Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

# Implementación de micro controladores electrónicos de bajo costo en la adquisición de deformaciones unitarias en estructuras

## Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

#### Josué Berrocal Flores

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Yi Cheng Liu Kuan, M.Sc.

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

Diciembre, 2021

Hoja de aprobación



Director del proyecto: Ing. Yi Cheng Liu Kuan, MSc.

SergioLoboA.

Asesor: Ing. Sergio Lobo Aguilar, PhD.

Relando

Asesor: Ricardo Román Brenes, MSc.

A200

Estudiante: Josué Berrocal Flores.

#### Derechos de propiedad intelectual

#### Fecha: 2021, diciembre, 15

El suscrito, **Josué Berrocal Flores**, cédula 1-1490-0690, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B10966**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Implementación de microcontroladores electrónicos de bajo costo en la adquisición de deformaciones unitarias en estructuras**, bajo la Dirección del **Ing. Yi Cheng Liu Kuan**, **M.Sc.**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos Nº 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

### Dedicatoria

El presente trabajo de graduación, es dedicado en primera instancia a mi madre, quien con amor y paciencia siempre ha hecho brotar la mejor versión de mí en todos los aspectos, seguido de mi madre, es dedicado a cada uno de los docentes que fueron parte de mi formación, cada uno de ellos aporto aspectos positivos para capacitarme como profesional, por ultimo lo dedico a cada integrante de las organizaciones deportivas en las que he tenido la dicha de participar, ellos han ayudado a que mi formación como profesional sea integral.

### Agradecimientos

A la Lic. Luz Berrocal Flores, mi madre, por apoyarme e impulsarme a obtener la titulación, además por estar siempre en cada situación difícil, gracias por tus sabios consejos.

Al Ing. Yi Cheng Liu Kuan, por toda la ayuda brindada en la elaboración de este proyecto de graduación, además por todo el conocimiento aportado en cada uno de los cursos que me impartió y por la confianza que siempre ha depositado en mí.

Al Ing. Ricardo Román Brenes, por aceptar ser parte de mi comité asesor, y por toda la asesoría técnica en el área de electrónica y programación.

Al Ing. Pablo Agüero Barrantes, por ser parte del proceso y por la iniciativa junto con Yi Cheng de realizar el proyecto, también por la asesoría técnica brindada y los dispositivos electrónicos facilitados.

Al Ing. Sergio Lobo Aguilar, por aceptar ser parte de mi comité asesor, y por toda la asesoría técnica en el área de ingeniería estructural.

A Oscar Morera y Oldemar Ramírez por el apoyo brindado en los aspectos técnicos relacionados a su especialidad.

A amigos y amigas cercanos, por apoyarme e impulsarme a obtener la titulación.

# Índice

# Página

1. Introdu	Jcción1
1.1 Ju	stificación1
1.1.1	El problema especifico1
1.1.2	Importancia2
1.1.3	Antecedentes teóricos y prácticos del problema3
1.2 Oł	ojetivos6
1.2.1	Objetivo general6
1.2.2	Objetivos específicos6
1.3 De	elimitación del problema6
1.3.1	Alcance6
1.3.2	Limitaciones
1.4 Me	etodología9
1.4.1	Fase teórica10
1.4.2	Fase de implementación10
1.4.3	Fase de validación10
1.4.4	Fase de elaboración del informe10
2 Marco	conceptual y teórico11
2.1 De	eformación y conceptos relacionados11
2.1.1	Deformación unitaria11
2.1.2	Deformación flexionante12
2.1.3	Esfuerzo por flexión13
2.2 Ca	aracterísticas y composición del dispositivo raspberry pi
2.2.1	Modelos del dispositivo raspberry pi al año 202015
2.2.2	Comparación de modelos del dispositivo raspberry pi21
2.2.3	Alimentación del raspberry pi 3 model B22

		2.2.	4	Sistemas operativos para raspberry pi 3 model B22	3
		2.2.	5	Acceso remoto al raspberry pi 3 model B24	4
	2.	.3	Cara	acterísticas y composición del dispositivo arduino2	5
		2.3.	1	Modelos del dispositivo arduino	6
		2.3.	2	Comparación de modelos del dispositivo arduino30	6
	2.	.4	Sen	sores	7
		2.4.	1	Señales eléctricas	7
		2.4.	2	Galgas extensiométricas	8
		2.4.	3	Puente de wheatstone4	1
	2.	.5	Tec	nología IoT para documentación de sensores4	3
		2.5.	1	Plataforma cayenne de myDevices4	3
3		Imp	leme	entación del DAQ4	5
	3.	.1	DAC	2: Esquema general y caracterización4	5
		3.1.	1	Galga extensiométrica BF3504	6
		3.1.	2	Strain gauge module4	7
		0.11	_		
		3.1.	3	Arduino UNO4	8
		3.1. 3.1.	- 3 4	Arduino UNO	8 8
		3.1. 3.1. 3.1.	- 3 4 5	Arduino UNO	8 8 9
	3.	3.1. 3.1. 3.1. 3.1. .2	- 3 4 5 Ras	Arduino UNO	8 8 9 3
	3. 3.	3.1. 3.1. 3.1. 3.1. .2 .3	3 4 5 Ras Rea	Arduino UNO	8 8 9 0
	3. 3. 3.	3.1. 3.1. 3.1. 3.1. .2 .3	- 3 4 5 Ras Rea Cay	Arduino UNO       44         Arduino IDE y Cayenne       44         Raspberry Pi 3 model B       44         pbian: Instalación de sistema operativo       56         I VNC: Habilitación y registro       54         enne: Registro y conexión de arduino UNO       54	8 8 9 0 4 9
	3. 3. 3.	3.1. 3.1. 3.1. .2 .3 .4	3 4 5 Ras Rea Cay Ard	Arduino UNO       44         Arduino IDE y Cayenne       44         Raspberry Pi 3 model B       44         pbian: Instalación de sistema operativo       56         I VNC: Habilitación y registro       54         enne: Registro y conexión de arduino UNO       54         uino IDE: Programación de arduino UNO       64	8 9 0 4 9 5
	3. 3. 3. 3.	3.1. 3.1. 3.1. .2 .3 .4 .5 .6	3 4 S Ras Rea Cay Ard	Arduino UNO	8 9 0 4 9 5 2
4	3. 3. 3. 3.	3.1. 3.1. 3.1. .2 .3 .4 .5 .6 Valio	- 3 4 5 Ras Rea Cay Ard Cay	Arduino UNO       44         Arduino IDE y Cayenne       44         Raspberry Pi 3 model B       44         pbian: Instalación de sistema operativo       56         I VNC: Habilitación y registro       56         enne: Registro y conexión de arduino UNO       56         uino IDE: Programación de arduino UNO       66         enne: Publicación de deformaciones unitarias       76         ón del DAQ       75	8 9 0 4 9 5 5
4	3. 3. 3. 3. 3.	3.1. 3.1. 3.1. .2 .3 .4 .5 .6 Valia	- 3 4 5 Ras Rea Cay Ardi Cay dació	Arduino UNO.       44         Arduino IDE y Cayenne       44         Raspberry Pi 3 model B.       44         pbian: Instalación de sistema operativo       54         I VNC: Habilitación y registro       54         enne: Registro y conexión de arduino UNO       54         uino IDE: Programación de arduino UNO.       64         enne: Publicación de deformaciones unitarias       74         ón del DAQ       74         delo estructural       74	8 9 0 4 9 5 5

	4.1	2	Ubicación de galgas extensiométricas	.79
	4.1	3	Carga límite del rango elástico	.82
ł	4.2	Res	sultados y validación	.83
	4.2	2.1	Resultados experimentales	.85
	4.2	2.2	Resultados teóricos1	104
	4.2	2.3	Validación teórica	L05
ł	4.3	Con	nparación de características contra un DAQ estándar	L07
5	Со	nclusi	iones1	108
6	Re	come	ndaciones1	109
7	Re	ferend	cias1	l11
Ap	éndio	ces		A
	Apén	dice 1	1: Diseño de espécimen estructural	A
	Apén	dice 2	2: Esquema "Arduino UNO"	В
1	Apén	dice 3	3: Esquema "Raspberry pi 3 model b"	C
	Apén	dice 4	4: Código para verificar deformaciones en el monitor serial	D
	Apén	dice 5	5: Resultados experimentales, ubicación 1	Е
	Apén	dice 6	6: Resultados experimentales, ubicación 2	K

# Índice de figuras

# Página

Figura 1.1: Metodología	9
Figura 2.1: Variación de la deformación flexionante.	
Figura 2.2: Variación del esfuerzo flexionante	
Figura 2.3: Raspberry pi compute module.	
Figura 2.4: Compute module IO board	
Figura 2.5: Raspberry pi zero	
Figura 2.6: Raspberry pi zero w	
Figura 2.7: Raspberry pi A+	
Figura 2.8: Raspberry pi B+	
Figura 2.9: Raspberry pi 2 model B	
Figura 2.10: Raspberry pi 3 model B	20
Figura 2.11: Raspberry pi 3 model B+	21
Figura 2.12: Arduino DUE	27
Figura 2.13: Diagrama de pines arduino DUE	
Figura 2.14: Arduino UNO	
Figura 2.15: Diagrama de pines arduino UNO	
Figura 2.16: Arduino UNO WiFi Rev2	
Figura 2.17: Diagrama de pines arduino UNO WiFi Rev2	
Figura 2.18: Arduino NANO	
Figura 2.19: Diagrama de pines arduino NANO	
Figura 2.20: Arduino NANO 33 IoT	35
Figura 2.21: Diagrama de pines arduino NANO 33 IoT	
Figura 2.22: Puente de Wheatstone	
Figura 3.1: Esquema general del DAQ	45
Figura 3.2: Esquema ensamblado del DAQ.	

