfuerzo y en este caso al tratarse de un comportamiento elástico, se hace uso de la fórmula de Hooke.

Esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I_z}$$

Donde:

$\sigma$  =Esfuerzo [ $N/m^2$ ].

$M$  =Momento flector [ $N \cdot m$ ].

$c$  =Distancia del eje neutro a la superficie [ $m$ ].

$I_z$  =Momento de inercia de la platina [ $m^4$ ].

Ley de Hooke

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

Donde:

$\varepsilon$  =Deformación unitaria

$E$  =Módulo de Young [ $N/m^2$ ]

Por lo tanto:

$$\frac{M \cdot c}{I_z} = \varepsilon \cdot E$$

$$\varepsilon = \frac{M \cdot c}{I_z \cdot E}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

A continuación, efectúa el cálculo con el primer peso usado (8oz), entendiendo que el procedimiento es igual para todos los pesos.

$$R_A = (C + c) + (q \cdot L)$$

$$R_A = (2.226 + 0.745)N + (6.276N/m)(0.475m)$$

$$R_A = (2.971 + 2.981)N$$

$$R_A = 5.952N$$

$$M_A = P \cdot L + q \cdot \frac{L^2}{2}$$

$$M_A = (2.971N)(0.475m) + (6.276N/m) \cdot \frac{(0.475m)^2}{2}$$

$$M_A = (1.411 + 0.708)Nm$$

$$M_A = 2.119Nm$$

$$M = -\frac{q \cdot X^2}{2} + R_A \cdot X - M_A$$

$$M = -\frac{(6.276N/m)(0.02)^2}{2} + (5.952N)(0.02m) - 2.119Nm$$

$$M = 2.001Nm$$

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I_z}$$

$$\sigma = \frac{(2.001Nm)(0.0015m)}{5.625 \times 10^{-11}}$$

$$\sigma = 0.0533 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{0.0533 \text{ GPa}}{205.9 \text{ GPa}}$$

$$\varepsilon = 0.0002589$$

En el Anexo E se da a conocer las fórmulas usadas en Excel para el cálculo analítico.

**Tabla 11-3:** Resultados del cálculo analítico.

Carga			Dist. medición (cm)	Dato teórico
Pesa (oz)	Pesa (kg)	Pesa (N)		
8	0.227	2.2261	2	0.0002589
10	0.2834	2.7792		0.0002914
12	0.338	3.3146		0.0003230
15.45	0.438	4.2953		0.0003808
15.9	0.451	4.4228		0.0003885

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.7.3.2 Obtención de datos experimentales.

**Tabla 12-3:** Resultados obtenidos con el sistema de adquisición.

Carga			Dist. medición (cm)	Datos experimentales (LABVIEW)		
Pesa (oz)	Pesa (kg)	Pesa (N)		Medición 1	Medición 2	Promedio
8	0.227	2.2261	2	0.003378	0.003326	0.003352
10	0.2834	2.7792		0.003445	0.003451	0.003448
12	0.338	3.3146		0.003453	0.003665	0.003559
15.45	0.438	4.2953		0.003673	0.003667	0.003670
15.9	0.451	4.4228		0.003655	0.003657	0.003656

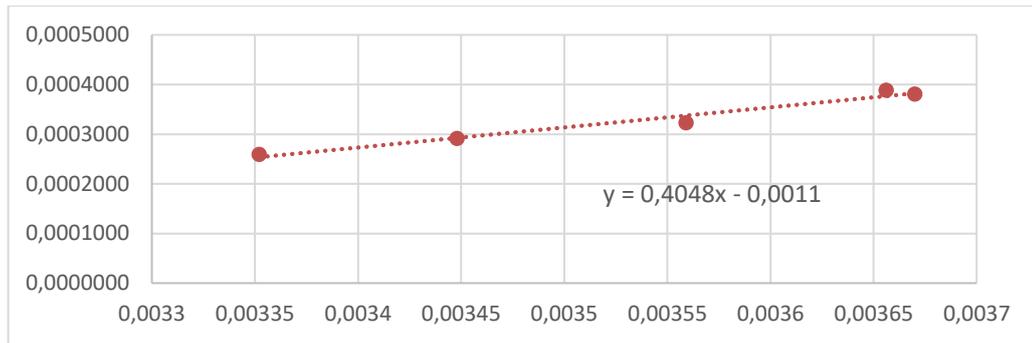
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.7.3.3 Factor de corrección

Debido a que el comportamiento de deformación está dentro del rango elástico Para calibrar la lectura de datos de deformación, se busca una ecuación de tipo lineal Para ello se grafica los valores teóricos en función de los datos experimentales.

De dicha grafica se encuentra una línea de tendencia cuya variable independiente será los datos experimentales. De esta forma al aplicar dicha ecuación se obtiene los datos corregidos que más se acerquen a los datos reales teóricos.

Al saber que la deformación está dentro del rango elástico, el comportamiento será lineal. Graficando los datos arrojados por el software se obtienen:



**Gráfico 19-3:** Ecuación de calibración.

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

La ecuación que rige el comportamiento lineal de la deformación es:

$$y = 0.4048X - 0.0011$$

Con dicha ecuación se reemplaza el valor de X por cada deformación obtenida por el software con el fin de aproximar de mejor manera a los valores teóricos.

**Tabla 13-3:** Aplicación de la ecuación de calibración.

<b>Dato promedio</b>	<b>Dato teórico</b>	<b>ECUACIÓN LINEAL</b>	<b>PORCENTAJE ERROR</b>
0.003352	0.0002640	0.00024985	5.36%
0.003559	0.0003282	0.000333209	1.53%
0.00367	0.0003859	0.000377909	2.07%
0.003656	0.0003934	0.000372271	5.37%

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.8 Diseño y construcción de la probeta para ensayos de validación

La probeta tiene una geometría que se asemeja a un lateral parte del armazón de un panel frontal en una carrocería de un bus. El perfil usado es un tubo cuadrado de acero estructural 50x50x2 de material ASTM A36 como se indica en el Anexo F, cuyas dimensiones y geometría se detallan en el Anexo L.



**Figura 42-3:** Llenado de arena previo al doblado.

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Para el doblado del tubo se considera una matriz cuadrada de dos pulgadas. Previamente al doblado del tubo, éste debe ser relleno con arena la misma que tiene como función impedir la deformación excesiva en la parte que tiene contacto directo con dicha matriz.



**Figura 43-3:** Doblado de tubos.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Una vez doblado los dos extremos de la probeta, se verifica la distancia entre estos, cuya distancia debe ser alrededor de 2.47 m; se suelda placas base a la probeta así como al porta-probetas.



**Figura 44-3:** Perforado de placas base.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Las placas se las centra en las bases de la probeta para la conexión perpendicular al portaprobetas.



**Figura 45-3:** Centrado de la placa base a la probeta.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.



**Figura 46-3:** Soldado de la placa base a la probeta.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Una vez soldado las bases a la probeta se retira la escoria y se pule para darle un mejor acabado.



**Figura 47-3:** Pulido de la superficie soldada.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Como paso final, se ubica la placa base a la porta probeta, la misma que permite fijar a las probetas durante el ensayo, esta adecuación se realiza dado que es una probeta diferente a la planificada para los ensayos de absorción de energía en diferentes materiales.



**Figura 48-3:** Ubicación de placa base al porta probetas.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

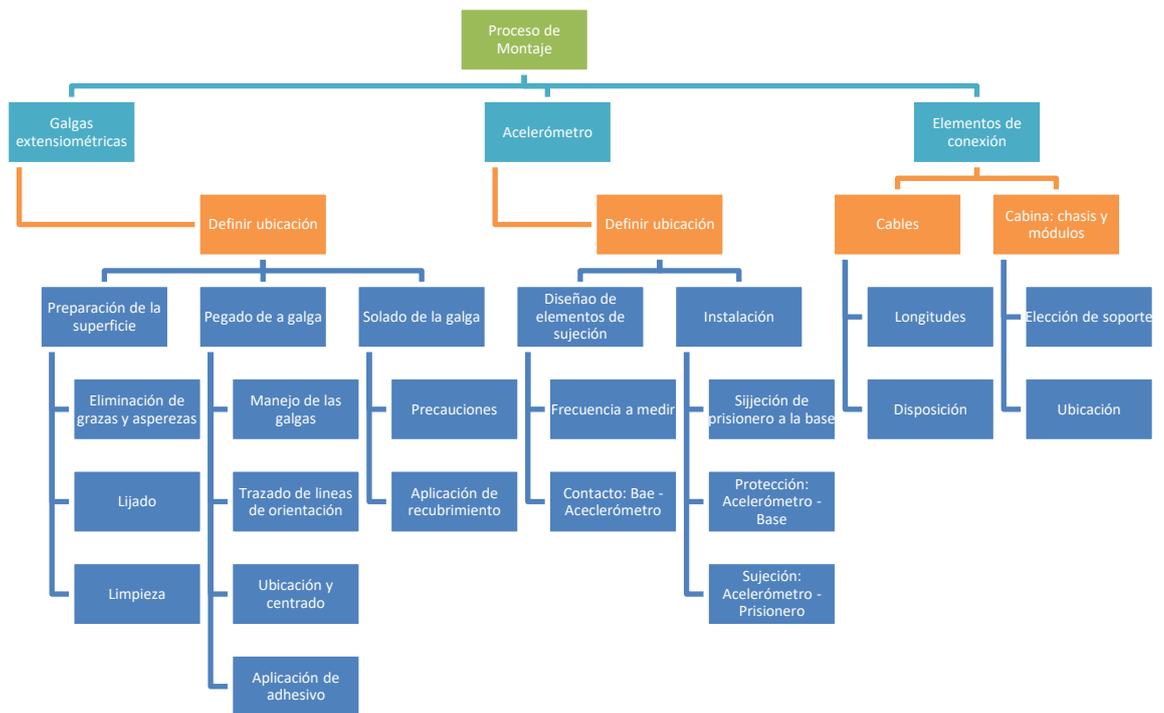


**Figura 49-3:** Soldado de las placas base al porta probetas.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.9 Montaje de sensores y elementos de conexión

#### 3.9.1 Diagrama de proceso de montaje

Mediante un diagrama de bloques, se da a conocer los procesos de instalación de los sensores y los elementos de conexión.



**Gráfico 20-3:** Diagrama de proceso.

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

#### 3.9.2 Proceso de montaje de los acelerómetros

Debido a la severidad del ensayo, se considera el máximo de frecuencia de toma de datos de 51 Hz, y según los detalles técnicos del acelerómetro se concluye que la unión adecuada se logra mediante un prisionero.



**Figura 50-3:** Prisioneros.  
**Fuente:** (Tornillo prisionero - DIN 551 - Lederer)

Una vez determinado el modelo de sujeción, se considera adjuntar unas bases en donde se va acoplar al prisionero debido a la falta de espesor que proporciona los perfiles que conforman el refuerzo.



**Figura 51-3:** Base del acelerómetro.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Para la ubicación de los acelerómetros se debe considerar el ajuste correcto, debido a que si este es excesivo puede verse comprometida la funcionalidad del sensor producto del impacto. Por otra parte, el contacto directo con la superficie de análisis durante el ensayo puede afectar gravemente al sensor por ellos se recomienda ubicar un empaque entre la superficie de contacto y el acelerómetro, y realizar un ajuste nada excesivo.



**Figura 52-3:** Prisionero, empaque y acelerómetro.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.9.3 Proceso de montaje de las galgas extensiométricas

A continuación, se describe el procedimiento de montaje de las galgas sobre la probeta, para ello se requiere los siguientes materiales:

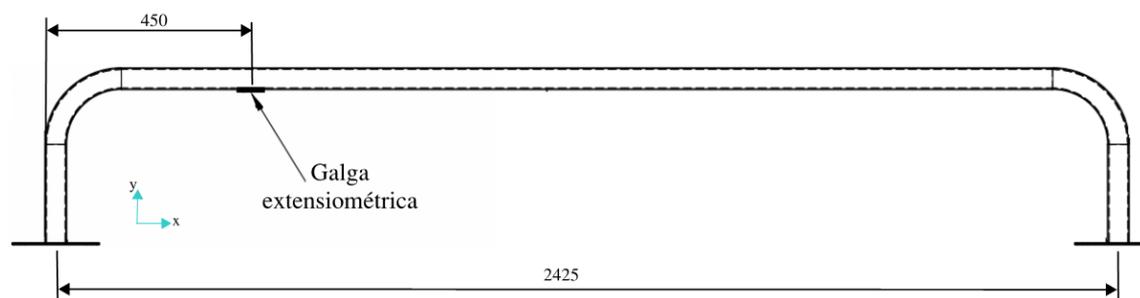
**Tabla 8-3:** Materiales usados para el montaje de las galgas extensiométricas.

MATERIALES	UNIDADES
Frasco de acetona	2
Algodón 25 gr	1
Pliego de lija #80	1
Pliego de lija #120	1
Pliego de lija #400	1
Pliego de lija #600	1
Paño suave	1
Galgas extensiométricas	3
Pegamento Super Bonder	1
Resina Epóxica Natural	1

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

#### 3.9.3.1 Ubicación de las galgas

Con el fin de obtener datos de deformación unitaria sin dañar a la galga debido a una deformación excesiva, se decidió ubicar la galga extensiométrica a 45 cm desde un extremo de la probeta como se indica:



**Figura 53-3:** Ubicación de la galga extensiométrica.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021..

### 3.9.3.2 *Lijado de la superficie*

Lijar la superficie implicada nos permite conseguir un área uniforme, para ello en primer lugar se inicia con una lija gruesa en este caso la #80 hasta llegar a una lija más fina como es el caso de la #600. De esta forma se logra un acabado superficial liso sin imperfecciones como grietas o grumos que puedan interferir en la correcta toma de medidas por parte de la galga.



**Figura 54-3:** Lijado de la superficie.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.9.3.3 *Limpieza de la superficie*

La limpieza de las superficies previamente lijadas es una parte complementaria para la preparación de la superficie, con esto se logró quitar toda partícula de las mismas. Esto se lo puede realizar con alcohol o cualquier otra solución.



**Figura 55-3:** Limpieza de la superficie.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

#### 3.9.3.4 Manipulación de las galgas

El cuerpo de la galga es muy sensible y delicada, es por esto que la teoría nos recomienda manipular las galgas con sumo cuidado mediante unas pinzas, de tal forma que se evite el contacto directo con los dedos o con cualquier otra superficie o agente que pueda dañarla.



**Figura 56-3:** Manipulación de las galgas.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

#### 3.9.3.5 Trazado de líneas guías o de orientación

Con ayuda de una escuadra o regla metálica y un lápiz, se trazó en la probeta unas líneas que harán la función de referencia o guía de la zona donde la galga debe ir pegada.



**Figura 57-3:** Trazado de líneas guía.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.9.3.6 *Ubicación y centrado*

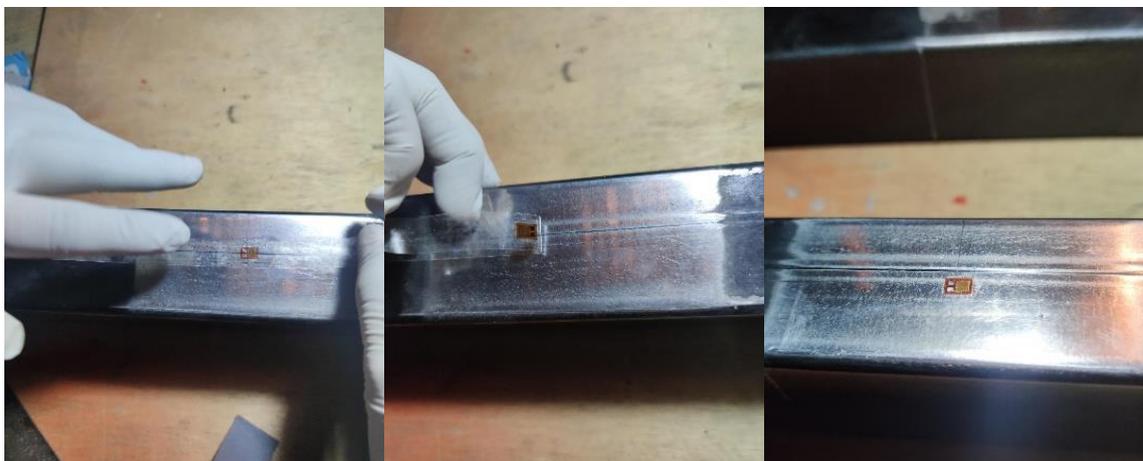
Para el centrado de la galga, se trazó líneas de referencia en la cinta adhesiva a la que previamente se ubicó la galga, con el fin de hacer coincidir los trazos de la probeta con los trazos de dicha cinta. Esta operación requiere de mucho cuidado ya que el correcto centrado de la galga influye mucho en los valores a medir.



**Figura 58-3:** Centrado de las galgas.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.9.3.7 *Aplicación de adhesivo*

Cuando la galga este correctamente orientada tanto en la cinta adhesiva como en la probeta, se procede a pegarla de un solo extremo, dejando unos 10 mm entre la superficie y la galga en la cinta adhesiva mientras el otro extremo se mantiene sin pegar de manera templada; se coloca una cantidad justa de pegamento sobre la probeta en la región marcada, que cubra toda la parte inferior de la galga una vez que se baja el extremo libre. Presionar firmemente hasta que la galga se pegue e inmediatamente unos segundos después levantar cuidadosamente la cinta, asegurando que solo se pegue la galga



**Figura 59-3:** Pegado de la galga.  
**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Una vez pegada la galga, se está en condiciones de soldar a los cables que se dirigirán al arreglo de puente de Wheatstone

#### 3.9.3.8 *Precauciones para soldar*

Para soldar a los terminales de la galga, se hizo uso de un cautín de resistencia variable y estaño como material de aporte. En este paso, se recomienda tener cuidado con la punta del cautín dado que debido a la delicadeza de las galgas se corre riesgo de quemar la matriz o dañar el hilo conductor por una deformación provocada por el calor.



**Figura 60-3:** Posición correcta del cautín.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

#### 3.9.3.9 *Aplicación de recubrimiento*

Con el fin de proteger a la galga de posibles daños mecánicos debido a rozos o golpes los cuales ponen en peligro la integridad de la galga, se cubrió a la galga junto con los terminales de soldadura con una fina capa de resina epóxica. Se esperó todo un día para que esta se secase bien



**Figura 61-3:** Aplicación de resina epóxica.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.9.4 *Elementos de conexión*

#### 3.9.4.1 *Caja de control*

La caja de control o cabina, tiene de dimensiones 600x800x250 mm, en la cual se ubica el chasis NI Compact DAQ-9172, los módulos NI 9234, NI 9234, NI 9944 y el circuito de divisor de resistencia, como se muestra a continuación:

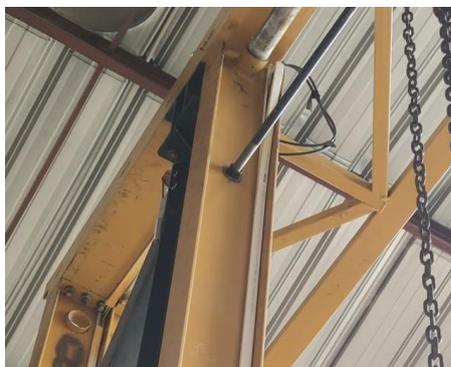


**Figura 62-3:** Cabina del sistema.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Dicha cabina se ubica encima de una mesa, con el fin de tener un acceso rápido para cualquier modificación dentro de la misma y se alimenta por una conexión en la parte inferior de la mesa.

#### 3.9.4.2 *Cables*

En el caso del acelerómetro se usa una extensión de cable coaxial de 10m de longitud, el cual se extiende desde la ubicación de los acelerómetros, recorre el brazo del péndulo, la viga superior y el lateral del pórtico hasta la ubicación de la cabina. Para evitar dejar a la intemperie a dicha conexión, se la protege con canaletas.