	50
Figura 3.4: Instalación de raspberry pi imager	51
Figura 3.5: Ejecución de raspberry pi imager	51
Figura 3.6: Selección de SO en raspberry pi imager	52
Figura 3.7: Selección de memoria externa en raspberry pi imager	52
Figura 3.8: Levantamiento de SO en raspberry pi imager	53
Figura 3.9: Levantamiento grafico de SO en raspberry pi	53
Figura 3.10: Ejecución de comando 3.2.1	54
Figura 3.11: Ejecución de comando 3.2.2	55
Figura 3.12: Habilitación de VNC gráficamente	55
Figura 3.13: Ejecución de comando 3.2.3	56
Figura 3.14: Menú de herramientas de configuración	56
Figura 3.15: Configuración de conexiones de periféricos	57
Figura 3.16: Habilitación de VNC server por línea de comandos	57
Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer	59
Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer Figura 3.18: Registro en Cayenne	59 59
Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer Figura 3.18: Registro en Cayenne Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne	59 59 60
<ul><li>Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer</li><li>Figura 3.18: Registro en Cayenne</li><li>Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne</li><li>Figura 3.20: Interfaz de selección de dispositivos en Cayenne</li></ul>	59 59 60 61
<ul> <li>Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer</li> <li>Figura 3.18: Registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.20: Interfaz de selección de dispositivos en Cayenne</li> <li>Figura 3.21: Interfaz de configuración de arduino en Cayenne</li> </ul>	59 59 60 61 61
<ul> <li>Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer</li> <li>Figura 3.18: Registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.20: Interfaz de selección de dispositivos en Cayenne</li> <li>Figura 3.21: Interfaz de configuración de arduino en Cayenne</li> <li>Figura 3.22: Menú para incluir librería cayenne MQTT</li> </ul>	59 59 60 61 61 62
<ul> <li>Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer</li> <li>Figura 3.18: Registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.20: Interfaz de selección de dispositivos en Cayenne</li> <li>Figura 3.21: Interfaz de configuración de arduino en Cayenne</li> <li>Figura 3.22: Menú para incluir librería cayenne MQTT</li> <li>Figura 3.23: Administrador de librerías de Arduino IDE</li> </ul>	59 59 60 61 61 62 63
<ul> <li>Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer</li> <li>Figura 3.18: Registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.20: Interfaz de selección de dispositivos en Cayenne</li> <li>Figura 3.21: Interfaz de configuración de arduino en Cayenne</li> <li>Figura 3.22: Menú para incluir librería cayenne MQTT</li> <li>Figura 3.23: Administrador de librerías de Arduino IDE</li> <li>Figura 3.24: Selección de placa y puerto de comunicación en Arduino IDE</li> </ul>	59 59 60 61 61 62 63 63
<ul> <li>Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer</li> <li>Figura 3.18: Registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.20: Interfaz de selección de dispositivos en Cayenne</li> <li>Figura 3.21: Interfaz de configuración de arduino en Cayenne</li> <li>Figura 3.22: Menú para incluir librería cayenne MQTT</li> <li>Figura 3.23: Administrador de librerías de Arduino IDE</li> <li>Figura 3.24: Selección de placa y puerto de comunicación en Arduino IDE</li> <li>Figura 3.25: Código de conexión entre arduino UNO y Cayenne</li> </ul>	59 59 60 61 61 62 63 63 63
<ul> <li>Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer</li> <li>Figura 3.18: Registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.20: Interfaz de selección de dispositivos en Cayenne</li> <li>Figura 3.21: Interfaz de configuración de arduino en Cayenne</li> <li>Figura 3.22: Menú para incluir librería cayenne MQTT.</li> <li>Figura 3.23: Administrador de librerías de Arduino IDE.</li> <li>Figura 3.24: Selección de placa y puerto de comunicación en Arduino IDE.</li> <li>Figura 3.25: Código de conexión entre arduino UNO y Cayenne.</li> <li>Figura 3.26: Selección del tipo de conexión en Cayenne.</li> </ul>	59 59 60 61 61 62 63 63 63 64 65
<ul> <li>Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer</li> <li>Figura 3.18: Registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne</li> <li>Figura 3.20: Interfaz de selección de dispositivos en Cayenne</li> <li>Figura 3.21: Interfaz de configuración de arduino en Cayenne</li> <li>Figura 3.22: Menú para incluir librería cayenne MQTT</li> <li>Figura 3.23: Administrador de librerías de Arduino IDE</li> <li>Figura 3.24: Selección de placa y puerto de comunicación en Arduino IDE</li> <li>Figura 3.25: Código de conexión entre arduino UNO y Cayenne</li> <li>Figura 3.26: Selección del tipo de conexión en Cayenne</li> <li>Figura 3.27. Conexión exitosa de arduino UNO a Cayenne</li></ul>	59 59 60 61 62 63 63 63 64 65 66

Figura 3.29. Código para obtención de deformaciones unitarias	68
Figura 3.30: Publicación de micro deformaciones unitarias en overview.	71
Figura 3.31: Submenú details and charts de overview.	71
Figura 3.32: Publicación de micro deformaciones unitarias en "data"	72
Figura 3.33: Publicación de micro deformaciones unitarias en overview.	73
Figura 3.34: Submenú details and charts de overview	74
Figura 4.1: Modelo tridimensional del espécimen estructural	75
Figura 4.2: Despiece del espécimen estructural	76
Figura 4.3: Vista lateral: Configuración del espécimen estructural	76
Figura 4.4: Vista superior: Configuración del espécimen estructural	77
Figura 4.5: Espécimen estructural instalado en el lugar de monitoreo.	77
Figura 4.6: Ubicación de galgas extensiométricas en espécimen estructural	80
Figura 4.7: Ubicación de galgas extensiométricas en espécimen instalado	80
Figura 4.8: Vista superior de ubicación de galgas extensiométricas	81
Figura 4.9: Vista ampliada de ubicación de galgas extensiométricas.	81
Figura 4.10: Monitoreo de deformaciones unitarias en ubicación 1	84
Figura 4.11: Monitoreo de deformaciones unitarias en ubicación 2	85
Figura 4.12: Deformaciones unitarias en la ubicación 1	94
Figura 4.13: Deformaciones unitarias en la ubicación 21	03
Figura A.1 Diseño de espécimen estructural	. A
Figura A.2: Esquema arduino UNO	. В
Figura A.3: Esquema raspberry pi 3 model B.	. C
Figura A.4 Código para verificar deformaciones en el monitor serial	. D

## Índice de cuadros

Cuadro 2.1: Comparación de características entre modelos del dispositivo raspberry pi21
Cuadro 2.2: Comparación de características entre modelos del dispositivo arduino
Cuadro 3.1: Resumen de especificaciones de la galga extensiométrica BF35047
Cuadro 3.2: Resumen de especificaciones del strain gauge module
Cuadro 3.3: Resumen de especificaciones de arduino UNO48
Cuadro 3.4: Resumen de especificaciones de raspberry pi 3 model B
Cuadro 3.5: Constantes implementadas en el código69
Cuadro 4.1: Escenarios de carga en la ubicación 183
Cuadro 4.2: Escenarios de carga en la ubicación 2
Cuadro 4.3: Resultados experimentales del ensayo 1.186
Cuadro 4.4: Resultados experimentales del ensayo 1.287
Cuadro 4.5: Resultados experimentales del ensayo 1.388
Cuadro 4.6: Resultados experimentales del ensayo 1.4
Cuadro 4.7: Resultados experimentales del ensayo 1.590
Cuadro 4.8: Resultados experimentales del ensayo 1.691
Cuadro 4.9: Resultados experimentales del ensayo 1.792
Cuadro 4.10: Deformaciones unitarias promedio en la ubicación 193
Cuadro 4.11: Desviación estándar del ruido en la ubicación 193
Cuadro 4.12: Desviación estándar de las deformaciones en la ubicación 194
Cuadro 4.13: Resultados experimentales del ensayo 2.195
Cuadro 4.14: Resultados experimentales del ensayo 2.296
Cuadro 4.15: Resultados experimentales del ensayo 2.397
Cuadro 4.16: Resultados experimentales del ensayo 2.498
Cuadro 4.17: Resultados experimentales del ensayo 2.599
Cuadro 4.18: Resultados experimentales del ensayo 2.6

Cuadro 4.19: Resultados experimentales del ensayo 2.7101
Cuadro 4.20: Deformaciones unitarias promedio en la ubicación 2102
Cuadro 4.21: Desviación estándar del ruido en la ubicación 2
Cuadro 4.22: Desviación estándar de las deformaciones en la ubicación 2103
Cuadro 4.23: Variables mecánicas y geométricas en la ubicación 1104
Cuadro 4.24: Deformaciones unitarias teóricas en la ubicación 1104
Cuadro 4.25: Variables mecánicas y geométricas en la ubicación 2105
Cuadro 4.26: Deformaciones unitarias teóricas en la ubicación 2105
Cuadro 4.27: Comparación de resultados teóricos y experimentales en la ubicación 1106
Cuadro 4.28: Comparación de resultados teóricos y experimentales en la ubicación 2106
Cuadro 4.29: Comparación entre el DAQ desarrollado y un DAQ estándar107
Cuadro A.1: Resultados experimentales en la ubicación 1E
Cuadro A.2: Resultados experimentales en la ubicación 2 K

# Abreviaturas y acrónimos

ARM11	Primer conjunto de máguinas avanzadas RISC
BCM2835	Procesador marca Broadcom modelo 2835
BCM2837	Procesador marca Broadcom modelo 2837
BF350	Resistencia eléctrica de 350 Ohm tipo laminar con resina fenólica modificada
Bit	Digito binario por sus siglas en inglés
CPU	Unidad central de procesos por sus siglas en ingles
DAO	Sistema de adquisición de datos por sus siglas en ingles
EEPROM	Memoria solo de lectura eléctricamente programable y borrable por sus siglas en
	ingles
GPIO	Entradas/Salidas de propósito general por sus siglas en ingles
HDMI	Interfaz multimedia de alta definición
IDE	Entorno de desarrollo integrado por sus siglas en ingles
IO	Entradas/Salidas por sus siglas en ingles
IoT	Internet de las cosas por sus siglas en ingles
PCB	Placa de circuito impreso por sus siglas en ingles
RAM	Memoria de acceso aleatoria
RISC	Computadora con conjunto de instrucciones reducido por sus siglas en ingles
SD	Digital Segura, Tipo de memoria ROM
SoC	Sistema sobre un chip por sus siglas en ingles
USB	Puerto seriado universal por sus siglas en ingles
USD	Dólar de Estados Unidos
WiFi	Fidelidad inalámbrica por sus siglas en ingles
ADC	Conversor de señal analógica a digital
CAN	Canal controlador de red de zona por sus siglas en ingles
I2C	Circuito inter-integrado por sus siglas en ingles
SPI	Interfaz en serie para periféricos por sus siglas en ingles
JTAG	Interfaz de estándar para pruebas de fabricación por sus siglas en ingles
ICSP	Programación serial en circuito por sus siglas en ingles
ATmega328P	Microcontrolador de marca Atmel de la serie megaAVR
CORE i5	Procesador de media gama, marca Intel
ASTM A36	Norma especifica de fabricación de acero
E6013	Electrodo con fluencia a los 60 Ksi, soldadura en cualquier posición y recubrimiento
	de celulosa de titanio
SO	Sistema operativo
ISO	Imagen de sistema operativo
MQTT	Transporte de telemetría de cola de mensajes por sus siglas en ingles
BIOS	Sistema básico de entradas y salidas por sus siglas en ingles
IP	Protocolo de internet por sus siglas en ingles
GF	Factor de galga
CSV	Valores separados por coma

Berrocal Flores, Josué

Implementación de micro controladores electrónicos de bajo costo en la adquisición de deformaciones unitarias en estructuras

Proyecto de Graduación-Ingeniería Civil-San José. C.R.:

J. Berrocal F., 2021

xiv, 115, [16]h; ils. col. -58 refs

#### Resumen

El proyecto consistió, en el establecimiento de un sistema de adquisición de datos con tecnología de internet de las cosas, que implementa microcontroladores electrónicos de bajo costo, orientado a la adquisición de deformaciones unitarias en estructuras.

Al configurar e implementar diferentes componentes electrónicos y paquetes informáticos, se estableció el sistema de adquisición de deformaciones unitarias. Una vez puesta en marcha la adquisición, visualización y documentación de las deformaciones unitarias con el sistema, se validaron las mediciones del conjunto electrónico, mediante el monitoreo de las deformaciones unitarias en dos puntos de un espécimen estructural en voladizo, ante un incremento escalonado de cargas en su extremo libre y realizando la comparación de los resultados contra los valores analíticos determinados con la teoría de mecánica del sólido.

Se logró establecer un DAQ de bajo costo, que implementa tecnología IoT para la adquisición, visualización y documentación de deformaciones unitarias, con un porcentaje de error en sus mediciones de máximo cinco puntos porcentuales en comparación con las predicciones teóricas.

**Conceptos Clave:** DAQ, arduino UNO, raspberry pi, IoT, cayenne, deformaciones unitarias, galgas extensiométricas.

Ing. Yi Cheng Liu Kuan, MSc.

Escuela de Ingeniería Civil.

## 1. Introducción

#### 1.1 Justificación

#### 1.1.1 El problema especifico

Cajas, Campoverde y Tello (2012), establecen que un DAQ, es un sistema integrado que posee características de conversión de señales del entorno, en datos digitales equivalentes, que pueden ser procesados, analizados y almacenados. El problema específico que se abordó por medio de este proyecto, fue el establecimiento de un DAQ de bajo costo, para monitoreo de deformaciones unitarias en estructuras, implementando en él, tecnología IoT, entiéndase por bajo costo, el uno por ciento del costo de un DAQ estándar.

El establecimiento del DAQ surgió de tres metas específicas, la primera fue, establecer un DAQ de monitoreo de deformaciones unitarias, que en costo representara el uno por ciento del valor de un equipo de adquisición estándar. Esta meta surgió de la necesidad de universalizar el monitoreo a bajo costo. Se estableció, porque al investigar sistemas de adquisición estándar, se encontraron DAQ multivariable, pero a un costo elevado; por ende, en aplicaciones específicas estos sistemas representan una desventaja a nivel de costos, debido a que están sobrecalificados para la aplicación y por su complejidad son sumamente costosos.

La segunda meta fue, establecer un DAQ capaz de implementar tecnología IoT, con el objetivo de documentar continuamente deformaciones unitarias en servidores conectados a internet. Esta meta surgió de la necesidad de realizar monitoreo continuo de deformaciones unitarias y a la vez poder visualizar la documentación desde cualquier dispositivo con acceso internet.

La tercera meta fue, brindar una herramienta que pueda ser utilizada con fines didácticos. Esta meta surgió y se estableció, debido a la necesidad de incorporar tecnologías de última generación en el plano académico, a fin de experimentar y comparar principios teóricos con fundamentos prácticos. Con este proyecto como referencia, el profesional en el campo de ingeniería civil, podrá contar con una herramienta útil que podrá implementar en sus proyectos personales o laborales.

En síntesis, el proyecto concibió la idea de implementar microcontroladores electrónicos en conjunto con alguna aplicación que use tecnología IoT, con el objetivo de adquirir y documentar deformaciones unitarias. Los microcontroladores o procesadores de placa reducida implementados son los dispositivos "*raspberry pi*" y "*arduino*", debido a que cuentan con un alto potencial de procesamiento de datos y se consiguen en el mercado nacional a un costo bajo, según CRCibernetica (2020) entre 40 USD y 25 USD respectivamente. Entre las aplicaciones libres que pudieron ser implementadas como tecnología IoT, se optó por "*cayenne*" de "*myDevices*", debido a su interfaz de fácil programación, y que puede ser accesado por medio de computadores portátiles o bien teléfonos inteligentes, característica que brinda gran ventaja en lo que concierne a conectividad. Como el último elemento del DAQ que se definió tenemos el sensor, se optó por un módulo de deformación o "*strain gauge module*", este módulo implementa una galga extensiométrica, las galgas extensiométricas son los dispositivos electrónicos encargados de interrelacionar las deformaciones con señales eléctricas.

#### 1.1.2 Importancia

De forma general, los sistemas de adquisición de datos enfocados en la integridad estructural, son relevantes en el campo de la ingeniería civil debido a que permiten; optimizar diseños, verificar comportamientos de sistemas estructurales, verificar hipótesis de carga, incrementar la seguridad en estructuras, ubicar daños estructurales y programar mantenimientos preventivos. Este proyecto responde al auge que presenta el monitoreo de integridad estructural alrededor del mundo, busca plantear una solución de monitoreo, económica y funcional.

A nivel de costos, si se tomara como base a la marca Nacional Instruments (2020), la cual es un referente en la materia de DAQ, un sistema de adquisición de datos con todos sus componentes, registrado con su marca puede rondar los 9,000 USD aproximadamente, con base en esta información, el proyecto es relevante en el plano económico, debido a que podría brindar una solución funcional por un monto alrededor de los 95 USD, valor que representa el uno por ciento de un equipo de adquisición estándar, esta característica permite un ahorro considerable a la hora de implementar un DAQ y brinda la oportunidad de implementar un mayor número de unidades en el tema de monitoreo de salud estructural o en la educación ingenieril.

A nivel de control y acceso, el proyecto es relevante, debido a que proporciona una ventaja comparativa contra un sistema de adquisición estándar, brindando una señal continua de deformaciones unitarias con su debida documentación en la nube, esta información puede ser accesada desde cualquier lugar y con cualquier dispositivo, siempre y cuando se cuente con acceso a internet.

En el plano académico, el proyecto es relevante debido a que, permite al futuro profesional familiarizarse con tecnologías de última generación y de bajo costo, que le ayudaran a enfrentarse al mercado laboral, además permite comparar aspectos teóricos con particularidades prácticas, y asimilar de una forma más intuitiva el material didáctico a través de ensayos experimentales personalizados. El futuro profesional con esta herramienta podrá configurar nuevos sistemas, con el objetivo de obtener las variables necesarias para el diseño, optimización, inspección y control de obras, en las distintas áreas de la ingeniería civil.

1.1.3 Antecedentes teóricos y prácticos del problema

Lamari, en conjunto con su equipo de trabajo, en el año 2019, establecen un sistema de bajo costo para el monitoreo de la integridad estructural, la investigación fue desarrollada para el centro de Ciencias Exactas, Ambientales y de Tecnología (CEATEC) de Brasil, esta investigación, aunque implementa componentes electrónicos diferentes, guarda similitud funcional con el proyecto desarrollado.

A partir del año 2017, se empiezan a publicar investigaciones, que implementan sistemas de adquisición de datos con placas reducidas, en el monitoreo de la salud estructural. Las variables monitoreadas con estos sistemas son aceleraciones y vibraciones. Entre las investigaciones de hispanohablantes destacan:

- Desarrollo de un sistema de monitoreo para estructuras de puentes, por Alejandro Quezada (2017).
- Estudio del periodo de vibración de puentes de concreto en Panamá, por Stephania Rodríguez (2017).
- Monitorización de bajo coste para la evaluación del comportamiento dinámico de estructuras de ingeniería civil bajo condiciones de servicio, por Ivan Mosquera (2019).

- Plataforma de captura, almacenamiento, procesamiento, y visualización de datos de una red acelerométrica orientada al monitoreo de salud estructural, por Wilson Angarita (2019).
- Diseño e implementación de un prototipo para el análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos utilizando el "software Matlab", por Ángel Mejía (2019).