**Figura 63-3:** Protección del cable coaxial.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

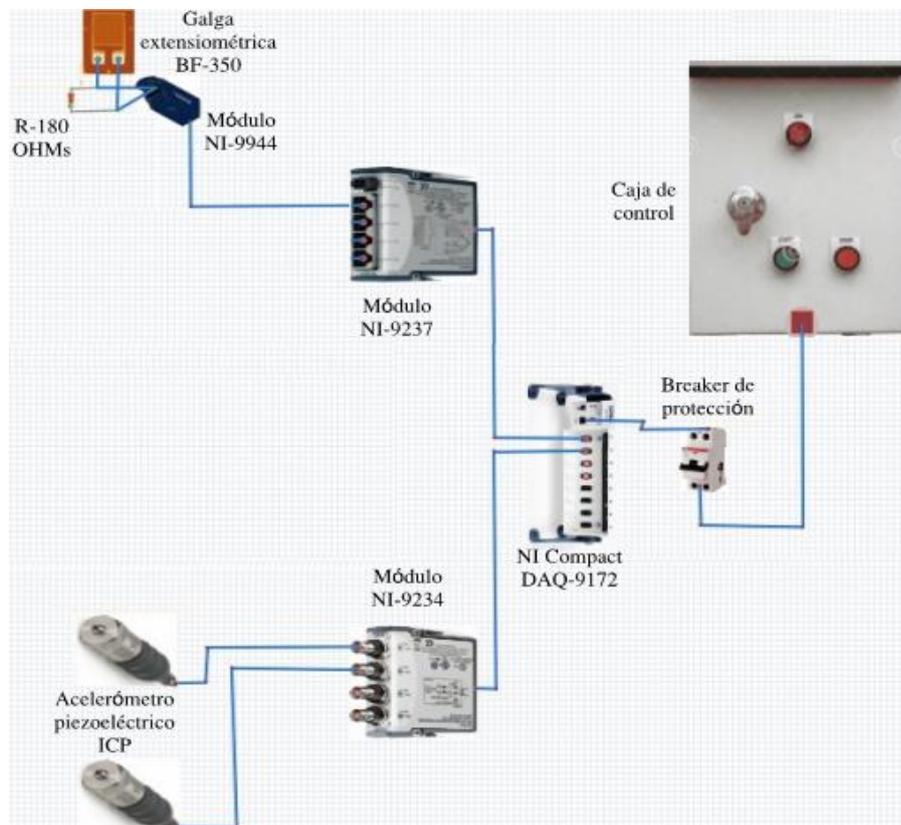
En el caso de la deformación unitaria, no se requiere una extensión del cable RJ 50 ya que su conexión va desde el módulo NI 9237 hasta los módulos NI 9944, los cuales están dentro de la caja de control. Por otro lado, se usa cable jumper, para la conexión desde la galga pegada en la probeta hasta unirlo con el circuito divisor de resistencia.



**Figura 64-3:** Unión al cable jumper.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.9.4.3 Esquema de circuito de conexión

A continuación se presenta la conexión entre los componentes del sistema de adquisición:



**Figura 65-3:** Esquema de conexión.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.10 Tiempo de desarrollo y montaje del sistema

Se da a conocer los tiempos empleados en el desarrollo de la programación, así como el montaje de los componentes para la puesta en marcha del sistema de adquisición.

**Tabla 9-3:** Tiempo empleado en el desarrollo y montaje del sistema.

Proceso	Elemento	N°	Operaciones	T(horas)
Adquisición y procesamiento de datos	Software Labview 2017	1	Diseño de la interfaz	3,0
		2	Programación	155,0
	Compact DAQ NI-9172	3	Ubicación de módulos y cables de conexión en la caja de control	6,0
		4	Verificación de conexiones	1,0
		5	Ensayos de calibración de la toma de lecturas	60,0
Elaboración de la probeta	Tubo cuadrado A36 50x50x2 mm (10m) Placa 20x15x5 mm	6	Trazado de medidas	2,0
		7	Corte	2,0
		8	Doblado	4,0
		9	Verificación de medidas	0,5
		10	Rectificado de extremos	2,0
		11	Soldado de placas a la probeta	2,0
		12	Pulido	2,0
		13	Pintado	2,0
Montaje de acelerómetros	Prisioneros	15	Ubicación	0,5
		16	Fijación	1,0
	Cable coaxial del acelerómetro	17	Toma de medidas	0,5
		18	Corte	0,5
		19	Preparación y unión de extremos	0,5
		20	Aplicación de cinta protectora	0,5

**Tabla 9-3 (Continua):** Tiempo empleado en el desarrollo y montaje del sistema.

Montaje de las galgas extensiométricas	Galgas extensiométricas	21	Lijado de la superficie	2,0
		22	Limpieza de la superficie	0,5
		23	Trazado de las líneas guías	1,5
		24	Ubicación y centrado	1,5
		25	Pegado	2,0
		26	Aplicación de recubrimiento	0,5
	Cable RJ 50 para las algas extensiométricas	27	Toma de medidas	0,5
		28	Corte	0,5
		29	Preparación y unión de extremos	0,5
		30	Aplicación de cinta protectora	0,5
Pruebas de funcionamiento y validación de datos	Montaje general para los ensayos ante impacto	31	Ubicación y fijación de las probetas	2
		32	Conexiones	1
		33	Prueba de funcionamiento sensores	0,5
		34	Verificación de parámetros de la DAQ	0,5
		35	Ejecución de los ensayos	10
	Validación	36	Validación de datos	50
<b>Total horas</b>				321

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.11 Costos del proyecto

A continuación, se da a conocer los gastos efectuados dentro del desarrollo del proyecto.

#### 3.11.1 Costos Directos

##### 3.11.1.1 Equipos y materiales

Se incluye los costos debido a equipos, materiales, mano de obra y transporte.

**Tabla 10-3:** Costo de equipos y materiales.

Ítem	Materiales	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
1	Chasis NI Compact DAQ-9172	1	840,00	840,00
2	Módulo NI-9237	1	2310,00	2310,00
3	Módulo NI-9234	1	1820,00	1820,00
4	Acelerómetro Piezoeléctrico ICP	2	367,94	735,88
5	Galgas extensiométricas BF-350	6	6,67	40,00
6	Extensión USB 10 metros blindad	2	16,50	33,00
7	Gabinete Metálico 800x600x250	1	60,00	60,00
8	Selector	1	2,50	2,50
9	Luz piloto	1	2,00	2,00
10	Breaker 6A	1	10,00	10,00
11	Canaletas	6	2,00	12,00
12	Cable plano	10	0,10	1,00
13	Cable jumper	3	1,00	3,00
14	Riel Din	1	3,00	3,00
15	Cable recreation	1	0,50	0,50
16	Frasco de acetona	2	0,50	1,00
17	Algodón 25 gr	1	0,30	0,30
18	Pliego de lija #80	1	0,60	0,60
19	Pliego de lija #120	1	0,55	0,55
20	Pliego de lija #400	1	0,50	0,50
21	Pliego de lija #600	1	0,50	0,50
22	Pintura Spray – Negro brillante	1	2,50	2,50
23	Tubo estructural cuadrado 50x50x2 (6m)	3	36,00	108,00
24	Doblado de tubos	6	10,00	60,00
25	Resina epóxica – Sayerlack	1	38,00	38,00
			<b>Subtotal 1</b>	<b>6084,83</b>

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.11.1.2 *Mano de obra*

Estos costos contemplan la parte de asesoría de construcción de las probetas y la instalación de los equipos.

**Tabla 11-3:** Costo de mano de obra.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Días - Hombre</b>	<b>\$ / día</b>	<b>Valor total (\$)</b>
1	Mano de obra	30	10,60	318,00
<b>Subtotal 2</b>				318,00

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.11.1.3 *Transporte*

Se considera los costos de transporte de materiales y equipos al laboratorio donde se realiza la implementación del sistema de adquisición de datos, así como las movilizaciones en la ciudad de Riobamba.

**Tabla 12-3:** Costo de transporte.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>\$ promedio / viaje</b>	<b>Valor total</b>
1	Transporte	5,00	110,00
<b>Subtotal 3</b>			110,00

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.11.1.4 *Costos varios*

En estos costos se considera el arriendo del taller en el cual se efectuaba las operaciones de construcción de la probeta, así como también se considera costos de estadía en la ciudad de Riobamba.

**Tabla 13-3:** Costo de mano de obra.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Días - Hombre</b>	<b>\$ / día</b>	<b>Valor total (\$)</b>
1	Alquiler de taller	30	10,00	300,00
1	Gastos varios	30	8,00	240,00
<b>Subtotal 4</b>				540,00

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.11.2 *Costo indirecto*

Para el costo indirecto se considera el tiempo brindado para el desarrollo del proyecto, así como la capacitación y asesoría para la implementación del sistema de adquisición de datos.

**Tabla 14-3:** Costo indirecto.

<b>Descripción</b>	<b>Valor total (\$)</b>
Costo de ingeniería	400,00
Utilidad	0
<b>Subtotal 5</b>	<b>400,00</b>

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### 3.11.3 *Costo total*

Costo resultante de la suma de los subtotales provenientes de los costos directos e indirectos.

**Tabla 15-3:** Costo total

<b>Tipo de costo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor (\$)</b>
Directo	Subtotal 1	6084,83
	Subtotal 2	318,00
	Subtotal 3	110,00
	Subtotal 4	540,00
Indirecto	Subtotal 5	400,00
	<b>Total</b>	<b>7452,83</b>

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

## CAPITULO IV

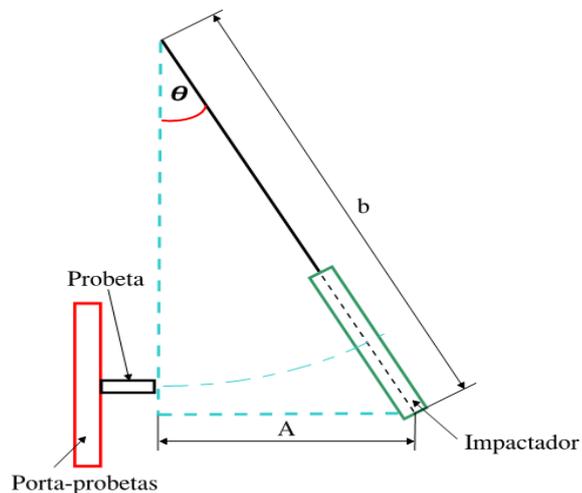
### 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez concluido el montaje de los sensores y los componentes de conexión requeridos para el funcionamiento del sistema, en este capítulo se dará a conocer los resultados obtenidos en los ensayos efectuados correspondiente a la lectura de datos de aceleración y deformación unitaria ante un evento de impacto, cumpliendo con los objetivos trazados en el capítulo 1. Además, se efectuará una comparación de los valores arrojados por el sistema con valores teóricos obtenidos analítica mente y por medio de una simulación en ANSYS, para tener certeza de los resultados y poder validar el sistema de adquisición implementado.

#### 4.1 Aceleración

##### 4.1.1 Parámetros de muestreo

Durante la toma de datos de la aceleración, se considera un movimiento armónico simple antes del impacto, lo cual permite hallar la amplitud y el tiempo en que ocurre este fenómeno físico. Siguiendo la teoría de movimiento armónico simple, se dice que la aceleración máxima se produce en el punto más bajo de la trayectoria del péndulo, por lo tanto en primer lugar se calcula la amplitud en base al ángulo de inicio de movimiento que fue de  $20^\circ$ .



**Figura 77-4:** DCL - Amplitud de movimiento a  $20^\circ$

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Sabiendo que:

$$\text{Sen } \theta = \frac{A}{b}$$

Donde:

A: es la amplitud del movimiento armónico simple.

$\theta$ : Ángulo de elevación del péndulo.

b : Longitud del brazo del péndulo.

Se tiene:

$$\text{Sen}(20^\circ) = \frac{A}{3.53 \text{ m}}$$

$$A = 1.207$$

Se determina el periodo de tiempo en el que se produce el movimiento completo en base a la ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Donde:

L: Longitud del péndulo de oscilación.

g: Constante gravitacional.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{3.53 \text{ m}}{9.81 \text{ m/s}^2}}$$

$$T = 3.7691$$

Para determinar el valor de la velocidad angular se usa la ecuación:

$$w = 2\pi f$$

Donde:

L: Es la frecuencia de oscilación.

$$w = \frac{2 * \pi}{T}$$

$$w = \frac{2 * \pi}{3.7691}$$

$$w = 1.667 \text{ rad/s}$$

Una vez obtenido estos parámetros calculamos la aceleración máxima mediante la ecuación:

$$a_{max} = A * w^2$$

Donde:

A: Amplitud.

w: velocidad angular.

$$a_{max} = 3.3541 \frac{m}{s^2}$$

#### 4.1.2 Comparación entre datos teóricos y experimentales

Una vez encontrado los valores teóricos, se realiza una comparación entre estos y los valores obtenidos por el sistema de adquisición de datos.

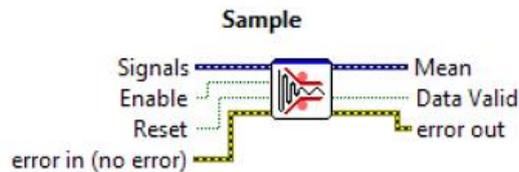
**Tabla 14-4:** Datos experimentales y teóricos de aceleración máxima.

Ensayo Nº	Parámetros de muestreo		Ángulo de elevación	DAQ Assistant	Valor teórico	Error
	Samples to Read	Rate				
Prueba1	1K	51k	20	3,133488	3,35411	6,58%
Prueba2	1K	26,5k	20	3,058777	3,35411	8,81%
Prueba3	1K	22k	20	3,010945	3,35411	10,23%
Prueba4	1K	18k	20	3,135755	3,35411	6,51%
Prueba5	1K	14k	20	3,511611	3,35411	4,70%
Prueba6	1K	12k	20	3,159478	3,35411	5,80%
Prueba7	1K	10k	20	3,135075	3,35411	6,53%
Prueba8	1K	5k	20	3,0790045	3,35411	8,20%
Prueba9	2k	10	20	3,0584775	3,35411	8,81%
Prueba10	800	16k	20	3,5187751	3,35411	4,91%

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

En la Tabla 1-5 se observa que sobresalen 6 configuraciones, en las cuales el porcentaje de error entre el dato experimental y el analítico no es muy elevado, considerándolos por ende como las más viables.

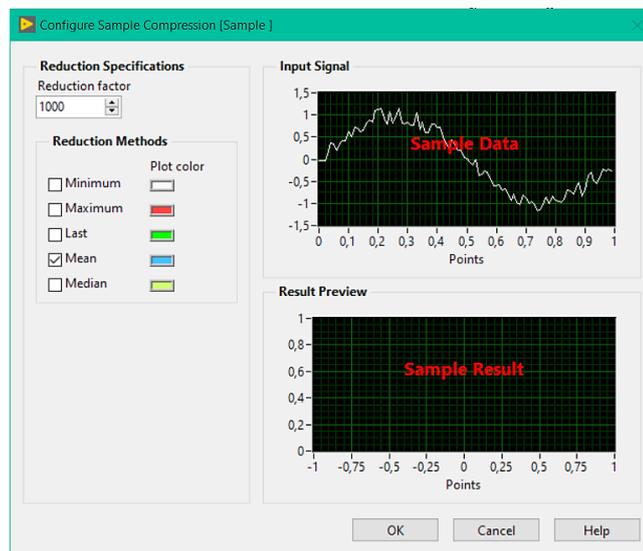
Con el fin de obtener una curva más suavizada, se incorpora el objeto *Sample* en la programación de LabVIEW.



**Figura 78-4:** Objeto Sample.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

El objeto *Sample*, tiene como función adquirir un gran número de puntos de datos y los comprime en un número menor de puntos, su caracterización en la gráfica se puede definir entre valores mínimos, máximos, valor último, media y mediana, la cual está en función de un factor de reducción.

Es posible considerar alguna de las 5 opciones presentadas en la Figura 2-5, *mean* es la opción más viable para nuestra aplicación, debido a que al promediarse los datos se mantiene visible tantos valores positivos como negativos, además que no crear brechas excesivas al momento de la toma de datos.



**Figura 79-4:** Opciones de caracterización y factor de reducción.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Aplicado dicho objeto, se obtiene los siguientes resultados.

**Tabla 15-4:** Reprogramación - datos experimentales y teóricos de aceleración máxima.

Ensayo N°	Parámetros de muestreo		Ángulo de elevación	DAQ Assistant	Valor teórico	Error
	Samples to Read	Rate				
Prueba1	1K	51k	20	3,190178	3,35411	5,14%
Prueba4	1K	18k	20	3,215547	3,35411	4,31%
Prueba5	1K	14k	20	3,482611	3,35411	3,69%
Prueba6	1K	12k	20	3,204478	3,35411	4,67%
Prueba7	1K	10k	20	3,202075	3,35411	4,75%
Prueba10	800	16k	20	3,502775	3,35411	4,24%

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

En la Tabla 2-5, se observa una mejor respuesta en la graficas con la configuración del ensayo número 5, como se evidencia en su valor de error, concluyendo que dicha configuración es la más acertada.

**Tabla 16-4:** Reprogramación - datos experimentales y teóricos del tiempo.

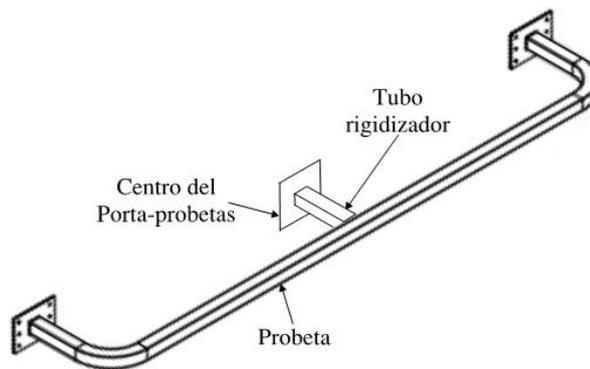
Ensayo N°	Parámetros de muestreo		Ángulo de elevación	DAQ Assistant	Valor teórico	Error
	Samples to Read	Rate				
1	1K	51k	20	0,897468	0,942275	4,76%
2	1K	18k	20	0,900455	0,942275	4,44%
3	1K	14k	20	0,91204	0,942275	3,21%
4	1K	12k	20	0,899651	0,942275	4,52%
5	1K	10k	20	0,898251	0,942275	4,67%
6	800	16k	20	0,900041	0,942275	4,48%

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Mediante las tablas presentadas, se consideran que los parámetros de calibración adecuados para la configuración de la DAQ Assistant se logra con 1000 muestras a leer (*Samples to Read*) y 14000 de frecuencia de muestreo (*Rate*), esta configuración ofrece el menor error en la toma de datos por lo cual se presenta como los parámetros actuales para futuros proyectos.

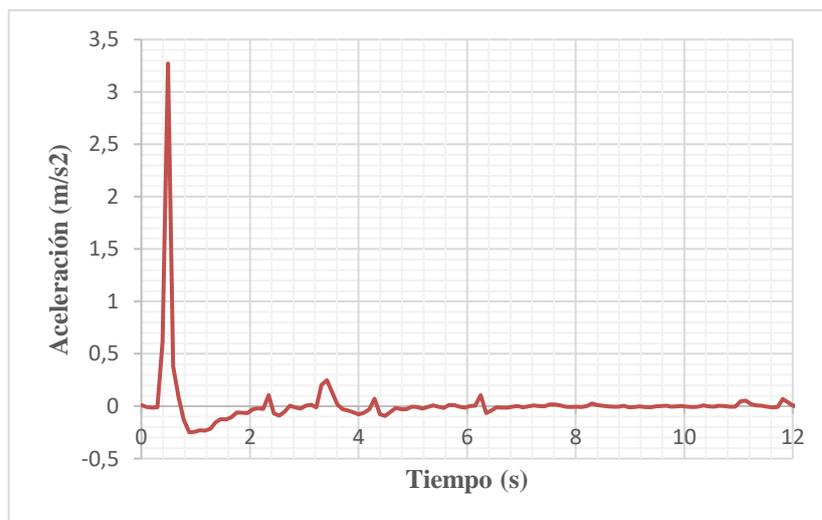
#### 4.1.3 *Curvas representativas*

Con el fin de observar un comportamiento distinto a los ensayos realizados, se ubicó un tubo en medio de la probeta el cual se lo apoya en el centro del porta-probetas como se observa en la Figura 3-5, logrando rigidizar la probeta a la hora de ser impactada.



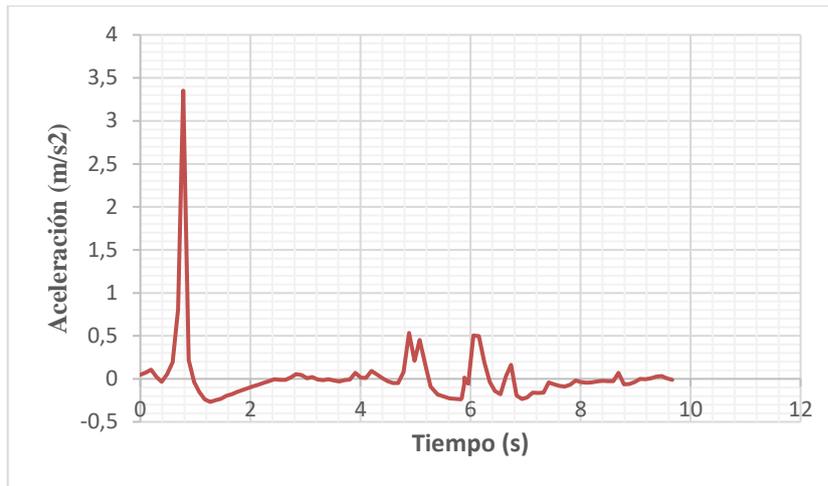
**Figura 80-4:** Cabina del sistema  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Una vez considerado la configuración más adecuada de la DAQ assistant, se obtuvo la siguientes graficas de aceleración vs tiempo.