Las investigaciones anteriores son de origen internacional, la mayoría del continente americano.

Por otra parte, a partir del año 2013, inician las publicaciones de investigaciones relacionadas con sistemas de adquisición de datos de bajo costo, no enfocadas en el monitoreo de la integridad estructural. Las variables monitoreadas con estos sistemas son; distancia, temperatura, precipitación, caudal, presión, presión atmosférica, torsión, humedad, velocidad del viento, contaminantes del aire y componentes del aire, la mayoría de proyectos se enfocan en variables ambientales. Entre las investigaciones destacan:

- Plataformas tecnológicas aplicadas al monitoreo climático, por Gabriel Piñeres (2013).
- Acople de sensores en la medición de variables ambientales usando tecnología "ZigBee", por Carlos Vera (2014).
- Diseño de un sistema de captura y procesamiento de señales, por Sergio Villanueva (2014).
- Monitorización de la calidad del aire en tiempo real mediante el procesamiento de eventos complejos, por Ivan Fernández (2015).
- "Uso da plataforma arduino e do software PLX-DAQ para construcao do graficos do movimiento real", por Luiz Dworakowski (2016).
- Diseño e implementación de una estación meteorológica con "raspberry pi", por Alberto Tobajas (2016).
- Sistema de monitoreo de variables medioambientales usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de internet de las cosas, por Manuel Quiñones (2017).

- Uso de sensores ultrasónicos en la medición de desplazamiento lateral vehicular en diferentes secciones de la red vial nacional primaria de Costa Rica, por Esteban Oconitrillo (2018).
- Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para planta de bombeo fotovoltaico, por Martin Novoa (2019).
- Desarrollo de un transductor de torque de bajo costo, utilizando galgas extensiométricas y protocolos de comunicación del internet de las cosas, por Abraham Correa (2020).

Las investigaciones anteriores son de origen internacional, a excepción del trabajo de investigación de Oconitrillo (2018) que fue desarrollado en territorio nacional. La mayor parte de estas investigaciones fueron desarrolladas en el continente americano.

Entre los sistemas de adquisición de datos de bajo costo, no enfocadas en el monitoreo de la integridad estructural, se encuentran los que analizan el flujo vehicular. Entre las investigaciones de este tipo destacan:

- Desarrollo de un prototipo inalámbrico de bajo costo para el monitoreo del flujo vehicular, por Diana Granados (2014).
- Optimización y puesta en marcha de un prototipo inalámbrico de bajo costo que permita modelar el flujo vehicular en un punto específico, por Carolina Rodríguez (2015).
- Transmisión, almacenamiento y análisis de datos de movilidad urbana utilizando computadores de placa reducida, por Luis Ojeda (2016).

Si bien este proyecto de investigación continua la misma línea de las investigaciones previamente citadas, presenta diferencias que radican en los siguientes aspectos: Los componentes electrónicos a implementar, los paquetes de "*software*" a implementar, la configuración del sistema, el tipo de variable a documentar, el enfoque o utilidad del sistema, el sistema de envió de información, el registro y documentación de los datos, la implementación de tecnología IoT.

## 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 Objetivo general

 Implementar microcontroladores electrónicos de bajo costo en conjunto con diferentes aplicaciones, en la obtención, transferencia y documentación de deformaciones unitarias.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Establecer los conceptos estructurales relacionados con las deformaciones unitarias en estructuras.
- Investigar e implementar, los diferentes componentes electrónicos, necesarios para la ejecución del sistema de adquisición de deformaciones unitarias.
- Investigar e implementar, los diferentes paquetes de "*software*", necesarios en la ejecución del sistema de adquisición de deformaciones unitarias.
- Validar el sistema de adquisición de deformaciones unitarias mediante pruebas en un espécimen estructural, comparando los resultados contra los aspectos teóricos.
- Comparar las características del DAQ implementado contra un equipo de adquisición estándar, tanto a nivel técnico como a nivel de costos.

## 1.3 Delimitación del problema

### 1.3.1 Alcance

En lo correspondiente al lugar de establecimiento del DAQ, no hubo una ubicación geográfica específica para su desarrollo, sin embargo, en cuanto al entorno, el establecimiento del sistema fue en un ambiente seguro para cada uno de los componentes electrónicos, entiéndase por seguro un lugar sin contacto con la intemperie.

No se estableció algún sistema de protección ante intemperie, como se mencionó anteriormente las pruebas se realizaron en espacios controlados.

Los dispositivos de placa reducida implementados fueron el *"raspberry pi 3 model B+"* y el *"arduino UNO"*, debido a que sus características se adaptaron a la aplicación que se pretendía alcanzar, además, se optó por estos dispositivos debido a que fueron fáciles de encontrar en el mercado nacional.

Se implementó el sistema operativo "*raspbian"*, debido a que su interfaz está orientada hacia una plataforma donde se puedan ejecutar aplicaciones de programación.

En cuanto a sensores, el interés se enfocó en módulos que implementaran galgas extensiométricas uniaxiales, en el mercado nacional se encontró el módulo de deformación "*strain gauge module",* este módulo contiene una galga BF350.

Él envió de información se realizó mediante tecnología IoT, específicamente con la aplicación libre "*cayenne*" *de* "*myDevices*", el objetivo fue eliminar las restricciones de distancia de envío que representa utilizar una red inalámbrica, implementar tecnología IoT dio la ventaja de accesar al sistema desde cualquier lugar con acceso a internet.

La deformación unitaria por temperatura se despreció en el análisis de resultados, esto debido a que se realizaron las mediciones en espacios controlados donde los cambios de temperatura se aproximaron a cero.

El monitoreo fue realizado en el rango elástico del material, debido a que la intención fue corroborar los aspectos teóricos en este rango de comportamiento.

En cuanto a la validación, las deformaciones unitarias fueron verificadas teóricamente mediante la comparación con las predicciones teóricas de mecánica del sólido.

A nivel de costos y características técnicas del sistema, el DAQ implementado fue comparado contra un sistema de adquisición de datos estándar de marca National Instruments.

No se ahondó en el análisis e interpretación de todos los datos adquiridos, solo los necesarios para comprobar los aspectos teóricos a nivel académico, el proyecto se enfocó meramente en el establecimiento de un sistema preliminar de adquisición de datos a bajo costo y con fines didácticos.

#### 1.3.2 Limitaciones

Las limitaciones relacionadas con el proyecto fueron las siguientes; cabe destacar que la mayoría de las limitaciones se desprendieron de la situación que enfrenta el mundo ante la crisis pandémica COVID-19:

- A pesar de contar en las tiendas oficiales, con modelos robustos y con las últimas actualizaciones, tanto a nivel de "raspberry pi" como "arduino", se tuvieron que implementar modelos que no son de última tecnología, debido a que eran los dispositivos disponibles en el mercado nacional. Por la situación que enfrenta el mundo ante la pandemia COVID-19 fue muy complicado conseguir los modelos más robustos de las tiendas oficiales o bien de mercados internacional.
- Una limitación similar se tuvo que enfrentar al obtener el sensor, se tuvo que optar por el sensor "*strain gauge module*" debido a que fue simple de obtener en el mercado nacional, otros modelos mejor caracterizados podían ser comprados en mercados internacionales, sin embargo, se complicaba traerlos hasta Costa Rica, además, si el sensor no funcionaba hubiéramos incurrido en atrasos debidos a la devolución.
- La cantidad de pines para solventar la alimentación de módulos en el "arduino UNO" represento una limitación, debido a que solo se cuenta con un pin de alimentación, por esto solo pudo conectarse un módulo al "arduino" en tiempo real, cabe destacar que el "arduino UNO" cuenta con seis entradas analógicas disponibles, pero por esta razón 5 de ellas no son aprovechadas.
- En ocasiones el acceso remoto al *"raspberry pi"* no funciona, debido a que el servidor de *"Real VNC"* no acepta conexiones en la nube, esta situación se presenta aproximadamente en un diez por ciento de los accesos, aunque no es tan recurrente, se debe tener presente porque genera atrasos.
- Al implementarse la función de publicación de datos establecida en la biblioteca "cayenneMQTT" se ralentiza la frecuencia de muestreo. Esta limitante hace que la frecuencia de muestreo sea 0.0677 Hz, esta frecuencia es equivalente a una toma de datos cada 15 segundos. La aplicación "cayenne" de "myDevices" soporta una documentación por segundo, de este modo, por esta limitación estaríamos perdiendo 56 documentaciones posibles en la aplicación IoT.

## 1.4 Metodología

La metodología implementada para la elaboración del proyecto fue dividida en cuatro fases, estas fases se muestran en la figura 1.1.



Figura 1.1: Metodología.

#### 1.4.1 Fase teórica

En esta fase, se realizó un estudio exhaustivo de antecedentes teóricos y prácticos, junto con una investigación profunda de bibliografía, útil para establecer el marco teórico y conceptual. Tanto antecedentes como referencias, involucrados en el proceso de investigación, estuvieron relacionados con los dispositivos de placa reducida, "*raspberry pi*″y "*arduino*". Como se muestra en la figura 1.1, la fase teórica se enfocó en; conceptos estructurales relacionados, características de los dispositivos, composición de los dispositivos, sistemas operativos potenciales, alimentación del DAQ, conectividad de dispositivos y aplicaciones, características de módulos de deformación, especificaciones y detalles de cada componente del DAQ.

#### 1.4.2 Fase de implementación

En esta fase, se realizó el establecimiento del sistema de adquisición de datos. Como se muestra en la figura 1.1, la fase de implementación se enfocó en; instalación de sistema operativo "*raspbian*", habilitación y registro en "*Real VNC*", registro y conexión en "*cayenne*" de "*myDevices*", esquema y caracterización del DAQ, programación del módulo y documentación de deformaciones en IoT.

#### 1.4.3 Fase de validación

En esta fase, se realizó la validación teórica del DAQ y la comparación de características del DAQ desarrollado contra las de un DAQ estándar. Como se muestra en la figura 1.1, la fase de verificación se enfocó en; las características del modelo estructural bajo monitoreo, resultados prácticos y teóricos, validación teórica y la comparación contra las características de un DAQ estándar. El modelo estructural implementado fue una viga en voladizo.

#### 1.4.4 Fase de elaboración del informe

En esta fase, se documentaron en forma escrita las fases anteriores, fase teórica, fase de implementación y fase de verificación. Esta fase dio como resultado el informe técnico que resume la investigación realizada. Esta fase fue realizada en paralelo a las demás fases de la investigación. La figura 1.1 muestra las dos actividades que se realizaron en esta fase.

## 2 Marco conceptual y teórico

## 2.1 Deformación y conceptos relacionados

Según Hibbeler (2011), cuando se aplica una carga a algún cuerpo, este experimenta un cambio en su estructuración, entiéndase por estructuración forma y tamaño, en algunos casos este cambio puede observarse con facilidad, sin embargo, en otros casos no, la susceptibilidad al cambio depende de las características mecánicas del material. A este cambio en el material se le conoce como deformación.

### 2.1.1 Deformación unitaria

Según Hibbeler (2011), la deformación unitaria se define como el cambio relativo en la longitud de una línea ubicada en cierto eje respecto a su longitud inicial. Por tanto, la deformación unitaria puede expresarse de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$
 (2.1)

Donde " $\delta$ " representa el cambio en la longitud y "L" seria la longitud inicial. Es importante resaltar que la deformación unitaria es adimensional.

Mediante la ley de "*Hooke"*, se puede establecer la deformación unitaria analíticamente, ya que establece una relación entre la deformación y el esfuerzo en forma directa, siempre que el material se encuentre en el rango elástico.

Según Hibbeler (2011), la ley de "*Hooke"* establece que todo incremento en el esfuerzo ocasiona un aumento proporcional en la deformación, esto si nos mantenemos en la región elástica del diagrama esfuerzo-deformación. Matemáticamente se puede expresar de la siguiente manera.

$$\sigma = E\varepsilon \tag{2.2}$$

En la expresión anterior "*E*" representa el módulo de elasticidad o módulo de "*Young*", para el acero este valor representa aproximadamente 200 GPa. El módulo de elasticidad representa la pendiente de diagrama esfuerzo-deformación en la región elástica. La deformación unitaria quedaría expresada de la siguiente manera:

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

#### 2.1.2 Deformación flexionante

Según Hibbeler (2011), se pueden realizar los siguientes supuestos respecto a las deformaciones ocasionadas por esfuerzos de flexión.

- Todas las secciones transversales en el elemento estructural permanecen planas y perpendiculares al eje longitudinal.
- Existe una zona, sobre el plano transversal del elemento, que no experimenta deformación, puede visualizarse como una línea y es llamado eje neutro.
- El eje longitudinal ubicado a lo largo del elemento, sobre el eje neutro no experimenta cambio en su longitud (eje x en la figura 2.1), esta línea se convierte en una curva debido a los momentos que experimente el elemento.
- Cualquier deformación sobre el plano transversal puede despreciarse en el análisis de deformaciones.
- Las fibras ubicadas por encima o por debajo del eje neutro se deformarán de acuerdo a su ubicación, alcanzando la deformación máxima en la fibra más extrema (figura 2.1).
- La deformación longitudinal variará linealmente desde cero en el eje neutro hasta su valor máximo en la fibra más extrema, siempre que el material sea homogéneo y se encuentre en el rango elástico.



Figura 2.1: Variación de la deformación flexionante.

Fuente: Hibbeler, 2011.

Modificado: Berrocal, 2021.

#### 2.1.3 Esfuerzo por flexión

Según Hibbeler (2011), el esfuerzo por flexión varía desde cero en el eje neutro hasta un valor máximo en la fibra más extrema del elemento. Este comportamiento se puede apreciar en la figura 2.2.



Figura 2.2: Variación del esfuerzo flexionante.

Fuente: Hibbeler, 2011. Modificado: Berrocal, 2021.

De la figura 2.2 se puede observar que, para garantizar el equilibrio interno de fuerzas, el comportamiento de la sección transversal será un par compresión-tensión, ubicándose las acciones una por debajo y otra por encima del eje neutro.

Según Hibbeler (2011), el momento interno resultante debe ser igual al momento producido por la distribución de esfuerzo respecto al eje neutro, matemáticamente se expresa de la siguiente manera.

$$M = \int y(\sigma dA) = \int y(\frac{y}{c}\sigma_{\max})dA = \frac{\sigma_{\max}}{c} \int y^2 dA$$
(2.4)

Donde "*M*" es el momento interno resultante, "*y*" la ubicación del esfuerzo respecto al eje neutro, " $\sigma$ " el esfuerzo en la ubicación "*y*", "*dA*" un infinitesimal de área y "*c*" el eje neutro.

Puesto que la expresión de la integral representa el momento de inercia del área de la sección transversal respecto al eje neutro, la expresión anterior se puede resumir de la siguiente forma.

$$M = \frac{\sigma_{max}I}{c} = \frac{\left(\frac{c}{y}\sigma\right)I}{c} = \frac{\sigma I}{y}$$
(2.5)

De esta forma tenemos que el esfuerzo en cualquier ubicación "y''respecto al eje neutro queda expresado como.

$$\sigma = \frac{My}{l}$$
(2.6)

Por consiguiente, la deformación unitaria por flexión queda expresada como.

$$\varepsilon = \frac{My}{EI}$$
(2.7)

#### 2.2 Características y composición del dispositivo raspberry pi

La "*raspberry pi*" en cualquiera de sus modelos, guarda en su interior un poder de procesamiento similar, a un cuarto del poder de cómputo de un procesador "*CORE i5*", esta característica, sumada a sus reducidas dimensiones y su bajo costo, hacen que el dispositivo sea tan llamativo para el desarrollo de aplicaciones.

Según Charry (2015), el dispositivo es desarrollado por la Fundación Raspberry Pi ubicada en el Reino Unido. El inicio de producción fue pensado con un objetivo meramente didáctico, sin embargo, debido a la gran cantidad de bibliotecas referentes al dispositivo, las aplicaciones se han hecho más específicas, esto se ha visto reflejado en una mayor demanda de placas, en conjunto con el mejoramiento de las características del dispositivo, lo que se traduce en una gran serie de modelos de la Raspberry Pi.

Según Charry (2015), entre los beneficios que tiene el dispositivo, se encuentra la implementación de "*software*" libre, esta característica reduce el costo al implementarla en aplicaciones, debido a que las distribuciones de sistema operativo son gratuitas. La Fundación Raspberry Pi da soporte para las descargas de las distribuciones de sistemas operativos. Otra característica interesante es que los sistemas operativos son de código abierto, lo que significa que el usuario puede hacer modificaciones al código fuente si lo cree necesario.

Según la Fundación Raspberry Pi (2020), la entidad trabaja bajo el lema de "*open design"*, esto quiere decir que los diseños y esquemas de cada placa pueden ser descargados de forma gratuita desde la página oficial de la Fundacion, este hecho brinda la oportunidad de reproducir cada uno de los prototipos.

Según Eben Upton (s.f.), la "*raspberry pi*" en cualquiera de sus modelos hace uso de la arquitectura ARM, arquitectura orientada al conjunto de instrucciones, esta arquitectura se caracteriza por ser compacta y potente. La arquitectura ARM en comparación con la arquitectura de un prototipo convencional, se diferencia en que procesa todas las instrucciones en un mismo circuito integrado, por esta razón el dispositivo presenta bajo consumo energético y puede ser alimentada por una fuente de baja potencia.

#### 2.2.1 Modelos del dispositivo raspberry pi al año 2020

Como se mencionó anteriormente, la búsqueda de aplicaciones específicas con el dispositivo se ha visto reflejada en la elaboración de múltiples modelos, con el objetivo de satisfacer las necesidades del usuario. Los modelos se diferencian de acuerdo a: cantidad de puertos para conectividad de "*hardware*", capacidad de memoria RAM, tipos de procesador y conectividad a redes de internet. Las diferencias en características hacen que el precio de cada modelo sea distinto. Entre los diferentes modelos de la placa reducida están los siguientes.

#### 2.2.1.1 Raspberry pi compute module

Según la Fundación Raspberry Pi (2020), el modelo "*compute module"* tiene un procesador BCM2835 a 700 MHz de velocidad con posibilidad de subir la capacidad hasta 1000 MHz, memoria RAM de 512 MB y memoria EEPROM de 4 GB. Con esta capacidad de EEPROM es posible instalar una distribución de sistema operativo, sin necesidad de una memoria externa SD. Este modelo se compone de dos circuitos integrados, uno llamado módulo de cálculo (figura 2.3) y el otro el periférico de puertos de "*hardware"* (figura 2.4), la idea de separarlo en dos componentes es que el usuario pueda diseñar los periféricos de acuerdo con la aplicación que dará al dispositivo. El "*compute module"* posee más pines de propósito general en su "*Compute module IO board"* (periférico de puertos de *hardware*) que un modelo convencional. Este modelo esta direccionado a clientes comerciales e industriales. Su precio en el mercado oscila entre los 35 USD y 37 USD.



Figura 2.3: Raspberry pi compute module. Fuente: Fundación Raspberry Pi, 2020. Modificado: Berrocal, 2020.



Figura 2.4: Compute module IO board. Fuente: Fundación Raspberry Pi, 2020. Modificado: Berrocal, 2020.

De este modelo existen dos versiones extra, el *"compute module 3"* y el *"compute module 3+"*, la diferencia de estas versiones en comparación con la original está en, su procesador, la arquitectura del CPU, el juego de instrucciones, la velocidad de procesamiento, capacidad de memoria RAM, la velocidad de procesamiento gráfico y la capacidad de almacenamiento interno.