**Gráfico 20-4:** Aceleración vs Tiempo (Probeta sin rigidizar).

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.



**Gráfico 21-4:** Aceleración vs Tiempo (Probeta rigidizada).

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Durante los ensayos de impacto las curvas de aceleración vs tiempo, muestran una caracterización específica en donde, para la probeta sin refuerzo se muestra una curva más suavizada debido a que tiene menos resistencia a detener el impacto, de modo contrario la probeta que cuenta con un refuerzo genera una curva lineal pronunciada en donde se refleja una mayor resistencia al impacto.

Se considera como principales factores de análisis la amplitud de la desaceleración máxima, así como el área bajo la curva, mismas que influyen directamente con las lesiones en los ocupantes. Para esta comparación tenemos el tubo cuadrado estructural ASTM A36 en donde en base a los resultados hallados se puede observar que al considerar una comparación del área bajo la curva en el intervalo en que la aceleración es negativa esta es mayor en la probeta sin rigidizar. Mientras que si consideramos el valor de la amplitud máxima de la desaceleración entre las dos probetas es mayor en la probeta rigidizada, siendo este último el que afecta en proporción considerable a la salud del ocupante durante un impacto frontal.

## 4.2 Deformación

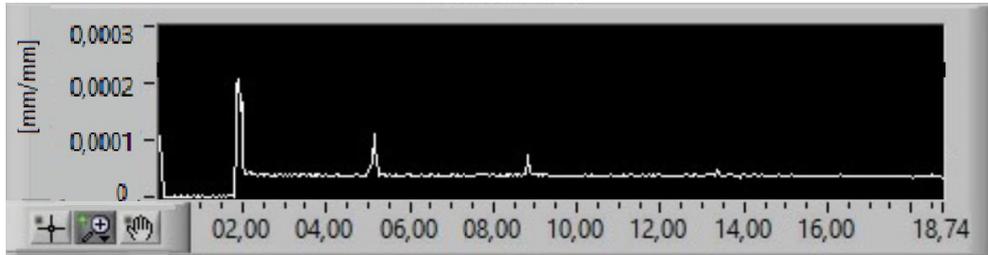
Para el caso de la deformación, el sistema de adquisición ha sido diseñado para tomar lecturas en cuatro puntos distintos instantáneamente, haciendo uso de 4 galgas extensiométricas con sus respectivos módulos NI-9944.

Para el ensayo efectuado se ha hecho uso de un solo módulo, tomando consecuentemente la medida en un solo punto de la probeta por ensayo.

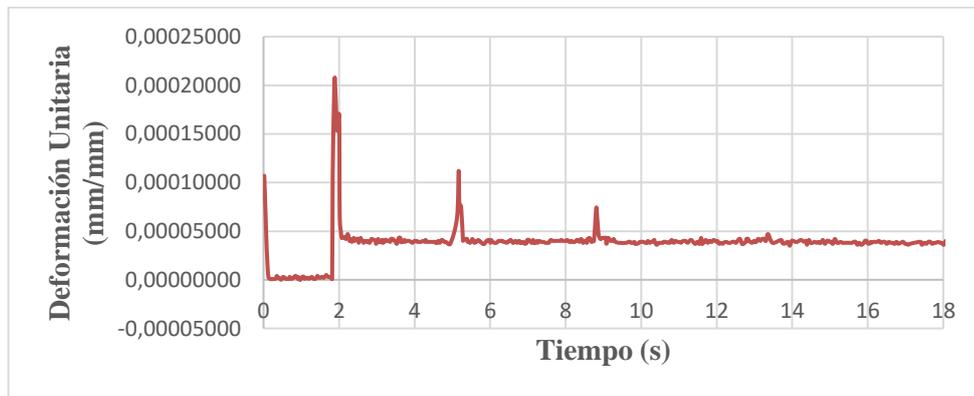
#### 4.2.1 Lecturas obtenidas en el sistema de adquisición

A continuación, se presenta los datos obtenidos en tres ensayos efectuados.

##### Ensayo 1

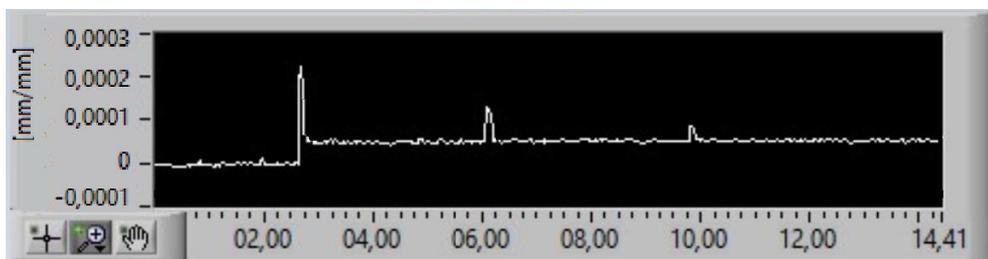


**Figura 81-4:** LabVIEW - Deformación unitaria, ensayo 1.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

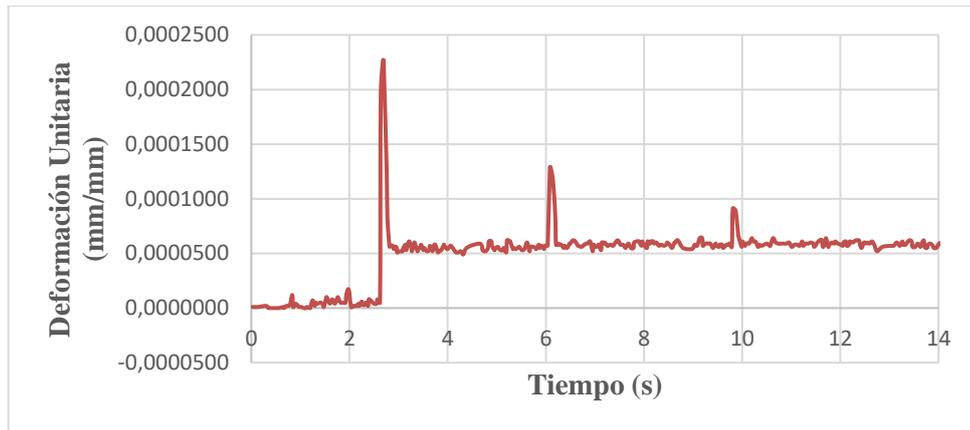


**Gráfico 22-4:** Excel - Deformación unitaria, ensayo 1.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

##### Ensayo 2



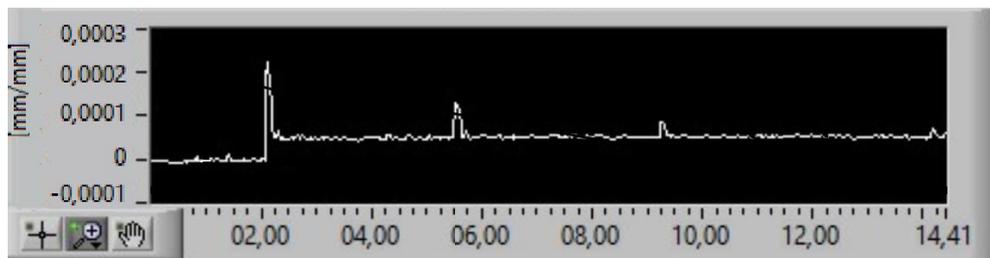
**Figura 82-4:** LabVIEW - Deformación unitaria, ensayo 2.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.



**Gráfico 23-4:** Excel - Deformación unitaria, ensayo 2.

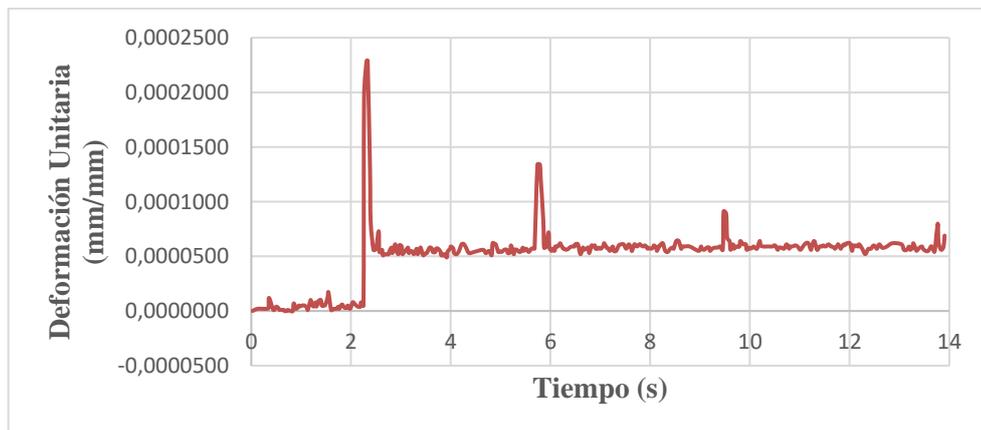
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

### Ensayo 3



**Figura 7-4:** LabVIEW - Deformación unitaria, ensayo 3.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.



**Gráfico 24-4:** Excel - Deformación unitaria, ensayo 3.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

En cada uno de los ensayos, se observa el instante en el que la galga es deformada, así como los rebotes que también deforman a la galga en menor magnitud.

A continuación, se detalla los valores adquiridos en la hoja de cálculo Excel, correspondiente a cada ensayo.

**Tabla 17-4:** Deformación unitaria identificado en los datos en Excel.

N° ensayo	Ángulo de elevación (grados)	Deformación unitaria		
		Impacto 1	Impacto 2	Impacto 3
1	30	0.000208	0.000112	0.000074
2	30	0,000227	0,000129	0.000091
3	30	0,000229	0,000131	0.000093

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

#### 4.2.2 Deformación unitaria de referencia

Se calcula analíticamente el valor de la deformación unitaria considerando las condiciones en donde el material llegue al límite de fluencia. Para esto se hace uso de la fórmula (8-2) en donde se conoce el módulo de elasticidad del material y se toma como esfuerzo el esfuerzo de fluencia del material, es decir el límite de su comportamiento elástico, por lo tanto:

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

Considerando que:

$$\sigma = \sigma_f = 250MPa$$

$$E = 200000 MPa$$

Se tiene:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$
$$\varepsilon = \frac{250 MPa}{200000MPa}$$
$$\varepsilon = 0.00125$$

Dado que resulta un valor de 0.00125 de deformación unitaria al considerar el esfuerzo de fluencia máximo del material (fin del comportamiento elástico del material), valores inferiores a esta deformación demuestran que el material se sometió a esfuerzos que no superan su límite de elasticidad.

### 4.2.3 Cálculo del esfuerzo experimental

Los valores mostrados en la Tabla 4-5, reflejan un comportamiento elástico en la zona evaluada, por lo tanto el esfuerzo correspondiente se obtiene haciendo uso de la ley de Hooke.

Considerando un  $E = 200000$  MPa, se tiene para el primer ensayo:

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

$$\sigma = (200000)(0.000208)$$

$$\sigma = 41.6 \text{ MPa}$$

Para los otros dos ensayos el procedimiento es similar.

**Tabla 18-4:** Esfuerzo experimental

Nº ensayo	Ángulo de elevación (grados)	Deformación unitaria	Esfuerzo experimental [MPa]
1	30	0.000208	41.6
2	30	0,000227	45.4
3	30	0,000229	45.8

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Dichos valores se reflejan también en la interfaz del programa desarrollado en LabVIEW como se muestra a continuación:

RESULTADOS		RESULTADOS		RESULTADOS	
	Deformación	Esfuerzo		Deformación	Esfuerzo
Punto 1	0,000208	41,6 MPa	Punto 1	0,000227	45,4 MPa
Punto 2	-0,018527	-3705,4 MPa	Punto 2	-0,018527	-3705,4 MPa
Punto 3	-0,0130861	-2617,23 MPa	Punto 3	-0,0130861	-2617,23 MPa
Punto 4	-0,0130823	-2616,46 MPa	Punto 4	-0,0130823	-2616,46 MPa

**Figura 83-4:** Resultados en la interfaz de LabVIEW.

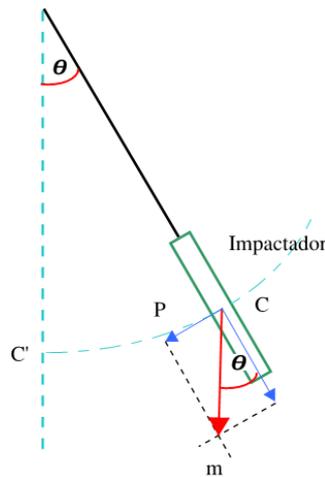
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

#### 4.2.4 Cálculo del esfuerzo teórico

Para validar dichos valores, en primer lugar, se efectuó el cálculo del esfuerzo resultante considerando una idealización del ensayo, en donde se considera a la probeta como a una viga simplemente apoyada. Para dicha idealización la fuerza actuante proveniente del impactador se la considera como una fuerza puntual aplicada al centro de dicha viga.

##### 4.2.4.1 Fuerza de impacto

La fuerza de impacto a la que se someterá la probeta está en función de la masa del impactador y del ángulo de elevación como se muestra a continuación:



**Figura 84-4:** DCL - Fuerza de impacto.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

La fuerza que impacta en la probeta resulta ser la componente tangencial del peso del impactador y se obtiene aplicando:

$$P = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

Donde:

$P$ : Fuerza de impacto.

$m$ : Masa del impactador.

$g$ : Gravedad.

$\theta$ : Ángulo de elevación.

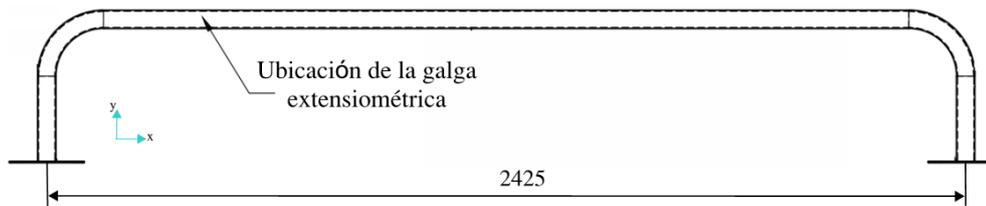
Por lo tanto:

$$P = (385kg) \cdot \left(\frac{9.81m}{s^2}\right) \cdot \sin(30^\circ)$$

$$P = 1888.425N$$

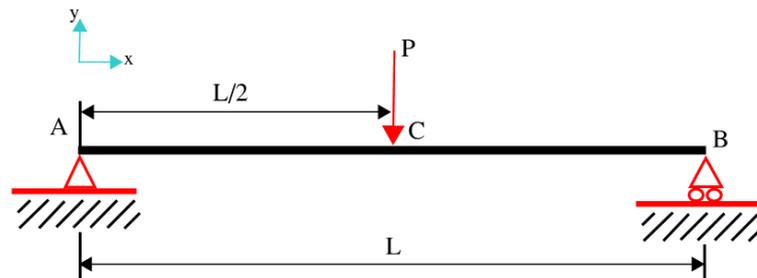
#### 4.2.4.2 Cálculo de las reacciones y momento interno

Usando un modelo idealizado de la probeta como una viga simplemente apoyada, se tiene:



**Figura 85-4:** Disposición de la probeta para su análisis.

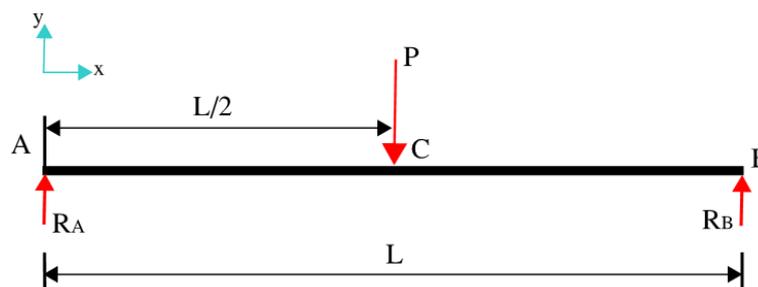
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.



**Figura 86-4:** DCL de la probeta idealizada.

Realizado por: Taday J., Rojas M., 2021.

Reacciones:



**Figura 87-4:** DCL – Reacciones.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - P = 0$$

$$R_A + R_B = P$$

$$R_A + R_B = P$$

$$\sum M_A = 0$$

$$R_B \cdot L - P \cdot \frac{L}{2} = 0$$

$$R_B = \frac{P}{2}$$

$$R_B = \frac{1888.425 \text{ N}}{2}$$

$$R_B = 944.213 \text{ N}$$

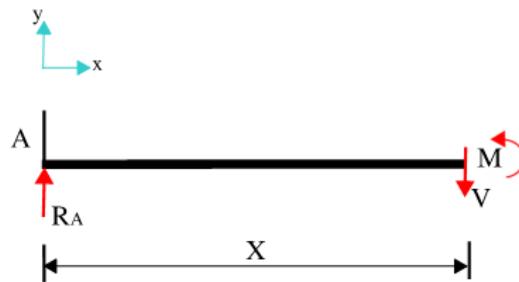
Reemplazando  $R_B$  en (1):

$$R_A = P - R_B$$

$$R_A = 1888.425 \text{ N} - 944.213 \text{ N}$$

$$R_A = 944.213 \text{ N}$$

Momento Interno:



**Figura 88-4:** DCL – Momento interno.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

$$\sum M = 0$$

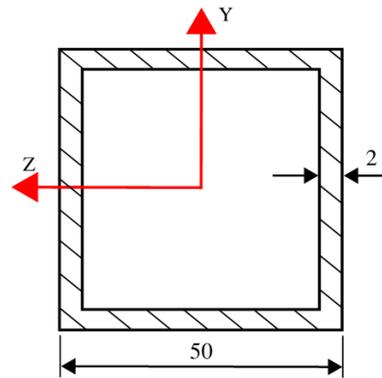
$$-M + R_A \cdot X = 0$$

$$M = R_A \cdot X$$

Por lo tanto:

$$M = 944.213X$$

Momento de Inercia del perfil:



**Figura 89-4:** Sección del tubo cuadrado.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

$$I_z = I_{z1} - I_{z2}$$

$$I_z = \frac{1}{12}(50)(50)^3 - \frac{1}{12}(46)(46)^3$$

$$I_z = 147712 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 1.47712 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

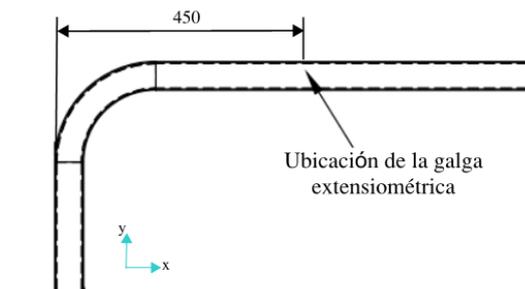
Esfuerzo teórico:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I_z}$$

$$\sigma = \frac{(944.212X)(0.025\text{m})}{1.47712 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = \frac{23.605X}{1.47712 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

La galga se la ubicó a 45 cm del extremo.



**Figura 90-4:** Ubicación de la galga extensiométrica.  
Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Por lo tanto, desde el centro del tubo, cuando  $X = 42,5 \text{ cm}$ , se tiene:

$$\sigma = \frac{23.605Nm(0.425m)}{1.47712 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 67.91 \text{ MPa}$$

#### 4.2.5 Comparación entre esfuerzo experimental y teórico

Una vez obtenido el valor del esfuerzo teórico, se compara dicho valor con el esfuerzo obtenido resultado de la deformación arrojado por el sistema.

**Tabla 19-4:** Valores teórico y experimental del esfuerzo.

Nº ensayo	Ángulo de elevación (grados)	Esfuerzo teórico [MPa]	Deformación unitaria	Esfuerzo LabVIEW [MPa]	Error [%]
1	30	67.91	0,000208	41.6	63.24
2			0,000227	45.4	49.58
3			0,000229	45.8	48.27

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Se observa que el error es elevado, y esto se debe a que en primer lugar el cálculo del esfuerzo teórico se obtuvo de considerando a la probeta como una viga simplemente apoyada. En segundo lugar el valor del esfuerzo obtenido por el sistema de adquisición, no se está considerando pérdidas por fricción o la pérdida de elevación a la hora de ejecutar el ensayo.