## 2.2.1.2 Raspberry pi zero y raspberry pi zero w

Según la Fundación Raspberry Pi (2020), este es el modelo más económico. La *"raspberry pi zero"* (figura 2.5) tiene, procesador de un núcleo BCM2835 a 1000 MHz, memoria RAM de 512 MB, ranura para almacenamiento externo, micro salida de video HDMI, cuarenta pines GPIO y dos micro puertos USB. La principal desventaja de este modelo es que se necesitan adaptadores para los micro puertos. La versión *"raspberry pi zero w"* (figura 2.6) adiciona conectividad a internet y *"bluetooth"* de baja energía. Su precio en el mercado oscila entre los 20 USD y 22 USD.



Figura 2.5: Raspberry pi zero.

Fuente: Fundación Raspberry Pi, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.



Figura 2.6: Raspberry pi zero w.

Fuente: Fundación Raspberry Pi, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.

Como se puede observar de las figuras anteriores, los GPIO deben ser soldados, esta característica representa una desventaja al usar este modelo, porque soldar los pines representa un calentamiento de la PCB, esto podría dañar elementos electrónicos si no se utiliza la técnica correcta.

## 2.2.1.3 Raspberry pi A+ y raspberry pi B+

Según la Fundación Raspberry Pi (2020), estas versiones de la "*raspberry pi*" comparten las siguientes características entre ellas, un procesador BCM2835, arquitectura ARM11 en su CPU, el mismo juego de instrucciones, memoria RAM de 512 MB, almacenamiento externo mediante tarjeta SD, un puerto HDMI, cuarenta pines GPIO, conector de cámara y puerto de video compuesto. Lo que diferencia el modelo "A+" (figura 2.7) del modelo "B+" (figura 2.8), es que el modelo "B+" cuenta con cuatro puertos USB, mientras que el modelo "A+" solo cuenta con uno, además el modelo "B+" cuenta con puerto "*Ethernet*" mientras que el modelo "A+" no cuenta con dicho puerto. Su precio en el mercado oscila entre los 23 USD y 25 USD.



Figura 2.7: Raspberry pi A+. Fuente: Fundación Raspberry Pi, 2020. Modificado: Berrocal, 2020.



Figura 2.8: Raspberry pi B+. Fuente: Fundación Raspberry Pi, 2020. Modificado: Berrocal, 2020.

## 2.2.1.4 Raspberry pi 2 model B

Según la Fundación Raspberry Pi (2020), este modelo (figura 2.9) cuenta con un CPU ARM "*cortex-A7*" de cuatro núcleos, con velocidad de 900 MHz y 1000 MB de memoria RAM. Los demás componentes se mantienen iguales al modelo anterior, el "*raspberry pi B+*". La característica principal de este modelo es su procesador de la familia ARMv7, este procesador es seis veces más rápido que el que tiene la placa antecesora. Su precio en el mercado oscila entre los 30 USD y 32 USD.



Figura 2.9: Raspberry pi 2 model B. Fuente: Fundación Raspberry Pi, 2020. Modificado: Berrocal, 2020.

#### 2.2.1.5 Raspberry pi 3 model B y raspberry pi 3 model B+

Según la Fundación Raspberry Pi (2020), este modelo cuenta con un procesador BCM2837 con cuatro núcleos, tipo "*Cortex-A53*", con velocidad de 1200 MHz, con juego de instrucciones en 64 "*Bits*" de la familia ARMv8, además tiene 1000 MB de memoria RAM. En cuanto a "*hardware*" tiene las mismas características que la "*raspberry pi 2 model B*". En lo relevante a conectividad esta placa adiciona en su SoC "*WiFi*" y "*bluetooth*". La diferencia entre el modelo "*B*" (figura 2.10) y "*B*+" (figura 2.11), radica principalmente en la velocidad de procesamiento de datos, el modelo "" procesa a 1200 MHz mientras que el modelo "*B*+" a 1400 MHz. Su precio en el mercado oscila entre los 40 USD y 42 USD.



Figura 2.10: Raspberry pi 3 model B. Fuente: Fundación Raspberry Pi, 2020. Modificado: Berrocal, 2020.


Figura 2.11: Raspberry pi 3 model B+. Fuente: Fundación Raspberry Pi, 2020. Modificado: Berrocal, 2020.

2.2.2 Comparación de modelos del dispositivo raspberry pi

En el cuadro 2.1, se puede observar una comparativa de características, entre los modelos del dispositivo "*raspberry pi*" al año 2020.

Modelo	Procesador	Núcleos	Velocidad	RAM	Internet	Precio
Compute	BCM2835	1	700 MHz	512 MB	SI	37 USD
Zero	BCM2835	1	1000 MHz	512 MB	NO	20 USD
Zero W	BCM2835	1	1000 MHz	512 MB	SI	22 USD
A+/B+	BCM2835	1	1000 MHz	512 MB	SI	25 USD
2 model B	BCM2836	4	900 MHz	1 GB	SI	32 USD
3 model B	BCM2837	4	1200 MHz	1 GB	SI	40 USD
3 model B+	BCM2837	4	1400 MHz	1 GB	SI	42 USD

Cuadro 2.1: Comparación de características entre modelos del dispositivo raspberry pi.

Del cuadro podemos resaltar las siguientes características: Del modelo "*compute*" al "B+" las características de procesamiento del dispositivo fueron similares, en estos modelos el precio difiere de acuerdo a la caracterización del "*hardware*". Del modelo "*2 model B*" en adelante, se empiezan a implementar los procesadores con cuatro núcleos, esta característica suma capacidad de computo respecto a las versiones anteriores. Los

modelos más robustos son el "*3 model B*" y el "*3 model B*+", ambos se consiguen en el mercado a un precio similar.

## 2.2.3 Alimentación del raspberry pi 3 model B

Según la Fundación Raspberry Pi (2020), el modelo "*raspberry pi 3 model B*" necesita de una potencia de 15 W para ser alimentado, específicamente necesita de 5 V con 3 A, con esta potencia es posible satisfacer la demanda máxima de energía del dispositivo. En los siguientes apartados se brindan dos alternativas de alimentación; el sistema de alimentación convencional y un sistema de alimentación fotovoltaico. Se brinda la opción de alimentación fotovoltaica como una alternativa de autonomía energética.

## 2.2.3.1 Sistema de Alimentación convencional

Según la Fundación Raspberry Pi (2020), el sistema convencional de alimentación que implementa el dispositivo, es un cargador micro USB de 5 V con 3 A, el cual contiene un transformador para convertir las salidas residenciales de corriente alterna a corriente directa, conforme las exigencias del dispositivo.

#### 2.2.3.2 Sistema de Alimentación fotovoltaica

Según Adafruit (2019) y BricoGeek (2019), el "*power booster*" es un circuito integrado de distribución de potencia, implementado en sistemas de alimentación fotovoltaica o fuentes de alimentación, este circuito integrado cuenta con tres puertos en su configuración; un micro USB encargado de recibir carga, un USB encargado de suministrar energía a dispositivos de placa reducida y un JST encargado de suministrar energía a baterías tipo "*Lipo*".

Basado en la información anterior, como una alternativa de autonomía energética, se recomienda un sistema de alimentación, que implemente los siguientes tres elementos: un "*power booster*" como elemento distribuidor de potencia, baterías de 6600 mAh como banco de energía y un cargador solar de 50000 mAh como fuente principal de energía.

Según la demanda de potencia del dispositivo, se recomienda un banco de tres baterías "*Lipo 6600*" en paralelo.

## 2.2.4 Sistemas operativos para raspberry pi 3 model B

La Fundación Raspberry Pi, brinda diferentes distribuciones de sistemas operativos acordes con el dispositivo, todas las distribuciones son sistemas de "*software*" libre e implementan un juego de instrucciones relativamente simple llamado ARM.

## 2.2.4.1 Tipos de sistemas operativos

Entre los sistemas operativos acordes con el modelo "*raspberry pi 3 model B*" se encuentran:

- "Raspbian"
- "Pidora"
- "Ubuntu Mate"
- "Snapy Ubuntu Core"
- "RISC OS"
- "ArchLinux"
- "Windows 10 lot Core"
- "*OSMC*"

Según la Fundacion Raspberry Pi (2020), *"raspbian"* es el sistema operativo oficial del dispositivo, debido a que es el sistema optimizado para el *"hardware"* de la placa. Es relativamente amigable con el usuario, cuenta con actualización periódica y existe gran cantidad de soporte en foros.

## 2.2.4.2 Instalación de sistemas operativos

Según la Fundacion Raspberry Pi (2020), existen dos formas de instalar sistemas operativos en un dispositivo "*raspberry pi*". La primera seria mediante el uso de "*raspberry pi imager*", esta aplicación despliega un menú de instalación en un ordenador alterno, que brinda la opción de escribir cualquier SO con facilidad. La segunda opción seria preinstalar la imagen del SO, desde un ordenador alterno en la tarjeta SD, con la ayuda de algún programa que realice esta tarea. A continuación, se presenta un resumen del procedimiento general de los métodos de instalación.

#### 2.2.4.2.1 Instalación mediante raspberry pi imager

"*Raspberry pi imager*" es un asistente de instalación, para implementarlo se debe descargar en algún ordenador alterno desde la página de la Fundación Raspberry Pi, luego se procede a instalarlo en el ordenador, habiendo realizado esto, podemos escribir el SO en la tarjeta SD siguiendo los pasos indicados. Una vez escrito el SO en la tarjeta SD, se procede a insertarla en el dispositivo, si los pasos fueron ejecutados de forma correcta el sistema operativo se ejecutará sin problemas.