Si se considera una pérdida de elevación traducida en menos grados a la hora de soltar el péndulo, se tendrá valores más cercanos a los experimentales. Al estimar una pérdida de hasta 4 grados en cada ensayo se tiene:

Fuerza de impacto:

$$P = (385kg) \cdot (9.81m/s^2) \cdot \sin(26^\circ)$$

$$P = 1655.66 \text{ N}$$

Reacciones:

$$R_A = R_B = \frac{P}{2}$$

$$R_A = R_B = 827.83$$

Momento:

$$M = R_A \cdot X$$

$$M = 827.83X$$

Nuevamente calculando con () se tiene:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I_z}$$

$$\sigma = \frac{(827.83X)(0.025m)}{1.47712 \times 10^{-7} m^4}$$

Cuando  $X = 0.425m$

$$\sigma = 59.5 \text{ Mpa}$$

Comparamos nuevamente el error, con este nuevo esfuerzo considerando la pérdida de altitud a la hora de soltar el péndulo, teniendo como resultados:

**Tabla 20-4:** Esfuerzo considerando pérdida de elevación.

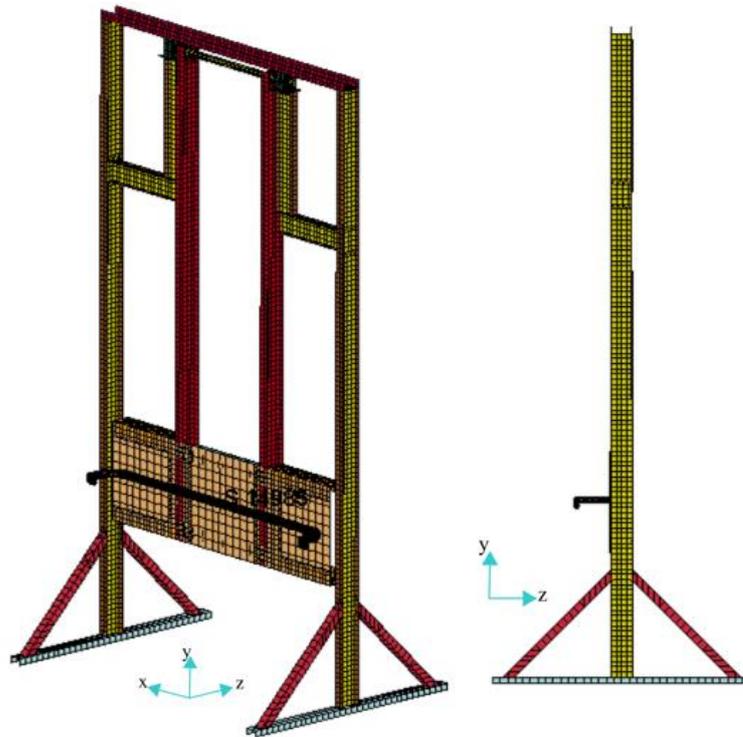
Nº ensayo	Ángulo de elevación (grados)	Esfuerzo teórico [MPa]	Deformación unitaria	Esfuerzo LabVIEW [MPa]	Error [%]
1	26	59.5	0.000208	41.6	43.02
2			0,000227	45.4	31.05
3			0,000229	45.8	29.91

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Al considerar una pérdida de elevación a la hora de ejecutar el ensayo, se evidencia un menor error pero dicho valor sigue elevado. Por lo que se requirió realizar una simulación dado que en la misma es posible acercarse más a las condiciones reales.

#### 4.2.6 Ensayo de simulación

La simulación se realiza en base a un análisis dinámico cuya geometría se la exporta previamente de un modelo realizado en Solid Works.



**Figura 91-4:** Modelo del péndulo - ANSYS

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

Para la ejecución de dicha simulación se requirió brindar los siguientes datos:

**Tabla 21-4:** Parámetros para la simulación en ANSYS.

N	Propiedad	Observaciones
1	Velocidad de impacto	3.046 m/s
2	Espesor de la probeta	2 mm
3	Masa del péndulo	385 kg
4	Material	Acero A 36

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

La simulación se ejecutó en 36 estados; según los datos arrojados por la simulación, el evento inicia en el estado 9 en donde se da el primer contacto en las fibras superiores de la probeta, conforme avanza, la deformación máxima presenciada en el centro de la probeta se da en el estado

15 en las fibras exteriores (zona de contacto) y en el estado 16 en las fibras inferiores. Se considera finalizado el impacto cuando el impactador pierde contacto con la probeta y esto ocurre en el estado 26.

De la simulación se obtiene los siguientes datos:

**Tabla 22-4:** Datos arrojados por la simulación.

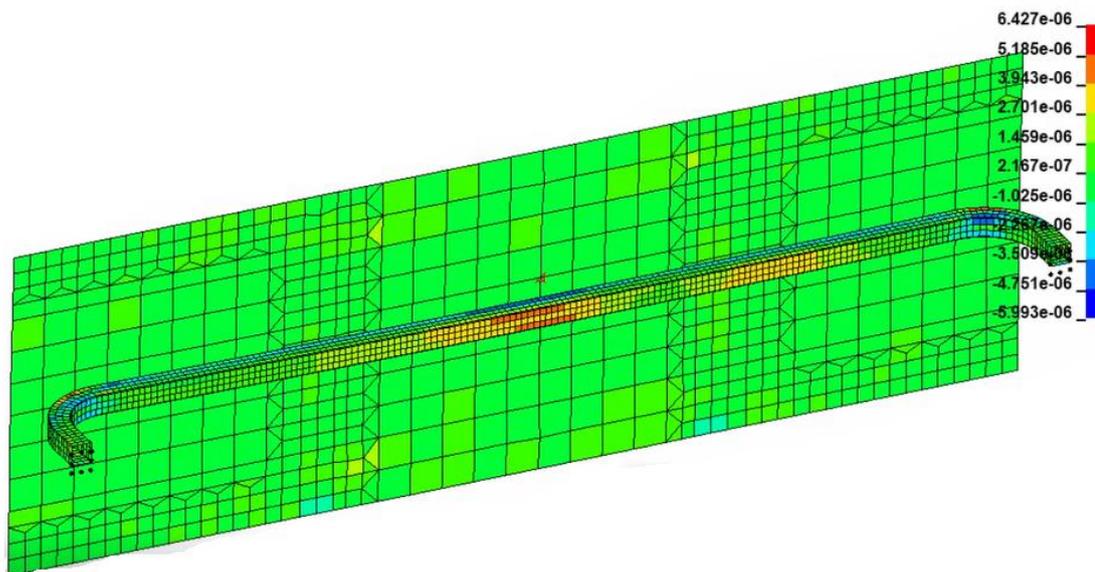
Estado	Von Mises [KPa]				Def. Unitaria	
	Ubicación				Ubicación	
N°	Doble Izq.	Centro	Doble Der.	Galga	Centro	Galga
10	1,92E+05	2,21E+04	6,48E+02	2,21E+04	8,58E-04	1,88E-04
11	2,37E+05	2,68E+04	1,90E+05	3448	1,05E-03	1,05E-03
12	2,25E+05	1,75E+05	2,50E+05	2352	2,90E-03	1,30E-03
13	1,42E+05	1,65E+05	9,60E+04	7,30E+04	7,12E-03	-1,82E-03
14	2,50E+05	2,25E+05	2,01E+05	2,90E+04	4,90E-03	1,96E-03
15	2,56E+05	1,06E+05	2,56E+05	8,09E+04	1,09E-03	2,42E-03
16	2,25E+05	5,21E+04	2,25E+05	5,21E+04	5,19E-03	2,17E-04
17	1,99E+05	5,45E+04	1,99E+05	3,05E+04	4,65E-03	2,08E-03
18	1,95E+05	5,21E+04	1,95E+05	2,83E+04	6,68E-03	2,79E-03
19	2,25E+05	1,03E+05	2,25E+05	7,83E+04	2,38E-03	3,49E-03
20	2,04E+05	1,15E+05	2,04E+05	7,03E+04	2,60E-03	3,67E-03
21	1,77E+05	5,40E+04	2,01E+05	2,94E+04	3,82E-03	2,60E-03
22	1,59E+05	4,24E+04	1,78E+05	6,17E+04	1,66E-03	3,44E-03
23	1,17E+05	1,17E+05	1,17E+05	2,55E+04	2,37E-03	1,19E-03
24	1,01E+05	7,65E+03	1,01E+05	5,19E+04	3,18E-03	1,98E-03

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

En el Anexo H, se da a conocer mayor número de estados de la simulación para observar de mejor manera el comportamiento de la probeta ante el impacto efectuado.

#### 4.2.6.1 Deformación unitaria

Como se mencionó anteriormente, el impacto tiene su máximo desarrollo en el estado número 15, propiciando el esfuerzo máximo a las fibras exteriores, pero se observa en los datos que en el estado 16 se producen la máxima deformación en la zona de la galga instalada. Debido a esto se analiza el estado 16 para obtener los valores teóricos según la simulación.



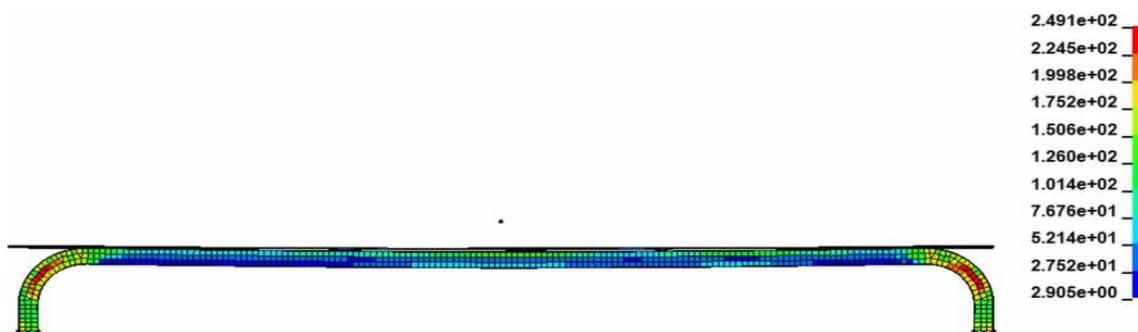
**Figura 92-4:** Simulación - Deformación unitaria.

Realizado por: Taday J., Panchi A., 2021.

De los datos de deformación unitaria arrojados por la simulación en ANSYS, la zona en donde se ubica la galga está sometida a una deformación unitaria longitudinal de  $2.167 \times 10^{-7}$  equivalente a  $0.0002167 \text{ mm/mm}$ , presentando una deformación netamente elástica. Dicha deformación, está en el rango del código de colores que resulta de la simulación, como se observa en la figura anterior.

#### 4.2.6.2 Esfuerzo

El esfuerzo que presenta la simulación es el esfuerzo de Von Mises, el cual toma en cuenta no solo esfuerzos normales sino también esfuerzos cortantes, pero dado a las condiciones del ensayo, los esfuerzos cortantes no influirían de gran manera por lo que sus valores no estarán alejados al esfuerzo normal obtenido experimentalmente.



**Figura 93-4:** Simulación – Esfuerzo de Von Mises.

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Según los datos adquiridos por la simulación, el esfuerzo en la zona evaluada es de 43.34 MPa.

#### 4.2.7 Datos teóricos y experimentales de deformación unitaria y esfuerzo

Una vez encontrado los valores teóricos de la deformación unitaria según la simulación, se compara dichos valores con los valores experimentales arrojados por el sistema.

**Tabla 23-4:** Datos arrojados por la simulación.

N° ensayo	Ángulo de elevación (grados)	Deformación unitaria		
		LabVIEW	ANSYS	Error [%]
1	30	0.000208	0.0002167	4.18
2		0,000227		4.53
3		0,000229		5.37

**Realizado por:** Taday J., Panchi A., 2021.

Al ser el esfuerzo producto de la deformación por el módulo de elasticidad del material, se tendrá los mismos errores porcentuales de la Tabla 10-5, razón por la cual no se ha visto necesario expresar dichos valores. De dicha tabla, se observa también que el error promedio en la toma de lecturas por parte del sistema para la deformación unitaria es de 4,69%.

## CONCLUSIONES

- Se implementó un sistema de adquisición de datos en el péndulo dinámico del grupo de investigación GDP, con el fin de tomar lecturas de aceleración y deformación unitaria en un ensayo donde se halló el esfuerzo de flexión en un punto específico de la probeta y por otro lado, se generó las gráficas de las curvas de aceleración en función del tiempo, las cuales en trabajos futuros permitirán analizar su relación con los posibles daños que el ser humano puede sufrir ante un evento de colisión.
- Los componentes y equipos usados para la implementación poseen buenas prestaciones como alta resolución, velocidad de muestreo y buen tratamiento de señales, además de usar sensores de alta precisión, acelerómetros piezoeléctricos ICP y galgas extensiométricas de precisión BF-350, cuyos datos fueron calibrados mediante ensayos estáticos con lo que se obtuvo un factor de corrección para los valores de aceleración y una ecuación de calibración para los valores de deformación logrando ajustar el valor de salida del sistema de adquisición.
- Los acelerómetros fueron ubicados a 3.53m desde el eje de rotación del impactador, en donde a un ángulo de elevación de 20 grados, se logró graficar las fluctuaciones de dicha variable en función del tiempo, registrando una aceleración máxima de  $3,48 \text{ m/s}^2$ ; al comparar los valores teóricos y experimentales se obtuvo un error final de 3,69 %, el cual representa un valor de error aceptable, logrando establecer las condiciones de adquisición de la señal como son el número de muestras y la frecuencia de muestreo en 1k muestras y 14k Hz, respectivamente.
- Las galgas extensiométricas fueron ubicadas a 42,5 cm desde un extremo de la probeta en cada uno de los tres ensayos; a un ángulo de elevación de 30 grados, el sistema registró una deformación máxima de  $0.000229 \text{ mm/mm}$  correspondiente a un esfuerzo máximo de 45,8 MPa. Al comparar con los valores teóricos se obtuvo un error elevado debido al modelo idealizado considerado para obtener dichos valores, mientras que al comparar con los valores obtenidos en la simulación en ANSYS, se obtuvo un error final de 4,69%, el cual está dentro de un error aceptable.

## RECOMENDACIONES

- La importancia del análisis de la aceleración, está más inclinado a precautelar la integridad del ocupante ante un fenómeno de impacto, dado que en estos escenarios la aceleración se presenta como desaceleración afectando a la estructura impactada así como el ocupante de dicha estructura ; es por ello que habría que realizar un estudio de la máxima desaceleración que una persona puede soportar para que conforme a estos datos se pueda estimar si las propiedades del material ensayado de la estructura que protege al ocupante presenta o no buenas características de absorción de energía para poder contrarrestar o mejor aún evitar los daños al ocupante en un accidente de colisión.
- Con el fin de obtener lecturas más precisas de deformación unitaria, se recomienda aplicar otras configuraciones de puente de Wheatstone, siendo la más recomendable una configuración de puente de Wheatstone completo, ya que esta compensará de gran manera las variaciones de temperatura. En otro caso también es posible usar otro tipo de galgas que no sean tan sensibles ante cambios de temperatura así como también, el uso de galgas biaxiales o multi-axiales como en el caso de rosetas las cuales también traen ventajas a la hora de compensar ciertos fenómenos presentes a la hora de efectuar una medición.
- Cuando se vaya a caracterizar materiales, tener presente las ventajas de conocer la deformación unitaria ya que la deformación unitaria al ser una magnitud adimensional, se puede representar como un porcentaje de deformación, de esta forma se puede estimar el valor de la ductilidad de un material dado que esta propiedad se expresa como un porcentaje de elongación. Esto nos da una idea de la calidad del material, ya que a mayor ductilidad es decir mientras más deformable sea el material mayor será el porcentaje de elongación.
- Cuando los sensores a usar hayan dejado de funcionar por un tiempo considerable, con el fin de verificar su buen funcionamiento, es importante realizar pruebas estáticas; en el caso que estos no estén funcionando de una forma adecuada, se los debe calibrar según los parámetros propuestos en su Datasheet.
- A la hora de elevar el impactador del péndulo de impacto, es recomendable usar un inclinómetro, con el fin de evitar inclinaciones erróneas, de esta forma se evitaría variar las gráficas cuyos valores se verían traducidos en un incremento de error porcentual en los datos finales que arroje el sistema de adquisición de datos.
- La probeta tiene que ser diseñada de forma adecuada, de modo que la energía no se concentre en puntos críticos ajenos al análisis, siendo indispensable también asegurar una correcta sujeción de la probeta al porta probetas.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACEBO, M.; & NUÑEZ, A.** *Orientación estratégica para la toma de decisiones, industria automotriz. Estudios industriales* [en línea]. Guayaquil - Ecuador: Graduate School of Management, 2017. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.espae.espol.edu.ec/publicaciones/>.

**ALBÁN, C.** Diseño e implementación de un sistema HMI (Interfaz Humano Máquina) mediante labview para el módulo de sensores en la tecnología del automovil [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito - Ecuador. 2013. pp. 1-119.

**ARENAS, M.** Sistema para la adquisición y monitorización de aceleración mediante microprocesador (Trabajo de titulación) (Pregrado). *Universidad de Sevilla*, Sevilla - España. 2008. pp. 39-54.

**CALLE, I.; & FERNANDEZ, S.** *Electrónica de Potencia* (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid - España, 2009. pp. 126-128.

**CONCEPTO.DE.** *Aceleración: Concepto, Fórmula y Ejemplos* [blog] 2019. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <https://concepto.de/aceleracion/>.

**CONTRERAS, G.** Diseño, análisis e implementación de dispositivo alternativo para la calibración de acelerómetros. [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial CIDESI, Santiago de Querétaro - México. 2017. pp. 12-14.

**DEL CASTILLO, D.; & HERRERA, J.** Estudio de las características Mecánicas de los chasis de los Vehículos M1 luego de un impacto mediante Norma Inen 0109 [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Automotriz. Quito - Ecuador. 2016. pp. 25-46. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1406>

**DEMESOFT.** *Qué es Adquisición de Datos - DAQ or DAS?* [blog] 2020. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-adquisicion-de-datos#data-analysis>.

**ELVIRA, Á.** Diseño optimizado de elementos estructurales para absorción de energía en choques. Viga bi-apoyada sometida a flexión [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid - España, 2015. pp. 97.

**FERDINAND P.; & RUSSELL, J.** *Mecánica de Materiales*. 5<sup>ta</sup> Ed. México, DF-México: McGraw Hill, 2010. pp. 209-246.

**GEOVANNI, D.; & PUENTE, C.** Análisis estructural a cargas de impacto posterior por alcance de un bus interprovincial mediante el método de elementos finitos [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Internacional SEK, Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Quito - Ecuador. 2015. pp. 7-23 [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2768>

**HIBBELLER, R.C.** *Mecánica de materiales*. 8va Ed. México DF-México: Pearson Educación, 2011. ISBN 9786073205597, 2011. pp. 65-385.

**IDI - Grupo-FM.** *Listado profesores y estudiantes participantes en grupos de investigación* [blog]. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/idi/public/grupo/FM>.

**IDROVO, P.; & QUINTANILLA, L.** Aplicación de las galgas extensiométricas en el laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica Salesiana, Facultad de Ingenierías. Cuenca - Ecuador. pp. 96-103 [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4482>

**INEN.** *Norma NTE INEN 1323 Vehículos Automotores, Carrocerías de buses. Requisitos*.

**INESEM.** *Diferencia entre sensor, transductor y captador*. [blog]. 2020 [Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/diferencia-sensor-transductor-captador/>.

**LOPEZ, A.** Implementación de un sistema de adquisición de datos para el análisis cinemático en un mecanismo plano [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tecnólogo). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías. Pereira- Colombia. 2015 pp. 81-87. ISSN 0717-6163. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/5414>

**LÓPEZ, S.** Determinación de configuraciones estructurales de un frente de autobús interprovincial y su incidencia en la resistencia al impacto frontal mediante el método de elementos finito [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato - Ecuador. 2016. pp. 22-25

**MÉNDEZ, K.A.F.** "Desarrollo e implementación de un sistema de adquisición de datos para el análisis de deformaciones y esfuerzos reales en componentes mecánicos a través de galgas extensiométricas" *Elsevier* (2017), (Ámsterdam, Países Bajos) Enhanced Reader.

**MIRZAAMIRI, R. et al.** "Crash Test Simulation and Structure Improvement of IKCO 2624 Truck According to ECE-R29 Regulation". *International journal of automotive engineering*, vol. 2, no. 3 (2012) pp. 180-192.

**NI.** *Connecting strain gauges to NI 9944* [blog] 2017. [Consulta: 2 mayo 2020]. Disponible en: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019OptSAE&l=es-EC>.

**NI.** *LabVIEW 2018 - Descargar para PC* [blog] 2018. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.malavida.com/es/soft/labview/>.

**ORTEGA, N.; & PAZMIÑO, M.** Diseño y construcción e implementación de un equipo medidor de fuerza de impacto, con sistema de elevación, frenado y HMI para el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de

la Energía y Mecánica. Sangolquí - Ecuador. 2017. pp. 6-15. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12904>

**PCB PIEZOTRONICS.** *Model 603C01 Platinum Low-cost Industrial ICP ® Accelerometer Installation and Operating Manual.*

**PRAT, P.** *Ecuaciones Constitutivas, elasticidad y plasticidad.* Barcelona - España: Editions UPC, 2006. pp. 60.

**RUIZ G.** Diseño, construcción y caracterización de un sensor para medir cargas a tensión por extensimetría (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca - México. 2005. pp. 41-50.

**RUIZ M.** Sistema automatizado para la calibración de acelerómetros según norma ISO 16063-21:2003. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona España. 2010. pp. 290.

**SAN MARTÍN, E.** Determinación del estado de esfuerzo plano para una viga en voladizo mediante mediciones de deformación. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad del BÍO BÍO, Facultad de Ingeniería. Concepción - Chile. 2013. pp. 3-58

**SANTOS, L.** Simulación por el método de los elementos finitos del impacto frontal de un bus interprovincial de fabricación Nacional, para proponer la modificación de la Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 1323:2009 [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Vicerrectorado de investigación, innovación y transferencia de tecnología. Sangolquí - Ecuador. 2017. pp. 5. [Consulta: 01 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13543?show=full>

**SUÁREZ, Y.** "Sector automotriz: reestructuración tecnológica y reconfiguración del mercado mundial". Paradigma Económico [en línea], 2010, (México) vol. 2, pp. 24-52. ISSN2594-1348. Disponible en: <https://paradigmaeconomico.uaemex.mx/article/view/4807>

**LEDERER.** *Tornillo prisionero - DIN 551.* [blog]. [Consulta: 7 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/lederer/product-25084-1768607.html>.

**VANEGAS G.** Sensores y Transductores. [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Tarapacá. Arica - Chile. 2014 pp. 34. [Consulta: 08 abril 2021]. Disponible en: [http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm\\_Ch03\\_mfuentesm.pdf](http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf).

## USER GUIDE AND SPECIFICATIONS

# NI cDAQ-9172

The NI cDAQ-9172 is an eight-slot USB chassis designed for use with C Series I/O modules. The NI cDAQ-9172 chassis is capable of measuring a broad range of analog and digital I/O signals and sensors using a Hi-Speed USB 2.0 interface. For module specifications, refer to the documentation included with your C Series I/O module(s) or go to [ni.com/manuals](http://ni.com/manuals).

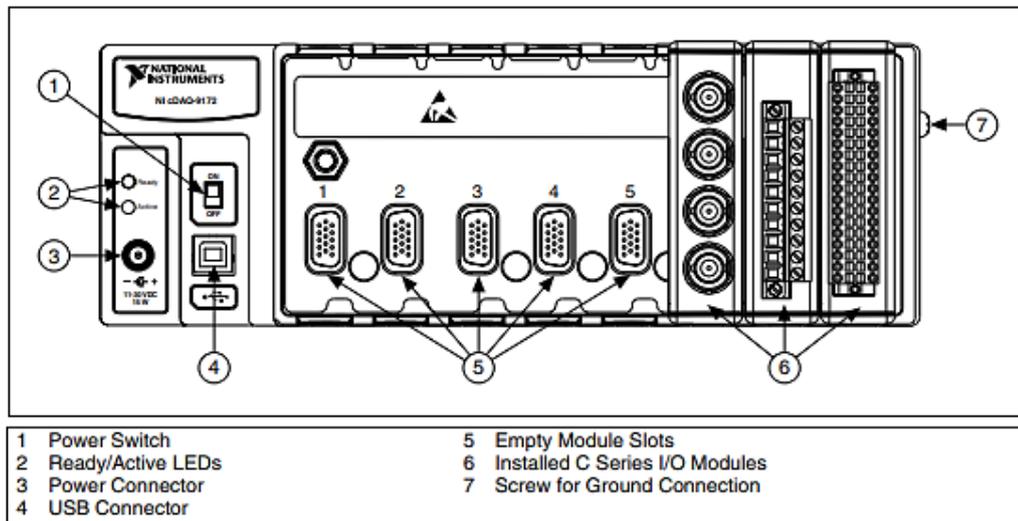


Figure 1. NI cDAQ-9172 Chassis

## Safety Guidelines

Operate the NI cDAQ-9172 chassis only as described in this user guide.



**Note** Because some C Series I/O modules may have more stringent certification standards than the NI cDAQ-9172 chassis, the combined system may be limited by individual component restrictions. Refer to the [Using the NI cDAQ-9172](#) section of this document for more details.



**Caution** The NI cDAQ-9172 chassis is *not* certified for use in hazardous locations.



**Hot Surface** This icon denotes that the component may be hot. Touching this component may result in bodily injury.

# Installing the Software

## Installing NI-DAQmx

The *DAQ Getting Started Guide*, which you can download at [ni.com/manuals](http://ni.com/manuals), offers NI-DAQmx users step-by-step instructions for installing software and hardware, configuring channels and tasks, and getting started developing an application.

## Installing Other Software

If you are using other software, refer to the installation instructions that accompany your software.

## Installing the NI cDAQ-9172

Figure 2 shows the dimensions of the NI cDAQ-9172 chassis.

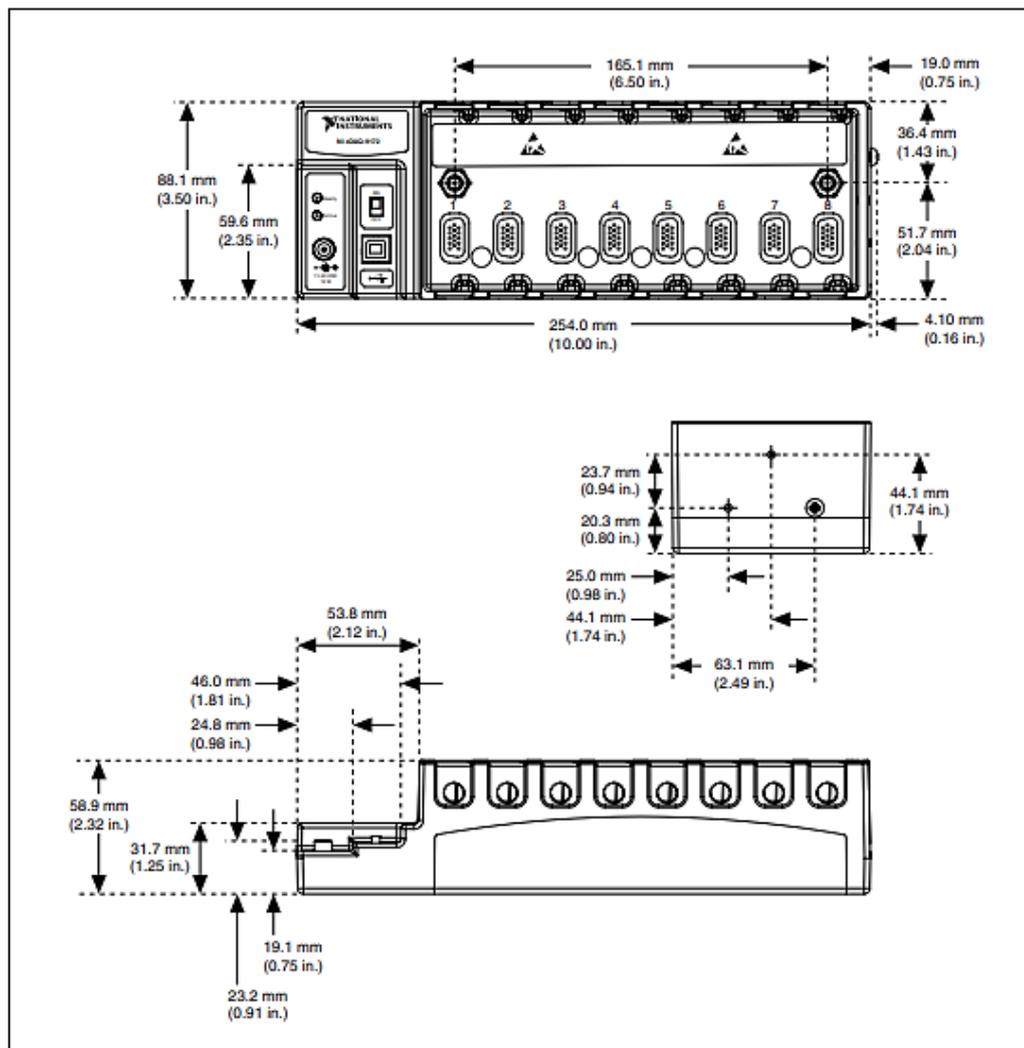


Figure 2. NI cDAQ-9172 with Dimensions in Millimeters (Inches)

# Understanding LED Indications

---

## Active LED

The Active LED indicates whether the NI cDAQ-9172 chassis is communicating over the USB bus.

**Table 2.** Active LED

<b>LED</b>	<b>Definition</b>
Amber	Power is applied, but USB connection is not established
Green	USB traffic present
Off	No USB traffic present

## Ready LED

The Ready LED is lit when the NI cDAQ-9172 chassis is ready for use. The color indicates whether the USB connection is Full-Speed or Hi-Speed.

**Table 3.** Ready LED

<b>LED</b>	<b>Definition</b>
Amber	Hi-Speed (480 Mbit/sec)
Green	Full-Speed (12 Mbit/sec)
Off	USB connection is not established

## ANEXO B-1: MÓDULO NI 9234 – ESPECIFICACIONES.

# NI 9234

4 AI,  $\pm 5$  V, 24 Bit, 51.2 kS/s/ch Simultaneous, AC/DC Coupling, IEPE AC Coupling



- Software-selectable AC/DC coupling (AC coupled at 0.5 Hz)
- Software-selectable IEPE signal conditioning with AC coupling (2 mA)
- $-40$  °C to  $70$  °C operating, 5 g vibration, 50 g shock
- 24-bit resolution
- Anti-aliasing filters
- 102 dB dynamic range
- Smart TEDS sensor compatibility

The NI 9234 is a four-channel dynamic signal acquisition module for making high-accuracy measurements from IEPE sensors. The NI 9234 delivers 102 dB of dynamic range and incorporates Integrated Electronics Piezoelectric (IEPE) signal conditioning at 2 mA constant current for accelerometers and microphones. The four input channels simultaneously acquire at rates up to 51.2 kS/s. In addition, the module includes built-in anti-aliasing filters that automatically adjust to your sampling rate. Compatible with a single-module USB carrier and NI CompactDAQ and CompactRIO hardware, the NI 9234 is ideal for a wide variety of mobile or portable applications such as industrial machine condition monitoring and in-vehicle noise, vibration, and harshness testing.

C SERIES ANALOG MODULE COMPARISON							
Product Name	Signal Ranges	Channels	Sample Rate	Input Configurations	Noise at Maximum Sample Rate	Connectivity	Isolation Continuous
NI 9218	$\pm 5$ V	2	51.2 kS/s/ch	IEPE with AC Coupling	50 $\mu$ Vrms	9-Position DSUB, LEMO	60 VDC Ch-Ch
NI 9230	$\pm 30$ V	3	12.8 kS/s/ch	IEPE with AC Coupling, AC Coupling, DC Coupling	106 $\mu$ Vrms	Screw Terminal	60 VDC Ch-Earth
NI 9232	$\pm 30$ V	3	102.4 kS/s/ch	IEPE with AC Coupling, AC Coupling, DC Coupling	251 $\mu$ Vrms	Screw Terminal	60 VDC Ch-Earth
NI 9234	$\pm 5$ V	4	51.2 kS/s/ch	IEPE with AC Coupling, AC Coupling, DC Coupling	50 $\mu$ Vrms	BNC	None
NI 9251	$\pm 4.24$ Vpk	2	102.4 kS/s/ch	AC Coupling, DC Coupling	8.8 $\mu$ Vrms	mini XLR	None

# NI 9234 Specifications

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



**Caution** To ensure the specified EMC performance, operate this product only with shielded cables and accessories.



**Caution** Do not operate the NI 9234 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 I

### Internal master timebase ( $f_M$ )

Frequency	13.1072 MHz
Accuracy	±50 ppm maximum

### Data rate range ( $f_s$ )

Using internal master timebase	
Minimum	1.652 kS/s
Maximum	51.2 kS/s
Using external master timebase	
Minimum	0.391 kS/s
Maximum	52.734 kS/s

Data rates <sup>1</sup> ( $f_s$ )  $(f_M \div 256)/n, n = 1, 2, \dots, 31$

Input coupling AC/DC (software-selectable)

AC cutoff frequency	
-3 dB	0.5 Hz
-0.1 dB	4.6 Hz maximum

---

## Power Requirements

---

### Power consumption from chassis

Active mode	900 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum

### Thermal dissipation (at 70 °C)

Active mode	930 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum

---

## Physical Characteristics

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

Weight	173 g (6.1 oz)
--------	----------------

---

## Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits:

Channel-to-earth ground	$\pm$ 30 V maximum, Measurement Category I
-------------------------	--

---

### Isolation

Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	None

---

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** Do not connect the NI 9234 to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

## ANEXO C-2: MÓDULO NI 9237 – ESPECIFICACIONES

# NI 9237

4 AI,  $\pm 25$  mV/V, 24 Bit, 50 kS/s/ch Simultaneous, Bridge Completion



- 4 channels, 50 kS/s per channel simultaneous AI
- $\pm 25$  mV/V input range, 24-bit resolution
- Programmable half- and full-bridge completion with up to 10 V internal excitation
- 60 VDC, Category I bank isolation
- RJ50 or D-SUB connectivity options
- $-40$  °C to  $70$  °C operating range, 5 g vibration, 50 g shock

The NI 9237 simultaneous bridge module for use with CompactDAQ and CompactRIO contains all the signal conditioning required to power and measure up to four bridge-based sensors simultaneously. The four RJ50 jacks provide direct connectivity to most torque or load cells and offer custom cable solutions with minimal tools. The high sampling rate and bandwidth of the NI 9237 offer a high-quality, high-speed strain or load measurement system with zero interchannel phase delay. With 60 VDC isolation and 1,000 Vrms transient isolation, the NI 9237 has high-common-mode noise rejection and increased safety for both the operator and test system.

The NI 9237 can perform offset/null as well as shunt calibration and remote sense, making the module the best choice for strain and bridge measurements.

The NI 9944 and NI 9945 are accessories for use with quarter-bridge sensors. These accessories have a female RJ50 connector on one end and screw terminals on the other end.

C SERIES SIMULTANEOUS BRIDGE MODULE COMPARISON

Model	Channels	Sample Rate	Resolution	Connectivity	Simultaneous Supported Bridges
NI 9218	2	51.2 kS/s/ch	24 bits	LEMO, 9-pin DSUB	Quarter, Half, Full
NI 9219	4	100 S/s/ch	24 bits	Spring Terminal	Quarter, Half, Full
NI 9235	8	10 kS/s/ch	24 bits	Spring Terminal	120 $\Omega$ Quarter Bridge
NI 9236	8	10 kS/s/ch	24 bits	Spring Terminal	350 $\Omega$ Quarter Bridge
NI 9237	4	50 kS/s/ch	24 bits	RJ-50, DSUB	Quarter, Half, Full

# NI 9237 Specifications

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



**Caution** Do not operate the NI 9237 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
Bridge completion	
Half and Full	Internal
Quarter	External
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-Sigma (with analog prefiltering)
Sampling mode	Simultaneous
Internal master timebase ( $f_M$ )	
Frequency	12.8 MHz
Accuracy	±100 ppm maximum
Data rate range ( $f_s$ ) using internal master timebase	
Minimum	1.613 kS/s
Maximum	50 kS/s
Data rate range ( $f_s$ ) using external master timebase	
Minimum	391 S/s
Maximum	51.36 kS/s
Data rates ( $f_s$ )	$(f_M \div 256) \div n$ , where $n = 1, 2, \dots, 31$
Typical input range	±25 mV/V
Scaling coefficient	2.9802 nV/V per LSB
Overtoltage protection between any two pins	±30 V

## Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode	740 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	740 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ 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](https://ni.com/dimensions) and search by module number.

## Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Between any two pins	$\pm$ 30 V maximum
Isolation, channel-to-channel	None
Isolation, channel-to-earth ground	
Up to 3,000 m	
Continuous	60 VDC, Measurement Category I
Withstand	1,000 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test
Up to 5,000 m	
Continuous	60 VDC, Measurement Category I
Withstand	860 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

## Specifications

---

### Definitions

*Warranted* specifications describe the performance of a model under stated operating conditions and are covered by the model warranty.

*Characteristics* describe values that are relevant to the use of the model under stated operating conditions but are not covered by the model warranty.

- *Typical* specifications describe the performance met by a majority of models.
- *Nominal* specifications describe an attribute that is based on design, conformance testing, or supplemental testing.

Specifications are *Typical* unless otherwise noted.

### Conditions

Specifications are valid for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted.

Weight	32 g (1.1 oz)
Operating temperature	-40 °C to 70 °C

---

# ANEXO E: ACELERÓMETRO PIEZOELÉCTRICO ICP

Model Number 603C01	INDUSTRIAL ICP® ACCELEROMETER		Revision: H ECN #: 25657
<b>Performance</b>	<b>ENGLISH</b>	<b>SI</b>	<b>OPTIONAL VERSIONS</b>
Sensitivity(± 10 %)	100 mV/g	10.2 mV/(m/s <sup>2</sup> )	[2] Optional versions have identical specifications and accessories as listed for the standard model except where noted below. More than one option may be used.
Measurement Range	± 50 g	± 490 m/s <sup>2</sup>	<b>EX - ATEX or ATEX and CSA Hazardous Area Approval</b>
Frequency Range(± 3 dB)	30 to 600,000 cpm	0.5 to 10,000 Hz	[3] Hazardous Area Approval EEx ia IIC T4, -40°CsTas121°C, II 1 G
Resonant Frequency	1500 kcpm	25 kHz	[1] Hazardous Area Approval CI I, Div I, Groups A, B, C, D, CI II, Div I, Groups E, F, G, CI III, Div I
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)	350 µg	3434 µm/s <sup>2</sup>	[4] Hazardous Area Approval Exia IIC T4, AExia IIC, T4
Non-Linearity	± 1 %	± 1 %	[1] Hazardous Area Approval CI I, Div 2, Groups A, B, C, D, ExnL IIC T4, AExnA IIC T4
Transverse Sensitivity	≤ 7 %	≤ 7 %	[1] Hazardous Area Approval EEx nL IIC T4, -40°CsTas121°C, II 3 G
<b>Environmental</b>			<b>M - Metric Mount</b>
Overload Limit(Shock)	5000 g pk	49,050 m/s <sup>2</sup> pk	Supplied Accessory : Model M081A61 Mounting Stud 1/4-28 to M6 X 1 (1)
Temperature Range	-55 to +250 °F	-54 to +121 °C	<b>TO - Temperature Output</b>
Temperature Response	See Graph	See Graph	Temperature Output Range
Enclosure Rating	IP68	IP68	Temperature Output Range
<b>Electrical</b>			Temperature Scale Factor
Settling Time(within 1% of bias)	≤ 2.0 sec	≤ 2.0 sec	5.56 mV/°F + 32
Discharge Time Constant	≥ 0.3 sec	≥ 0.3 sec	Electrical Connector
Excitation Voltage	18 to 28 VDC	18 to 28 VDC	3-Pin MIL-C-5015
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA	Electrical Connections(Pin A)
Output Impedance	<150 ohm	<150 ohm	Acceleration Output
Output Bias Voltage	8 to 12 VDC	8 to 12 VDC	Electrical Connections(Pin B)
Spectral Noise(10 Hz)	8 µg/√Hz	78.5 (µm/s <sup>2</sup> )/√Hz	Ground
Spectral Noise(100 Hz)	5 µg/√Hz	49.1 (µm/s <sup>2</sup> )/√Hz	Electrical Connections(Pin C)
Spectral Noise(1 kHz)	4 µg/√Hz	39.2 (µm/s <sup>2</sup> )/√Hz	Temperature Output
Electrical Isolation(Case)	>10 <sup>9</sup> ohm	>10 <sup>9</sup> ohm	Size - Height
<b>Physical</b>			1.86 in
Size (Hex x Height)	11/16 in x 1.65 in	18 mm x 42.2 mm	Weight
Weight	1.8 oz	51 gm	2.0 oz
Mounting Thread	1/4-28 Female	No Metric Equivalent	
Mounting Torque	2 to 5 ft-lb	2.7 to 5.8 N-m	
Sensing Element	Ceramic	Ceramic	
Sensing Geometry	Shear	Shear	
Housing Material	Stainless Steel	Stainless Steel	
Sealing	Welded Hermetic	Welded Hermetic	
Electrical Connector	2-Pin MIL-C-5015	2-Pin MIL-C-5015	
Electrical Connection Position	Top	Top	
	<p>Typical Sensitivity Deviation vs Temperature</p> <p>Sensitivity Deviation (%)</p> <p>Temperature (°F)</p>		
			<p><b>NOTES:</b></p> <p>[1] Typical.</p> <p>[2] Conversion Factor 1g = 9.81 m/s<sup>2</sup>.</p> <p>[3] The high frequency tolerance is accurate within ±10% of the specified frequency.</p> <p>[4] Zero-based, least-squares, straight line method.</p> <p>[5] 1/4-28 has no equivalent in S.I. units.</p> <p>[6] See PCB Declaration of Conformance PS023 or PS060 for details.</p>
			<p><b>SUPPLIED ACCESSORIES:</b></p> <p>Model D81A40 Mounting Stud</p> <p>Model ICS-2 NIST-traceable single-axis single-point amplitude response calibration at 6000 cpm (100 Hz) (1)</p>

MS – Mine Safety Approved Sensors  
 TO – Temperature Output Sensor

**Note:** Not all sensors are available with the optional prefixes. Contact the factory to discuss special features that may be needed.