#### 2.2.4.2.2 Instalación mediante imagen del SO

Para implementar este método, debemos descargar la ISO que deseamos instalar, en un ordenador alterno, desde la página de la Fundación Raspberry Pi, luego de haber realizado la descarga, escribimos el SO en la tarjeta SD, por medio de algún "*software*" que realice esta tarea. Una vez escrita la ISO en la tarjeta SD, se procede a insertarla en el dispositivo, si la ISO fue escrita de forma correcta el sistema operativo se ejecutará sin problemas.

#### 2.2.5 Acceso remoto al raspberry pi 3 model B

Resulta útil conectarnos al dispositivo de forma remota, esto nos permite controlarlo desde un ordenador alterno, sin usar los puertos de *"hardware"*. Una ventaja de implementar acceso remoto, es que el consumo de energía en el dispositivo disminuye, por tanto, se logra un uso eficaz de la energía suministrada.

Según Charry (2015), el acceso remoto se logra de dos formas, por medio de una red local o mediante una red global, en el primer caso la conexión se realiza mediante las características del dispositivo que brinda la conexión local, en el segundo caso la conexión es efectuada mediante la nube utilizada por el "*software*" respectivo que instalemos.

Existen diferentes aplicaciones para realizar acceso remoto al dispositivo, entre estas podemos nombrar; SSH, dispositivos NAS, RDP, Team Viewer y VNC. Todas permiten una conexión efectiva al dispositivo, sin embargo, el interés se centra en VNC, debido a que viene incorporado por defecto en el dispositivo "*raspberry pi 3 model B*".

## 2.2.5.1 Conexión remota por medio de VNC

Según Charry (2015), VNC viene instalado por defecto en los dispositivos de la marca *"raspberry pi"*, sirve para conectarnos de forma remota al escritorio del ordenador, esto permite hacer uso de la interfaz gráfica por medio de un ordenador alterno con acceso a internet. VNC nos brinda total acceso a todos los programas y archivos que existen en el dispositivo. La aplicación VNC presenta dos inconvenientes poco regulares, estos son, la lentitud de la tasa de refresco y la no aceptación de conexiones por parte del servidor.

Según Charry (2015), VNC se compone de dos distribuciones de "*software*", "*VNC server*" y "*VNC viewer*". "*VNC server*" cumple la función de transmitir los periféricos y configuraciones táctiles a "*VNC viewer*", "*VNC viewer*" recibe actualizaciones de la interfaz gráfica cada cierto tiempo. El control con VNC puede efectuarse desde cualquier ordenador con acceso a internet y "*VNC viewer*" instalado.

## 2.3 Características y composición del dispositivo arduino

Según Herrero y Sánchez (2015), el proyecto "*arduino"* nace en el año 2005, como un proyecto estudiantil del Instituto IVREA, el primer prototipo fue desarrollado por Massimo Banzi. El objetivo del proyecto fue crear plataformas electrónicas básicas, que cumplieran tareas simples y específicas, además, que fueran de programación sencilla y a bajo costo.

Según Herrero y Sánchez (2015), "*arduino*" en sus múltiples versiones, guarda las siguientes características; Bajo costo, reducidas dimensiones, gran cantidad de bibliotecas, modelos específicos de acuerdo con cada aplicación, diseño y código abierto. Los dispositivos "*arduino*" están basados en microcontroladores de la familia AVR de "*ATmel*", por esta razón, deben implementarse en tareas simples y específicas, que no saturen su capacidad de cómputo.

Según Herrero y Sanchez (2015), la programación de "*arduino*", se realiza mediante el entorno de desarrollo integrado "*arduino IDE*", desde un ordenador alterno. "*Arduino IDE*", implementa un lenguaje de programación similar a "C++", basado en "*wiring*". El entorno de desarrollo "*arduino IDE*" está basado en el lenguaje de programación "*processing*". "*Arduino IDE*", permite editar, verificar, compilar y enviar el código al microcontrolador. El dispositivo "*arduino*", se comunica con el entorno de desarrollo integrado, por medio de un "*bootloader*",

precargado por defecto en el microcontrolador. "*Arduino IDE*" es de "*software*" libre, y puede ser descargado desde la plataforma oficial de "*arduino*".

2.3.1 Modelos del dispositivo arduino.

Las PCB "*arduino*" son diseñadas para abordar aplicaciones específicas, por esta razón, existe una gran variedad de modelos en el mercado. Arduino fabrica, mejora y comercializa modelos, por cada aplicación rentable.

Los diferentes modelos del dispositivo son:

- "Arduino DUE"
- "Arduino MEGA 2560"
- "Arduino MKR 1000"
- "Arduino MKR WiFi 1010"
- "Arduino MKR FOX 1200"
- "Arduino MKR WAN 1300"
- "Arduino MKR WAN 1310"
- "Arduino MKR GSM 1400"
- "Arduino MKR NB 1500"
- "Arduino MKR Vidro 4000"
- "Arduino MKR ZERO"
- "Arduino NANO"
- "Arduino NANO 33 IoT"
- "Arduino NANO 33 BLE"
- "Arduino NANO 33 BLE Sense"
- "Arduino NANO Every"
- "Arduino UNO"
- "Arduino UNO WiFi Rev.2"
- "Arduino CERO"
- "Arduino YUN Rev.2"

Según Arduino (2020), además de estos modelos, existieron 22 versiones y 6 escudos retirados de producción. En lo que respecta a escudos de la marca "*arduino"*, en la

actualidad se comercializan 10, entiéndase por escudo, un componente electrónico que adiciona funcionalidad o bien tareas al modelo seleccionado.

Debido a la gran variedad existente de modelos "*arduino"*, se especificarán las características y composición de los que pueden servir potencialmente en la aplicación que se implementara.

## 2.3.1.1 Arduino DUE

Según Arduino (2020), este microcontrolador (figura 2.13) está basado en el CPU "*Atmel SAM3X8E*", con procesador ARM "*Cortex-M3*" a 84 MHz. Es la primera placa basada en un microcontrolador de núcleo ARM de 32 Bits. Cuenta con 54 pines IO digitales, 12 entradas analógicas, 2 DAC y 2 CAN. Además, cuenta con cuatro puertos serie de "*hardware*", una conexión USB, dos I2C, un escudo SPI, un escudo JTAG, botón de reinicio y botón de borrado. Su programación se efectúa mediante "*arduino IDE*".



Figura 2.12: Arduino DUE. Fuente: Arduino, 2020. Modificado: Berrocal, 2020.

Según Arduino (2020), este microcontrolador se alimenta con 3.3 V, puede ser alimentado desde un puerto USB debido a que cuenta con un regulador de voltaje para cumplir con la especificación de voltaje máximo. "*Arduino DUE*" tiene la funcionalidad ampliada en su bus SPI, útil para comunicarse con múltiples dispositivos que transfieren datos a diferentes velocidades. Sus dimensiones son 101.52 mm de

largo y 53.3 mm de ancho, pesa 36 g. Su precio en el mercado oscila entre los 40 USD y 42 USD.

En la figura 2.14 se muestra el diagrama de pines del modelo "arduino DUE".



Figura 2.13: Diagrama de pines arduino DUE.

Fuente: Arduino, 2020.

#### 2.3.1.2 Arduino UNO

Según Arduino (2020), el modelo "*arduino UNO*" (figura 2.15) es la PCB más documentada de todos los modelos "*arduino*", esta característica hace que sea la placa más práctica de implementar en proyectos de electrónica. Este microcontrolador está basado en "*ATmega328P*". Su programación se efectúa mediante "*arduino IDE*". Cuenta con 14 pines de IO digitales, 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, un escudo ICSP y un botón de reinicio.



Figura 2.14: Arduino UNO.

Fuente: Arduino, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.

Según Arduino (2020), el modelo "*arduino UNO",* es el inicio de una serie de placas USB y el modelo de referencia para "*arduino IDE"*. Es alimentada con 5 V. Sus dimensiones son 68.6 mm de largo y 53.4 mm de ancho, pesa 25 g. Su precio en el mercado oscila entre los 23 USD y 25 USD.

En la figura 2.16 se muestra el diagrama de pines del modelo "arduino UNO".



Figura 2.15: Diagrama de pines arduino UNO.

Fuente: Arduino, 2020.

Según Arduino (2020), el modelo "*arduino UNO WiFi*" (figura 2.17) es la plataforma "*arduino*" más práctica para ingresar a IoT, además cuenta con las características básicas del "*arduino UNO*", es una solución integral para muchos de los escenarios básicos del IoT. Este microcontrolador está basado en "*ATmega4809*", pero gracias al escudo de compatibilidad puede ejecutar los bocetos "*arduino IDE*" realizados en "*ATmega328P*", o bien para el "*arduino UNO*". Su programación se efectúa mediante "*arduino IDE*".



Figura 2.16: Arduino UNO WiFi Rev2.

Fuente: Arduino, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.

Según Arduino (2020), cuenta con la misma composición que el "*arduino UNO"*, pero adiciona WiFi y "*Bluetooth"*. Sus dimensiones son 68.6 mm de largo y 53.4 mm de ancho, pesa 25 g. Su precio en el mercado oscila entre los 45 USD y 47 USD.

En la figura 2.18 se muestra el diagrama de pines del modelo "*arduino UNO WiFi Rev2*".



Figura 2.17: Diagrama de pines arduino UNO WiFi Rev2.

Fuente: Arduino, 2020.

#### 2.3.1.4 Arduino NANO

Según Arduino (2020), el modelo "*arduino NANO*" (figura 2.19) es la plataforma electrónica más pequeña dentro de las versiones "*arduino*". A pesar de sus reducidas dimensiones es bastante completa, cumple funcionalidad similar a la PCB "*arduino DUE*", pero con una distribución diferente en la PCB. Este microcontrolador está basado en "*ATmega328P*". Su programación se efectúa mediante "*arduino IDE*".



Figura 2.18: Arduino NANO. Fuente: Arduino, 2020. Modificado: Berrocal, 2020.