**4.0 INSTALLATION OVERVIEW**

When choosing a mounting method, consider closely both the advantages and disadvantages of each technique. Characteristics like location, ruggedness, amplitude range, accessibility, temperature, and portability are extremely critical. However, the most important and often overlooked consideration is the effect the mounting technique has on the high-frequency operating range of the accelerometer.

Shown in Figure 4 are six possible mounting techniques and their effects on the performance of a typical piezoelectric accelerometer. (Note: Not all of the mounting methods may apply to your particular sensor.) The mounting configurations and corresponding graph demonstrate how the high-frequency response of the accelerometer may be compromised as mass is added to the system and/or the mounting stiffness is reduced.

**Note:** The low-frequency response is unaffected by the mounting technique. This roll-off behavior is typically fixed by the sensor's built-in electronics. However, when operating AC-coupled signal conditioners with readout devices having an input impedance of less than one megohm, the low frequency range may be affected.

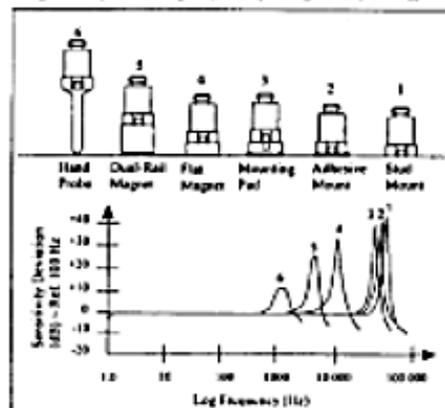


Figure 4. Assorted Mounting Configurations and Their Effects on High Frequency

**4.1 STANDARD STUD MOUNT**

This mounting technique requires smooth, flat contact surfaces for proper operation and is recommended for permanent and/or secure installations. Stud mounting is also recommended when testing at high frequencies.

**Note:** Do NOT attempt mounting on curved, rough, or uneven surfaces, as the potential for misalignment and limited contact surface may significantly reduce the sensor's upper operating frequency range.

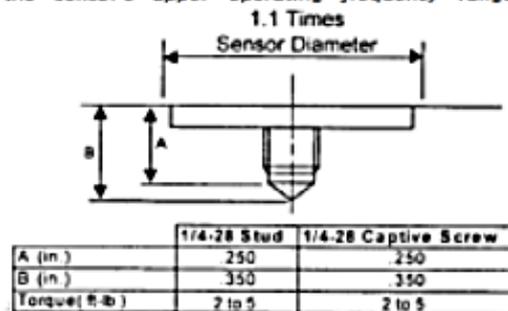


Figure 5. Mounting Surface Preparation

**STEP 1:** First, prepare a smooth, flat mounting surface and then drill and tap a mounting hole in the center of this area as shown in Figure 5.

A precision-machined mounting surface with a minimum finish of 63 µin (0.0016 mm) is recommended. (If it is not possible to properly prepare the machine surface, consider using an adhesive mounting pad as a possible alternative.) Inspect the area, checking that there are no burrs or other foreign particles interfering with the contact surface.

**STEP 2:** Wipe clean the mounting surface and spread on a light film of grease, oil, or similar coupling fluid prior to installation. See Figure 6.



Figure 6. Mounting Surface Lubrication

Adding a coupling fluid improves vibration transmissibility by filling small voids in the mounting surface and increasing the mounting stiffness. For

## ANEXO F: PLATINAS DE ACERO A36

# Platina de Acero ASTM A36



Platinas de acero laminado al caliente (LAC), son ampliamente utilizados para toda la fabricación en general y reparaciones en el mantenimiento industrial, implementos agrícolas, equipos de transporte, etc.

Especificaciones: ASTM A36, AISI A36

Fácil de soldar, cortar, dar forma y maquinar. Longitud 6 metros.

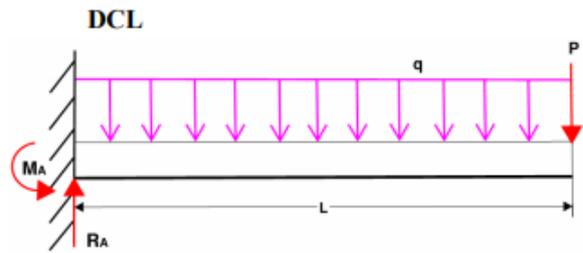
Propiedades Mecánicas	Límite de Fluencia (kg/cm <sup>2</sup> ) mín.	2530
	Resistencia a la Tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	4080-5620
	Alargamiento en 200 mm 1/8" y 3/16"	15.0% mínimo
	Alargamiento en 200 mm 1/4"	17.5% mínimo
	Alargamiento en 200 mm 5/16", 3/8", 5/8", 3/4" y 1"	20% mínimo
	Doblado a 180°	Bueno
	Soldabilidad	Buena

Espesor		Ancho		Peso Teórico
m	pulg	m	pulg	Kg/6m
3.0	1/8"	12	1/2"	1.92
		16	5/8"	2.34
		19	3/4"	2.88
		25	1"	3.84
		31	1 1/4"	4.80
		38	1 1/2"	5.70
		50	2"	7.62
4.5	3/16"	12	1/2"	2.88
		16	5/8"	3.66
		19	3/4"	4.44
		25	1"	5.88
		31	1 1/4"	7.08
		38	1 1/2"	8.52
		50	2"	11.40
		63	2 1/2"	14.22
6.0	1/4"	12	1/2"	3.84
		16	5/8"	4.80
		19	3/4"	5.70
		25	1"	7.68
		31	1 1/4"	9.48

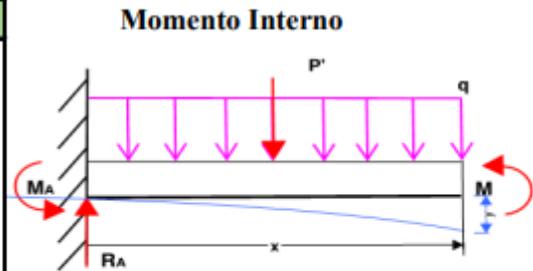
\* Equivalencias de conversión son aproximadas.

## ANEXO G: HERRAMIENTA DE CÁLCULO – DEFORMACIÓN UNITARIA

Datos			
Abv.	Variable	Valor	Unidad
L	Longitud	0,475	m
q	Peso distribuido	6,276	N/m
C	Pesa	2,226	N
c	Peso portapesas	0,745	N
P	Carga	2,971	N
P'	Carga distribuida	2,981	N
	Material	ASTM A 36	
E	Módulo de Young	205900	Mpa
Iz	Inercia	5,625E-11	m <sup>4</sup>
b	Ancho	0,025	m
t	Altura (espesor)	0,003	m



Fórmulas	
$R_A = (C + c) + (q \cdot L)$	
$M_A = P \cdot L + q \cdot \frac{L^2}{2}$	
$M = R_A \cdot X - \frac{q \cdot X^2}{2} - M_A$	
$\sigma = \frac{M \cdot c}{I_z}$	$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$



Cálculos			
Abv.	Variable	Valor	Unidad
c	Dist. a la supf.	0,0015	m
X	Distancia de calc.	0,02	m
Ra	Reaccion	5,952	N
Ma	Momento máximo	2,119	Nm
M	Momento interno	2,001	Nm
$\sigma$	Esfuerzo eq.	53365739,861	N/m <sup>2</sup>
		0,0533	Gpa
$\varepsilon$	Def. Unitaria	0,0002589	

## ANEXO H: MATERIAL DE LA PROBETA DE ENSAYO

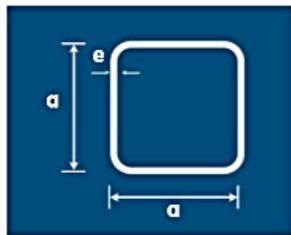
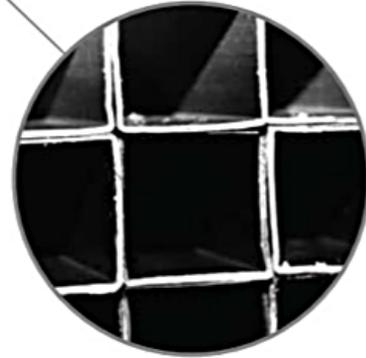
# TUBOS CUADRADOS

**NORMAS TÉCNICAS:**  
NTE INEN 2415

**TOLERANCIA:**  
Diámetro exterior  
< 50.80 mm +/- 0.50 mm  
> 50.80 mm +/- 0.75 mm  
Longitud - 6 mm + 13 mm

**LONGITUD DE ENTREGA:**  
6 metros  
Otras longitudes bajo pedido.

**RECUBRIMIENTO:**  
Negro (sin recubrimiento)



### Uso del producto:

Muebles Metálicos,  
Divisiones Modulares,  
Pasamanos, viviendas  
Fabricación de  
remolques, Estanterías,  
Estructuras espaciales,  
Cerrajería (puertas)

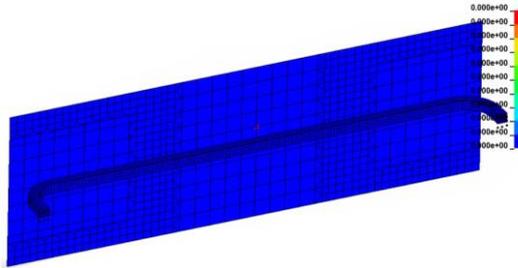
Denominación	Dimensión	Espesor	Peso	
	a	e	Kg/m	Kg/6m
Pulgadas	mm	mm		
1/2	12	0.75	0.29	1.71
		0.90	0.34	2.06
3/4	20	0.75	0.46	2.75
		0.90	0.54	3.24
		1.10	0.65	3.88
1	25	0.75	0.58	3.48
		0.90	0.69	4.15
		1.10	0.84	5.05
1 1/4	30	0.90	0.83	5.00
		1.10	1.02	6.09
1 1/2	40	0.90	1.05	6.27
		1.10	1.27	7.61

# ANEXO I: RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN ANSYS

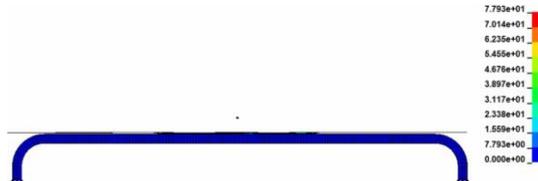
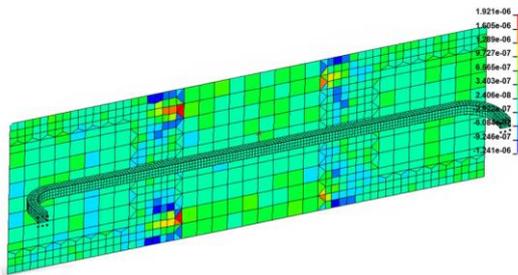
## Deformación Unitaria Longitudinal en x

## Esfuerzo Von Mises

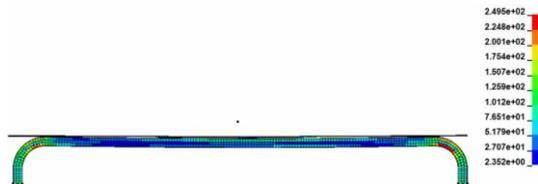
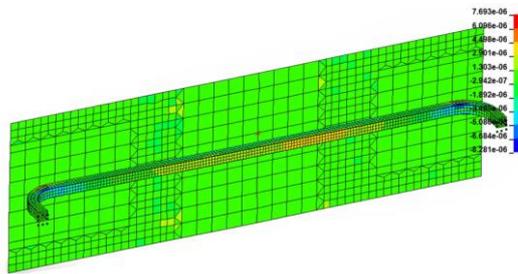
State 1



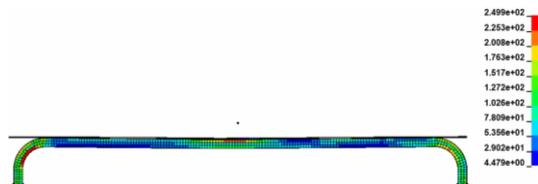
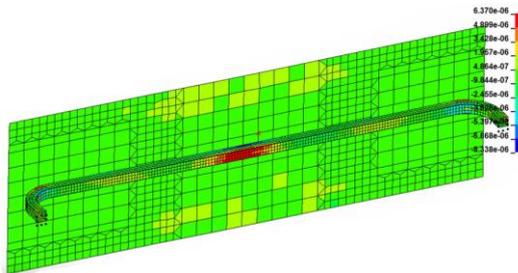
State 9



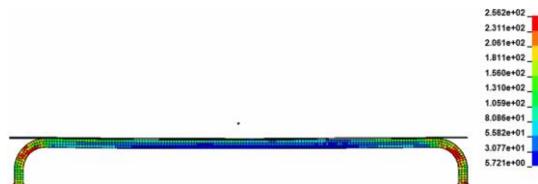
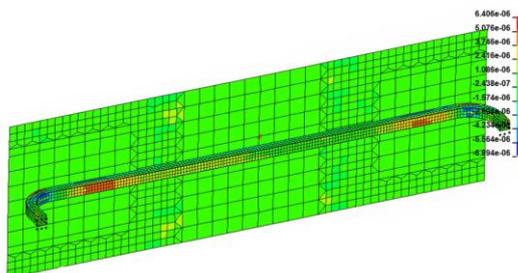
State 12



State 14



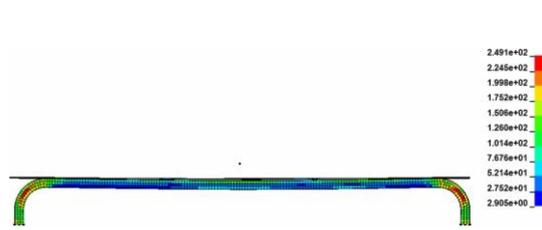
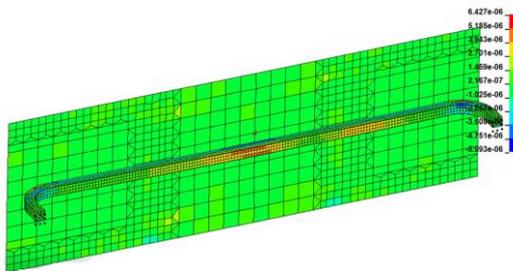
State 15



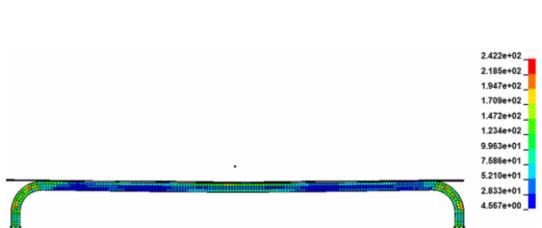
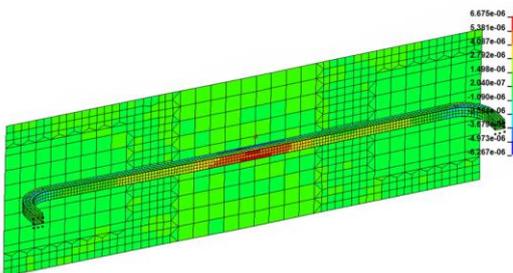
### Deformación Unitaria Longitudinal en x

### Esfuerzo Von Mises

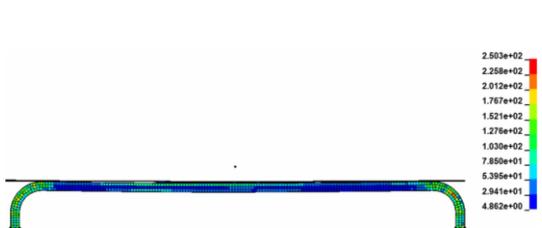
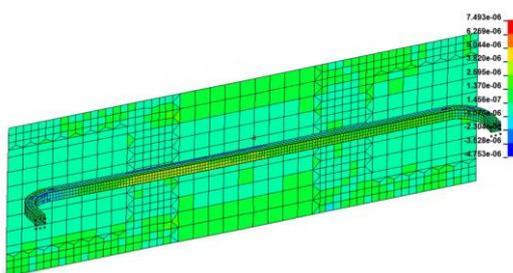
State 16



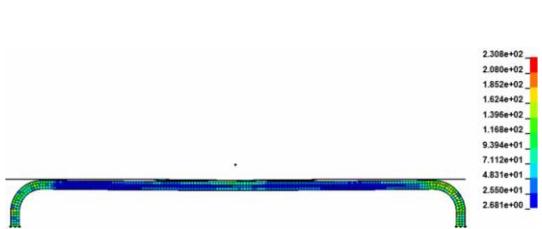
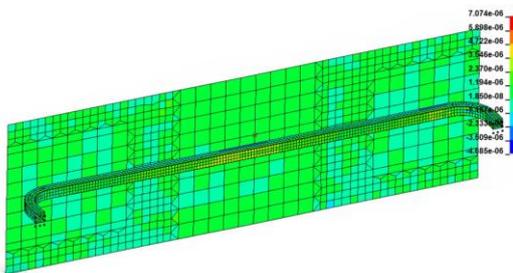
State 18



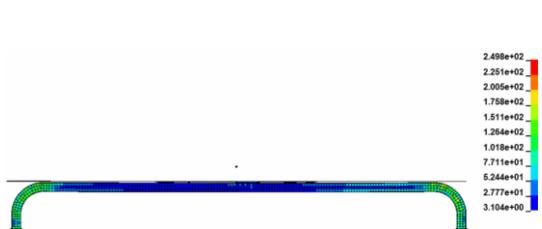
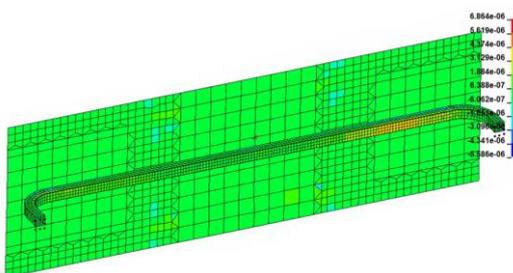
State 21



State 23



State 25



ANEXO J: MANUAL DE OPERACIÓN



# Manual de operación

---

**Sistema de adquisición de datos de aceleración y  
deformación unitaria**

---

# CONTENIDO

1.	Prefacio .....	23
1.1.	Información sobre publicaciones.....	23
1.2.	Seguridad.....	23
1.3.	Operación .....	23
1.4.	Mantenimiento .....	23
2.	Sección de seguridad .....	23
2.1.	Avisos de seguridad .....	23
3.	Señal de energización e inicio de funcionamiento del sistema de adquisición de datos .....	23
4.	<b>GALGA EXTENSIOMETRICA.....</b>	<b>24</b>
4.1.	Señal de Avería o mal funcionamiento .....	24
4.2.	Proceso de montaje de las galgas extensiométricas .....	24
4.3.	Ubicación de las galgas.....	24
4.4.	Lijado de la superficie .....	24
4.5.	Limpieza de la superficie.....	25
4.6.	Manipulación de las galgas .....	25
4.7.	Trazado de líneas guías o de orientación.....	25
4.8.	Ubicación y centrado .....	25
4.9.	Aplicación de adhesivo .....	25
4.10.	Precauciones para soldar .....	26
4.11.	Aplicación de recubrimiento .....	26
4.12.	Puesta a punto del sensor .....	26
5.	<b>ACELEROMETRO PIEZOELECTRICO .....</b>	<b>27</b>
5.1.	Señal de avería o mal funcionamiento .....	27
5.2.	Proceso de montaje de los acelerómetros .....	27
5.3.	Puesta a punto del sensor .....	27
6.	Sección de Información .....	28
6.1.	Ilustraciones y vistas del modelo .....	28
6.2.	Descripción del producto .....	28
6.3.	6.3. Encendido y alimentación .....	28
6.4.	Recolección de datos de deformación unitaria.....	28
6.5.	Recolección de datos de aceleración.....	28
7.	Características y Calibración DAQ ASISTENT .....	29
7.1.	Parámetros a considerar en la toma de datos. ....	29
8.	Guía de funcionamiento.....	139

---

## 1 Prefacio

---

### 1.1. Información sobre publicaciones

Este manual cuenta con instrucciones de operación, mantenimiento y condiciones para un buen funcionamiento.

Algunas fotografías o ilustraciones de este manual muestran detalles mediante los cuales se obtiene una calibración adecuada, asegurando así, un buen funcionamiento.

### 1.2. Seguridad

En esta sección se menciona las precauciones de seguridad básicas. Además, esta sección menciona las situaciones de peligro latente.

Lea y entienda las condiciones de seguridad antes de iniciar un ensayo (Inicio, toma de datos)

### 1.3. Operación

El modo de operación que se detalla a continuación es el satisfactorio, en donde se obtiene el mayor provecho al sistema de adquisición. La destreza de uso del sistema va aumentando a medida que el operador va adquiriendo más conocimiento sobre el sistema y sus sensores.

### 1.4. Mantenimiento

Esta sección constituye una guía para cuidar los equipos, así como los sensores del sistema de adquisición.

Además, existen varias recomendaciones mismas que deben realizarse durante un periodo de tiempo sugerido, de modo que se evita el desecho de ensayos.

---

## 2 Sección de seguridad

---

### 2.1. Avisos de seguridad

Asegúrese que todas las señales de inicio de funcionamiento de la DAQ assistant se encuentren encendidas en su totalidad y no de forma intermitente. Verifique la correcta conexión de cableado tanto de fuente de energía como de envío de señal de datos.

Evite dejar abierto la caja que contiene a los equipos, de modo que limita el ingreso de cualquier agente externo que genere averías parciales o totales los equipos o conexiones.

---

## 3 Señal de energización e inicio de funcionamiento

---



**Active:** Si este indicador se encuentra encendido de manera intermitente quiere decir que la energización no es la correcta por lo cual no se va a tener un buen funcionamiento del sistema de adquisición de datos.

**Ready:** Si el indicador Ready se encuentra encendido de modo intermitente, se considera que las señales que se están adquiriendo no son en forma continua.

Finalmente, para el uso continuo del sistema de adquisición de datos la el indicador debe marcar en forma continua la toma de datos mediante la luz de Ready.

## 4 GALGA EXTENSIOMÉTRICA

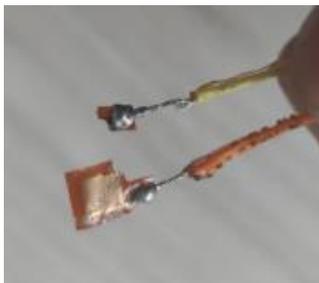
### 4.1. Señal de Avería o mal funcionamiento



Existen dos tipos de señales las cuales nos ayudan a la identificación del mal funcionamiento en la toma de datos con una galga extensiométrica.

Cuando la galga se encuentra total o parcialmente dañada, en el canal de toma de datos se genera una señal inestable, visualizándose ruido por lo que dichos valores son ilógicos.

Por otro lado, cuando ha sufrido una desconexión, la gráfica que se mostrara en el sistema de adquisición de datos es un valor constante elevado.



### 4.2. Proceso de montaje de las galgas extensiométricas

A continuación, se describe el procedimiento de montaje de las galgas sobre la probeta.

**Tabla 1:** Materiales usados para el montaje de las galgas extensiométricas

MATERIALES	UNIDADES
Frasco de acetona	2
Algodón 25 gr	1
Pliego de lija #80	1
Pliego de lija #120	1
Pliego de lija #400	1
Pliego de lija #600	1
Paño suave	1
Galgas extensiométricas	8
Pegamento Super Bonder	1
Resina Epóxica Natural	1

### 4.3. Ubicación de las galgas

Dado que se considera que la deformación será excesiva en la parte central de la probeta, se decide ubicar la galga a 15 cm desde el extremo izquierdo de la misma como se indica a continuación. Esto con el fin de asegurar la integridad de la galga, ya que de presentarse una deformación excesiva esta podría dañarse.

### 4.4. Lijado de la superficie

Con esto se buscó conseguir una superficie uniforme, para ello se empieza lijando con una lija gruesa en este caso la #80 hasta llegar a una lija más fina como es el caso de la #600. De esta forma se logra un acabado superficial liso sin imperfecciones como grietas o grumos que puedan interferir en la correcta toma de medidas por parte de la galga.



#### 4.5. Limpieza de la superficie

La limpieza de las superficies previamente lijadas es una parte complementaria para la preparación de la superficie, con esto se logra quitar toda partícula de las mismas.



De esta forma la superficie quedo lista para los siguientes procedimientos que contemplan el pegado de la galga.

#### 4.6. Manipulación de las galgas

Es recomendable manipular las galgas con sumo cuidado mediante unas pinzas, de tal forma que se evite el contacto directo con los dedos o con cualquier otra superficie o agente ya que esto puede dañar a la galga.



#### 4.7. Trazado de líneas guías o de orientación

Con ayuda de una escuadra o regla metálica y un lápiz (puede usarse también un rayador) se traza en la probeta unas líneas que harán la función de referencia o guía de donde iría pegada la galga.



#### 4.8. Ubicación y centrado

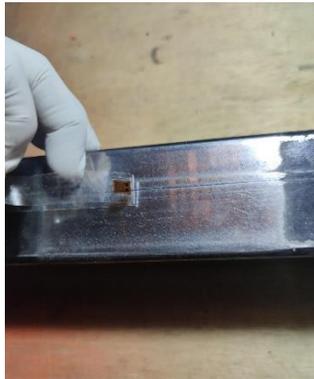
Se traza líneas de referencia en la cinta adhesiva a la que previamente se ubicó la galga, con el fin de hacer coincidir los trazos de la probeta con los trazos de dicha cinta. Esta operación requiere de mucho cuidado ya que el correcto centrado de la galga influye mucho en los valores a medir.



#### 4.9. Aplicación de adhesivo

Cuando la galga este correctamente orientada tanto en la cinta adhesiva como en la probeta, se procede a sobre pegarla. Luego se levanta la cinta adhesiva pegada a la

superficie de un extremo dejando unos 10 mm entre la superficie y la galga en la cinta adhesiva; se coloca una cantidad justa de pegamento (una gota) que cubra toda la parte inferior de la galga luego ubicando a la cinta a un ángulo de 30 ° con la superficie y empezar a pegar desde la parte previamente sujeta con firmeza y cuidando que no se forme grumos.



Una vez pegada la galga, se está en condiciones de soldar

#### 4.10. Precauciones para soldar

Para soldar cables, se hace uso de un caudín y estaño como material de aporte. En este paso, se recomienda tener cuidado con la punta del caudín dado que debido a la delicadeza de las galgas se corre riesgo de quemar la matriz o dañar el hilo conductor por una deformación provocada por el calor.



#### 4.11. Aplicación de recubrimiento

Es de vital importancia proteger a la galga de posibles daños mecánicos debido a rozos o golpes los cuales ponen en peligro la integridad de la galga. Por ello se cubre a la galga junto con los terminales de soldadura con una fina capa de resina epóxica.

Se espera todo un día para su secado o según indique la resina usada.

#### 4.12. Puesta a punto del sensor

Una vez establecido los parámetros de la DAQ assistant se procede a calibrar el sistema de adquisición para ellos es necesario una ecuación de calibración, como se indica en el capítulo 3.

---

## 5 ACELEROMETRO PIEZOELECTRICO

---

### 5.1. Señal de avería o mal funcionamiento



La ubicación y el modo de sujeción del acelerómetro son de vital importancia debido a que si existen deslizamientos la amplitud de la medida de aceleración cambiara considerablemente, reflejando una pérdida de amplitud de hasta un 50% en su valor.

La aplicación que se pretenda hacer define el tipo de sujeción mediante los lineamientos de la Datasheet, asegurándose de este modo evitar que el sensor sufra daños.

### 5.2. Proceso de montaje de los acelerómetros

Se selecciona el modo sujeción al impactador, sugerido en la Datasheet del sensor considerando la amplitud de la aceleración a la que va ser sometida el acelerómetro durante los ensayos de impacto

Para este caso, debido a la severidad del ensayo, se considera una frecuencia de toma de datos de 14 kHz con la cual según los detalles técnicos del acelerómetro nos

sugiere una unión mediante un prisionero para asegurar la integridad del acelerómetro.



Una vez determinado el modelo de sujeción, se considera adjuntar unas bases en donde se va acoplar al prisionero debido a la falta de espesor que proporciona los perfiles que conforman el refuerzo.

También se debe considerar el correcto ajuste, debido a que si el ajuste es excesivo puede verse comprometido la funcionalidad del sensor producto del impacto. Por otra parte, el contacto directo con la superficie de análisis durante el ensayo puede afectar gravemente al sensor por ellos se recomienda ubicar un empaque entre la superficie de contacto y el acelerómetro.

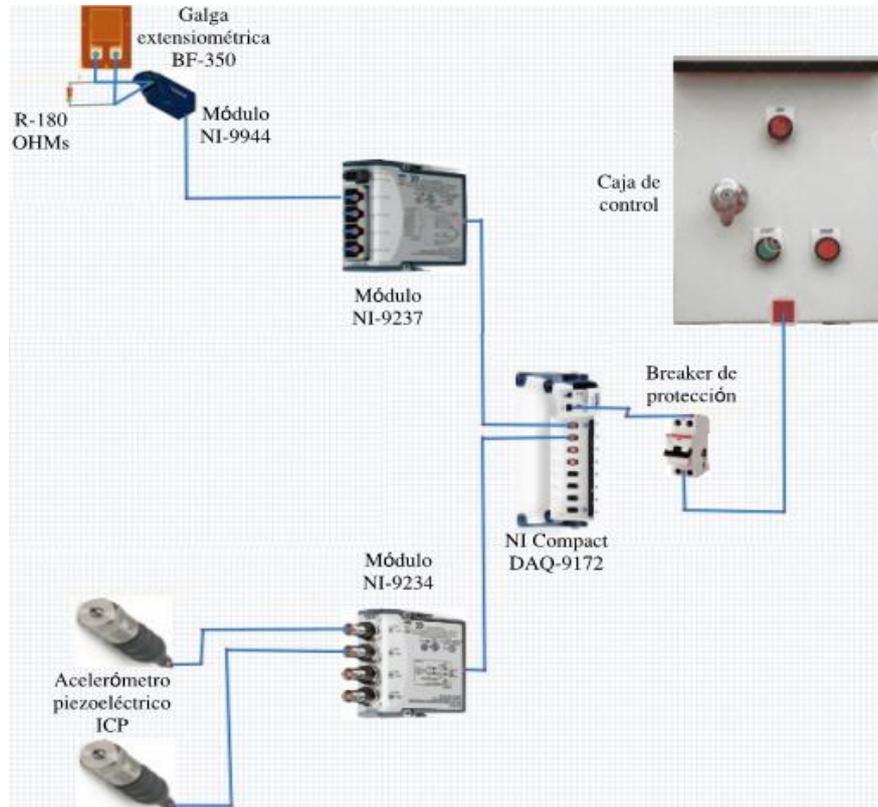


### 5.3. Puesta a punto del sensor

Si se contase con un acelerómetro calibrado se debe hacer ensayos en ambientes controlados.

Al no contar con un acelerómetro calibrado existe la posibilidad de realizar una comparación entre valores experimentales y teóricos hasta igualar las amplitudes registradas.

### 6.1. Ilustraciones y vistas del



modelo

### 6.4. Recolección de datos de deformación unitaria

### 6.2. Descripción del producto

El sistema de adquisición de datos fue desarrollado para proporcionar valores de aceleración vs tiempo y deformación vs tiempo de los cuales se derivan análisis como el esfuerzo durante el impacto y la posibilidad de hallar una relación entre el daño a los pasajeros del vehículo durante una colisión según la amplitud de la onda de aceleración.

### 6.3. Encendido y alimentación

La caja de control y Breaker son los dispositivos que realizan la función de

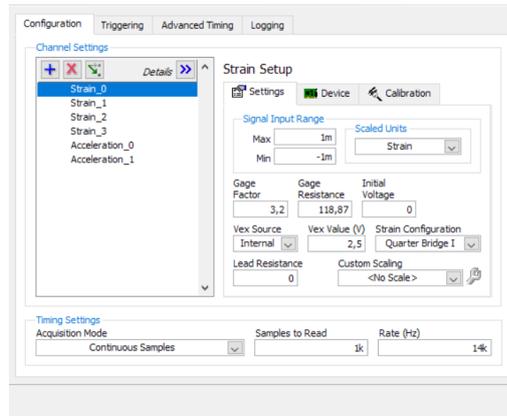
La galga extensiométrica emite las variaciones de deformación mediante una diferencia de potencial, dicha diferencia de potencial es percibida gracias a un cuarto de puente de Wheatstone mediante el Módulo NI 9944 son tratados gracias al módulo NI 9237 y la DAQ.

### 6.5. Recolección de datos de aceleración

La recepción y envío de los datos de aceleración se logra mediante el módulo NI 9237 y la DAQ.

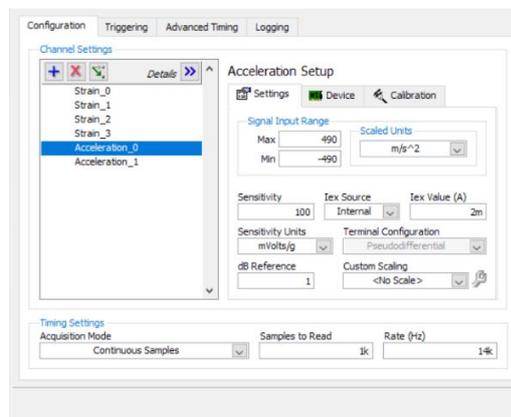
## 7 Características y Calibración DAQ ASISTENT

### 7.1. Parámetros a considerar en la toma de datos



Para calibración en la adquisición de la deformación unitaria se debe considerar:

- Voltaje inicial = 0.
- Factor de galga (recomendado por el fabricante de la galga) = 3,2.
- Resistencia de la galga = 118.87.
- Configuración (en función a nuestro tipo de conexión): Cuarto de puente de Wheatstone.



Para calibración en la adquisición de la aceleración se debe considerar:

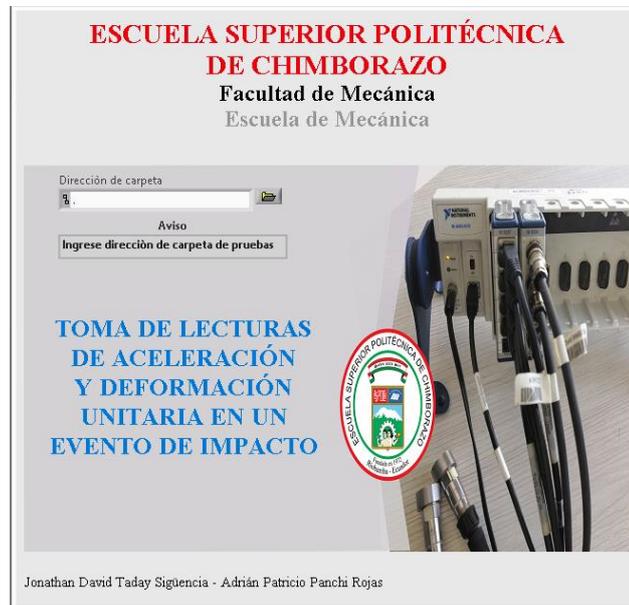
- Sensibilidad (indicada por el fabricante en el Datasheet de acelerómetro)
- Unidades deben ser en milivoltios/g.

De forma general en los ajustes del tiempo:

- Modo de adquisición: Continuous Samples (muestreo continuo)
- Numero de muestras: 1K
- Frecuencia de muestreo: 14K

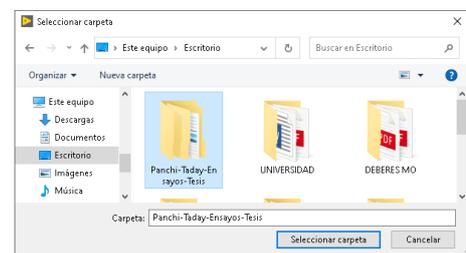
## 8. Guía de funcionamiento

Para iniciar con la toma de datos, al ejecutar el programa se presenta de la siguiente manera:



A continuación, por medio de un ejemplo se da a conocer el procedimiento a seguir para la adquisición de datos.

En primer lugar seleccione una carpeta general en una ubicación específica, en donde se van a guardar los diferentes ensayos (varios ensayos clasificados por tipo de ensayo, tipo de probeta, etc.)



Previamente seleccionada la dirección y el nombre de la carpeta, en el primer recuadro escriba el nombre del archivo (nombre del material, etc.) Por ejemplo se ingresa el nombre del archivo como “Acero ASTM A-36”. Clic derecho en cualquier parte de la ventana para confirmar.

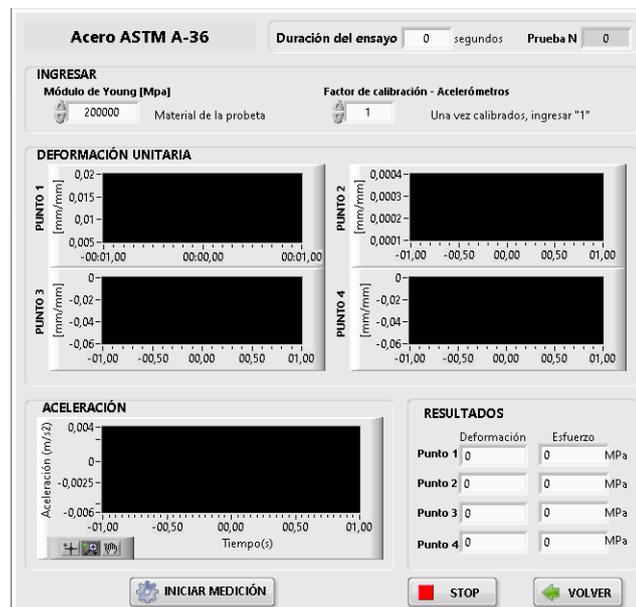


En el segundo recuadro al desplegar la lista, aparecerá el nombre previamente ingresado, seleccionarlo y se muestra la verificación del nombre ingresado.



Una vez verificado el nombre de la prueba, se visualizará el botón “PRUEBA”.

Clic en el botón “PRUEBA” y se generará otra pestaña en donde debe ingresar el factor de corrección de amplitud (aceleración) y el Modulo de Young del material (determinación del esfuerzo).

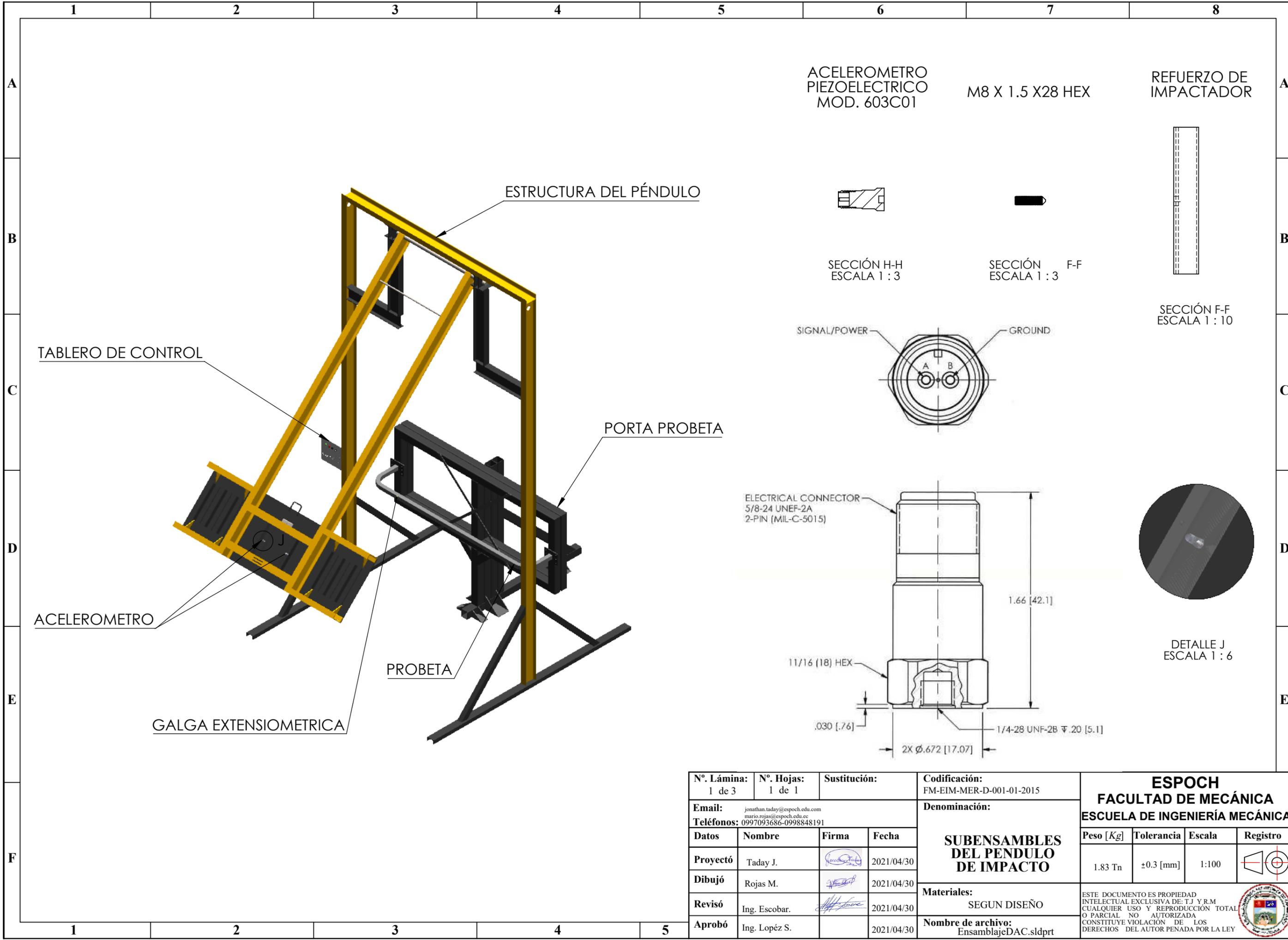


Una vez ingresado los parámetros sugeridos, dar clic en “MEDIR” para dar inicio a la adquisición de datos de las dos variables aceleración y deformación unitaria de forma simultánea. En el caso de la deformación unitaria, al existir cuatro canales es posible medir dicha variable en cuatro puntos distintos. En el caso de la aceleración, el resultado será el promedio de los dos acelerómetros usados, por lo que estos deberán tener una misma ubicación.

Finalmente, una vez que se quiera detener la medición dar clic en “STOP” y luego en “DETENER”. El programa guarda automáticamente y en forma secuencial los diferentes ensayos a fin de tenerlos organizados en una misma carpeta para facilidad del usuario.

Una vez que se detenga el programa y se dirija el usuario a la carpeta contenedora se le aparece archivos tipo Excel, resultado del ensayo o de los ensayos realizados.

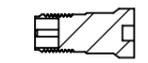




ACCELEROMETRO  
PIEZOELECTRICO  
MOD. 603C01

M8 X 1.5 X28 HEX

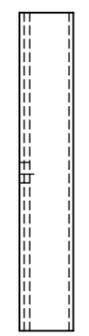
REFUERZO DE  
IMPACTADOR



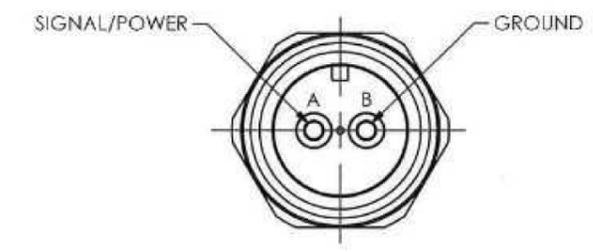
SECCIÓN H-H  
ESCALA 1 : 3



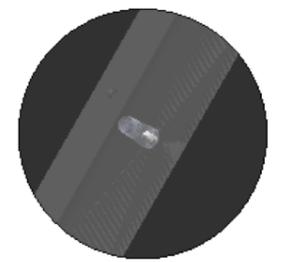
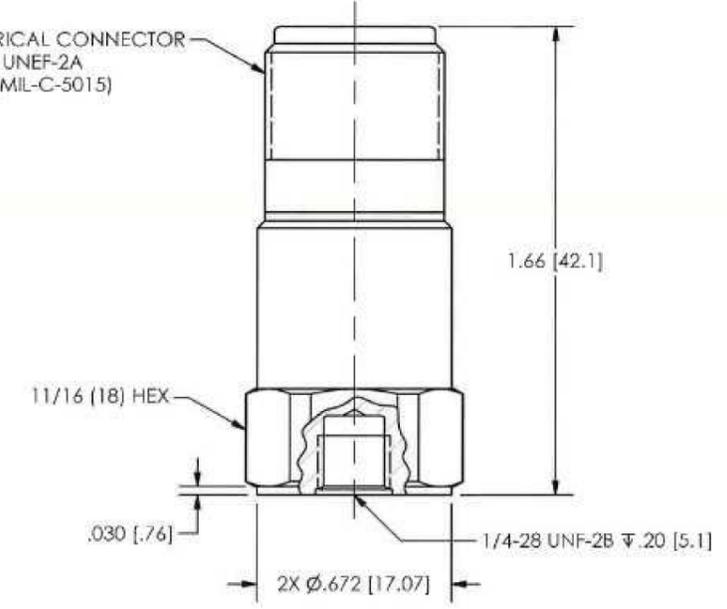
SECCIÓN F-F  
ESCALA 1 : 3



SECCIÓN F-F  
ESCALA 1 : 10



ELECTRICAL CONNECTOR  
5/8-24 UNEF-2A  
2-PIN (MIL-C-5015)



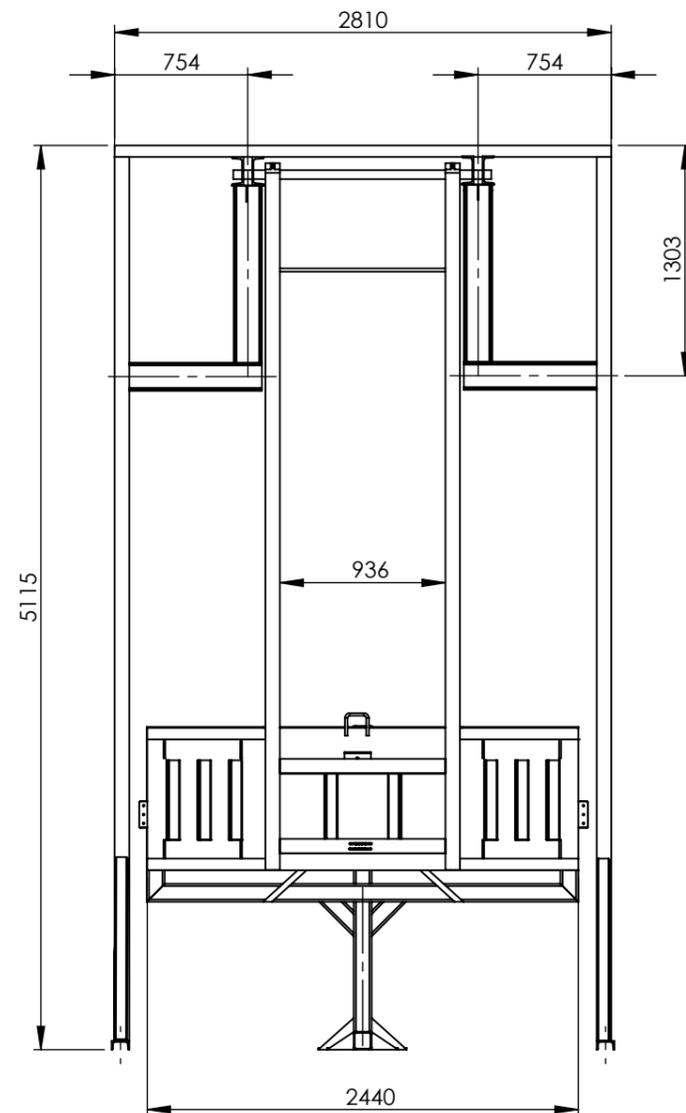
DETALLE J  
ESCALA 1 : 6

Nº. Lámina: 1 de 3		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
Email: jonathan.taday@esPOCH.edu.com mario.rojas@esPOCH.edu.ec		Teléfonos: 0997093686-0998848191		Denominación:  <b>SUBENSAMBLES DEL PENDULO DE IMPACTO</b>		Peso [Kg] 1.83 Tn						Tolerancia ±0.3 [mm]	
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN DISEÑO		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELCTUAL EXCLUSIVA DE: T.J Y.R.M CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Proyectó	Taday J.		2021/04/30										
Dibujó	Rojas M.		2021/04/30										
Revisó	Ing. Escobar.		2021/04/30										
Aprobó	Ing. Lopéz S.		2021/04/30										

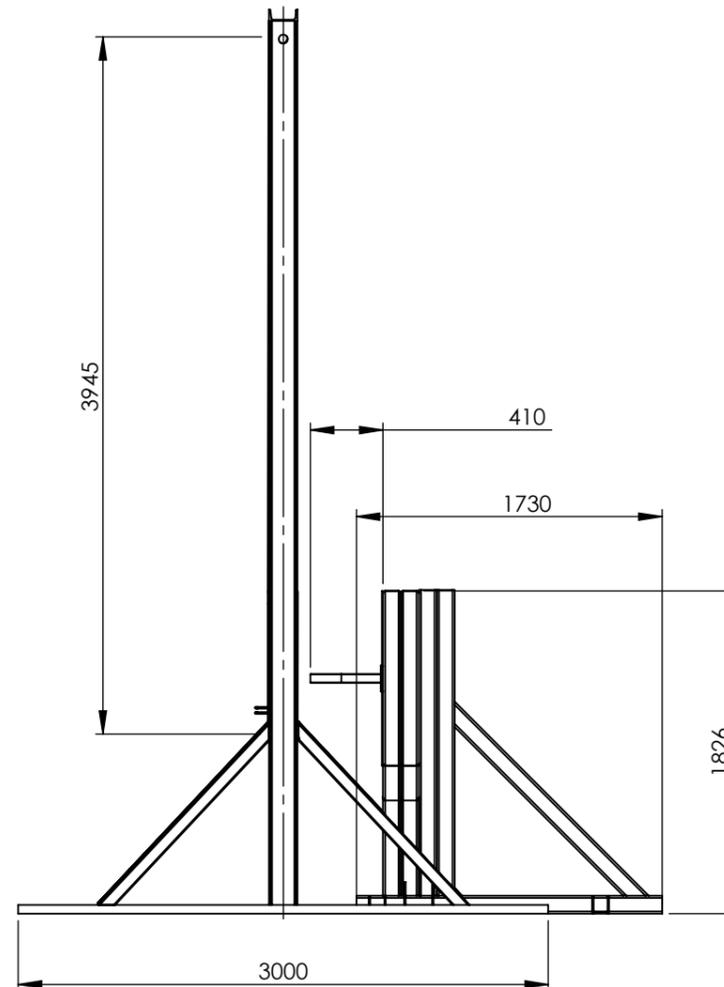
# PÉNDULO DE IMPÁCTO

## SISTEMA DE ADQUISICIÓN

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

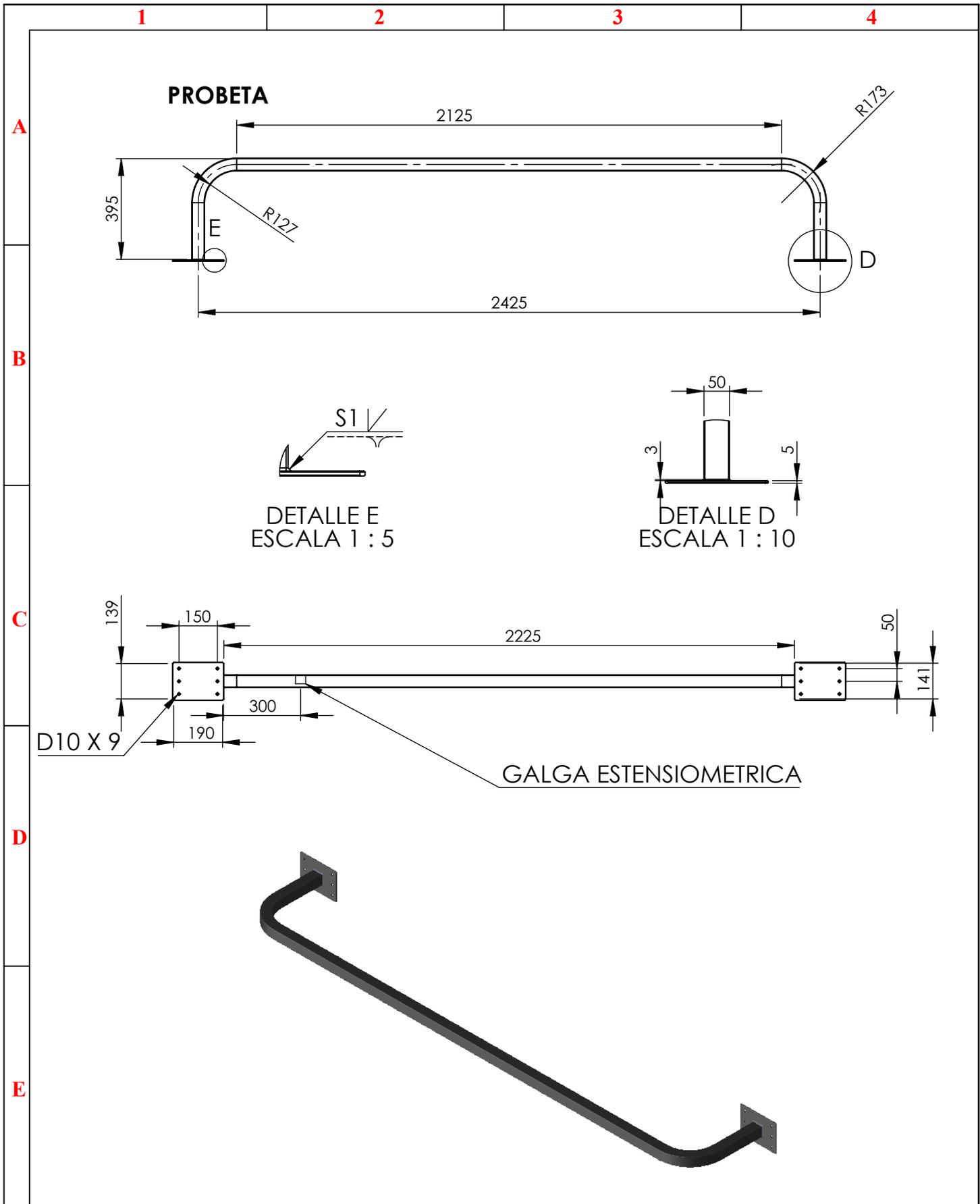


### DATOS DE DISEÑO

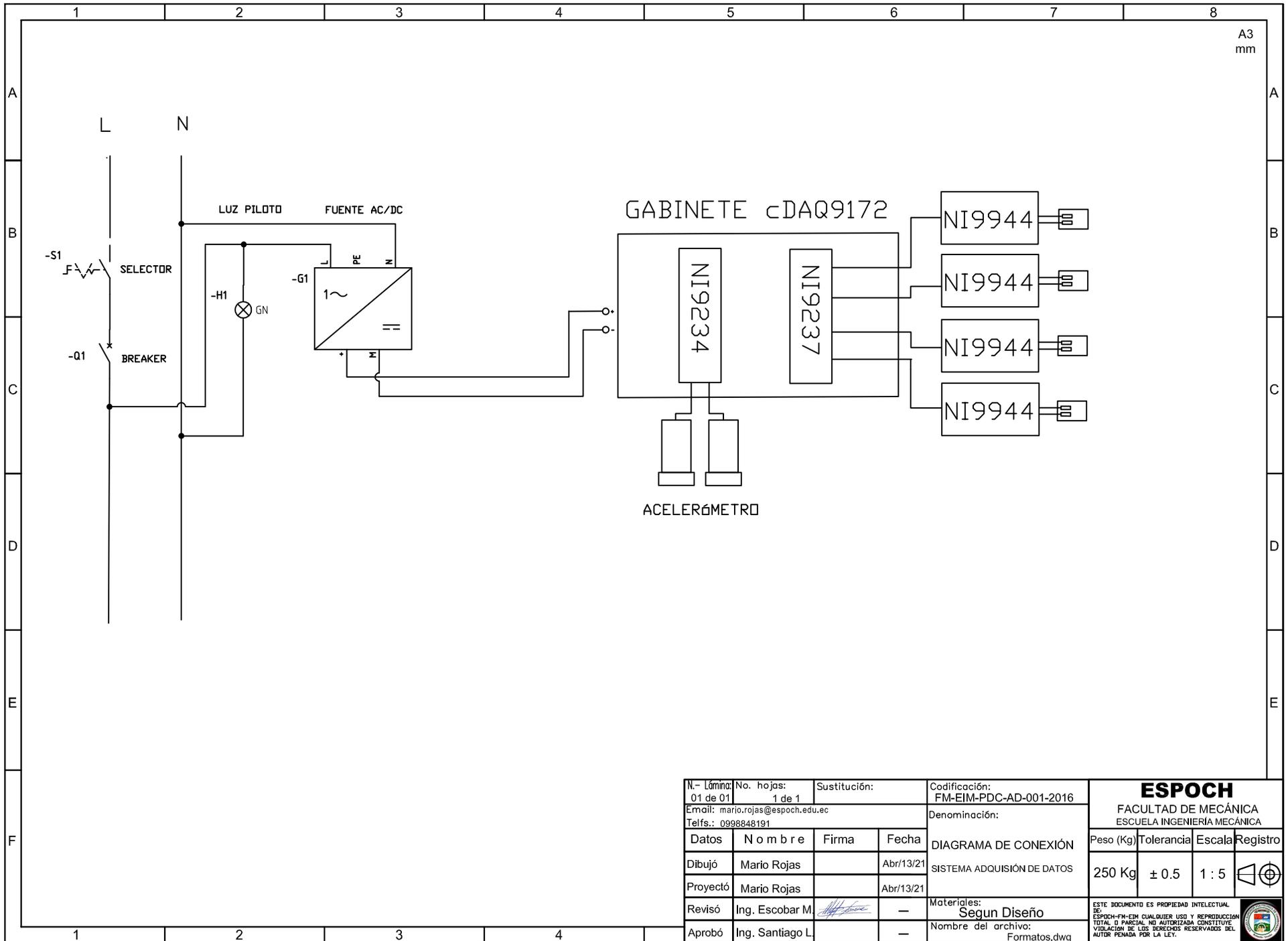
CARACTERISTICAS	UNIDADES
ENERGIA DE FUNCIONAMIENTO	65KJ
VOLTAJE	110 V
AMPERAJE	10 A
ANGULO DE ELEVACION	0-90°
PESO	1836.5 Kg
PINTURA	ESMALTE PROTECTOR AMARRILLO

ELEMENTO	MATERIAL SEGUN CODIGO ASTM	MATERIAL COMERCIAL	ESPEORES
COLUMNA	A36/A36M-08	UPN	
BRAZOS	A36/A36M-08	IPN	
IMPACTADOR	AISC 303-10	PLANCHA DE ACERO	6mm
REFUERZOS	AISI 1020	ANGULO	3*2*0.25 in
BASES	AISI 1020	PERFIL CUADRADO	2.2 mm
PORTA PROBETA	AISI 1020	PERFIL CUADRADO	2.2 mm
PROBETA	A307-07b	PERFIL CUADRADO	2.2 mm
PENDULO	A36/A36M-08	IPN	

Nº. Lámina: 2 de 3	Nº. Hojas: 1 de 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
Email: jonathan.taday@esPOCH.edu.ec mario.rojas@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0997093686-0998848191			Denominación: <b>PÉNDULO DE IMPACTO SISTEMA DE ADQUISICIÓN</b>					Peso [Kg] 1.83 Tn
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: T.J Y R.M CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY		
Proyectó	Taday J.		2021/04/30					
Dibujó	Rojas M.		2021/04/30					
Revisó	Ing. Escobar		2021/04/30					
Aprobó	Ing. Lopéz S.		2021/04/30	Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt				



N°. Lámina: 3 de 3		N°. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: jonathan.taday@esPOCH.edu.ec mario.rojas@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0997093686-0998848191						Denominación:  <b>PROBETA</b>					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN DISEÑO		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt		1.83 Tn	±0.3 [mm]	1:100	
Proyectó	Taday J.		2021/04/30	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE T.J Y R.M CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
Dibujó	Rojas M.		2021/04/30								
Revisó	Ing. Escobar.		2021/04/30								
Aprobó	Ing. Lopéz S.		2021/04/30								



N.- Lámina: 01 de 01		No. hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-PDC-AD-001-2016		<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA					
Email: mario.rojas@esPOCH.edu.ec Telfs.: 0998848191				Denominación: DIAGRAMA DE CONEXIÓN		Peso (Kg): 250 Kg						Tolerancia: ± 0.5	
Datos	Nombre	Firma	Fecha	SISTEMA ADQUISIÓN DE DATOS				Registro		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DE ESPOCH-FM-EIM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS RESERVADOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.			
Dibujó	Mario Rojas		Abr/13/21	Materiales: Segun Diseño		Nombre del archivo: Formatos.dwg							
Proyectó	Mario Rojas		Abr/13/21	Revisó								Ing. Escobar M.	
Aprobó	Ing. Santiago L.			Aprobó								Ing. Santiago L.	





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 15 / 12 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> JONATHAN DAVID TADAY SIGÜENCIA ADRIAN PATRICIO PANCHI ROJAS
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> MECÁNICA
<b>Carrera:</b> INGENIERÍA MECÁNICA
<b>Título a optar:</b> INGENIERO MECÁNICO
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

2081-DBRA-UPT-2021