Según Arduino (2020), cuenta con 22 pines de IO digitales, 8 entradas analógicas, velocidad de reloj de 16 MHz, una conexión USB, un escudo ICSP y un botón de reinicio. Es alimentada con 5 V. Sus dimensiones son 45 mm de largo y 18 mm de ancho, pesa 7 g. Su precio en el mercado oscila entre los 20 USD y 23 USD.

En la figura 2.20 se muestra el diagrama de pines del modelo "arduino NANO".





				ARDUINO.CC
Ground	Internal Pin	🎽 Digital Pin	Microcontroller's Port	
Power	SWD Pin	🖉 Analog Pin		
LED	Other Pin	Default		This work is licensed under the Oreative Controls Attribution Sharekhola 4.5 international usariae. To vale a city of this format, volt http://containeacimetinema, org/formation/prack.0 or or and/a better to Oractive Comman, PD Birs 1886, Manufactur Inter, A 98020, USA.

Figura 2.19: Diagrama de pines arduino NANO.

Fuente: Arduino, 2020.

#### 2.3.1.5 Arduino NANO 33 IoT

Según Arduino (2020), el modelo "*arduino NANO 33 IoT*" (figura 2.21) es la plataforma electrónica más pequeña que adiciona conectividad WiFi y "*bluetooth*". Guarda todas las características generales del modelo "*arduino NANO*". Este microcontrolador está basado en "*ATSAMD21*". Su programación se efectúa mediante "*arduino IDE*".



Figura 2.20: Arduino NANO 33 IoT.

Fuente: Arduino, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.

Según Arduino (2020), cuenta con 14 pines de IO digitales, 8 entradas analógicas, velocidad de reloj de 48 MHz, una conexión USB, un escudo SPI, un escudo I2C y un botón de reinicio. Es alimentada con 3.3 V. Sus dimensiones son 45 mm de largo y 18 mm de ancho, pesa 5 g. Su precio en el mercado oscila entre los 19 USD y 21 USD.

En la figura 2.22 se muestra el diagrama de pines del modelo "arduino NANO 33 IoT".





			ARDUINO.CC
Ground	Internal Pin	🞽 Digital Pin 📒 Micro	ocontroller's Port
Power	SWD Pin	Analog Pin	
LED	Other Pin	Default	This work is loansed under the Orache Easting Apriluation downking Al International Learner, is an easting and the second second second a version to Charte

Figura 2.21: Diagrama de pines arduino NANO 33 IoT.

Fuente: Arduino, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.

## 2.3.2 Comparación de modelos del dispositivo arduino

En el cuadro 2.2, se puede observar una comparativa de características, entre los modelos seleccionados del dispositivo "*arduino"*.

Modelo	Procesador	Vcc	Velocidad	Peso	Internet	Precio
DUE	SAM3X8E	3.3 V	84 MHz	36 g	NO	42 USD
UNO	ATmega328P	5 V	16 MHz	25 g	NO	25 USD
UNO WiFi	ATmega4809	5 V	16 MHz	25 g	SI	47 USD
NANO	ATmega328P	5 V	16 MHz	7 g	NO	23 USD
NANO 33 IoT	ATSAMD21	3.3 V	48 MHz	5 g	SI	21 USD

Cuadro 2.2: Comparación de características entre modelos del dispositivo arduino.

Del cuadro podemos resaltar las siguientes características: Los modelos basados en el tipo de microprocesador "*ATmega*" tienen características de procesamiento similar, la diferencia en precio en el modelo "*UNO WiFi*" se debe a la adición del escudo WiFi, para estos modelos la demanda de alimentación es igual. En el caso de los modelos con microprocesadores "*SAM3X*" y "*ATSAMD*", el procesamiento de datos se da a una velocidad mayor respecto a los modelos anteriores, ambos modelos se alimentan con la misma potencia. Entre las opciones seleccionadas en el proceso de investigación, el modelo "*DUE*" es el más preciso y veloz. Los modelos "*UNO WiFi*" y "*NANO 33 IoT*" no necesitan de un microordenador para conectarse a plataformas IoT. Los modelos "*UNO*" y "*UNO WiFi*", son simples de implementar en aplicaciones electrónicas, debido a la gran cantidad de bibliotecas de referencia existentes.

## 2.4 Sensores

Según Norton (1989), los sensores son transductores capaces de medir variaciones físicas o químicas. El objetivo de los transductores es transformar las variaciones físicas o químicas en señales eléctricas, para poder procesarlas e implementarlas en diversas aplicaciones. El estudio de estas variaciones es relevante en las distintas ramas de la ingeniería, y nos permite mejorar procesos, entornos y diseños. Los sensores resultan idóneos a la hora de monitorear variaciones, que por sus condiciones especiales son poco prácticas de aproximar mediante modelos matemáticos.

## 2.4.1 Señales eléctricas

Villafaña (s.f.) indica que las señales eléctricas son ondas electromagnéticas propagadas a través de un medio de transmisión, estas ondas permiten la transmisión

de información de forma codificada. Toda señal eléctrica sin excepción lleva consigo cierta cantidad de información. Las señales eléctricas también pueden definirse como funciones de una variable en el tiempo.

## 2.4.1.1 Señales analógicas

Según Miyara (2004), las señales analógicas son señales eléctricas que varían continuamente en el tiempo. Por lo general son señales provenientes de un fenómeno físico o químico, captadas por el transductor adecuado. Estas señales eléctricas pueden presentarse en forma de corriente o tensión. Las señales analógicas varían en forma continua entre un límite inferior y un límite superior.

## 2.4.1.2 Señales digitales

Según Miyara (2004), las señales digitales son señales eléctricas con dos niveles bien diferenciados que se alternan en el tiempo transmitiendo información según un código previamente establecido. Los niveles específicos dependen del tipo de dispositivo utilizado. Una señal digital sólo puede representar, transmitir o almacenar información binaria, debido a que sólo pueden representar dos estados. Si el objetivo es transmitir mayor información con señales digitales es necesario implementar varias señales en paralelo, de esta forma se obtiene más estados disponibles.

#### 2.4.2 Galgas extensiométricas

Según Norton (1989), son transductores activos, que permiten obtener diferentes magnitudes, como: Presión, carga, momento, deformación y posición. Son resistencias eléctricas, con una distribución geométrica que se modifica de acuerdo a la demanda de carga que experimentan, estos cambios debidos a la carga se traducen en una variación de la resistividad.

Idrovo y Quintanilla (2010), señalan que existen diferentes tipos de galgas extensiométricas, además, estas se clasifican de acuerdo al material con el que se fabriquen, entre ellas se encuentran: metálicas, semiconductoras, de capa gruesa, entre otras. Las más comunes son las galgas metálicas, estás están compuestas de una rejilla y de un material de respaldo. En este tipo de galga la rejilla es básicamente un fino cable encargado de conducir corriente, su funcionamiento es deformarse ante la

carga, esta deformación se traduce en un cambio de resistencia que se relaciona con una deformación especifica. El material de respaldo cumple la función de proporcionar un medio de sustento a la rejilla, además de ser el canal físico que recibe la carga del elemento bajo estudio.

Según Norton (1989), las galgas extensiométricas cuentan con dos características principales: la longitud de la galga y el patrón de la rejilla. La longitud de la galga es la parte sensible al esfuerzo, esta característica juega un papel importante en cuanto a precisión, debido a que las galgas extensiométricas promedian el valor de la deformación sobre la longitud que están instaladas. En cuanto al patrón de la rejilla, pueden estar dispuestas en diferentes direcciones de acuerdo con la medición que se requiera realizar, inclusive pueden implementarse varias disposiciones de rejillas para obtener diferentes deformaciones en el mismo punto. De acuerdo a la orientación de las rejillas, las galgas pueden clasificarse en lineales o rosetas, las galgas lineales miden la deformación en un solo eje, por otra parte, las rosetas son varias galgas lineales superpuestas, esto permite medir deformaciones en diferentes ángulos de inclinación.

#### 2.4.2.1 Principio de funcionamiento.

Idrovo y Quintanilla (2010), señalan que el principio de funcionamiento se basa en el efecto piezorresistivo de conductores y semiconductores, el cual establece, que la resistividad varía en función de la deformación a la que se somete el material. Por tanto, si se considera un hilo metálico de longitud "/", área de sección transversal "A" y resistividad "p", la resistencia eléctrica "R" seria:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \tag{2.8}$$

Si se somete el hilo metálico a un esfuerzo en la dirección longitudinal, su resistencia "R''variara debido a los cambios dimensionales en "I'', "A''y " $\rho''$ .

$$\Delta R = \frac{\rho}{A} \cdot \Delta l - \frac{\rho \cdot l}{A^2} \cdot \Delta A + \frac{l}{A} \cdot \Delta \rho$$
(2.9)

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$
(2.10)

Realizando un análisis matemático, considerando composición del material, modelos de deformación y características geométricas del material. Llegamos a la siguiente ecuación.

$$\frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} = 1 + 2 \cdot \mu + \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\frac{\Delta l}{l}}$$
(2.11)

Donde el término a la derecha, es conocido como factor de galga, y puede aproximarse empíricamente como una constante. El factor de galga es especificado por el fabricante en la hoja técnica de la galga extensiométrica.

De la ecuación 2.11 podemos observar que el factor de la galga depende del coeficiente de "*poisson"* y de la pendiente de la función de resistividad contra longitud en un espécimen cargado axialmente.

De esta manera el factor de la galga queda expresado como:

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon}$$
(2.12)

Y, por consiguiente, la deformacion se expresaría como:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{GF \cdot R} \tag{2.13}$$

#### 2.4.2.2 Adherencia a elementos

Idrovo y Quintanilla (2010), sugieren el siguiente proceso de adherencia, para garantizar el funcionamiento de las galgas extensiométricas y lograr una medición real. Entre el equipo de adherencia de las galgas tenemos: Lija 180 para acero, acetona, neutralizador, pinzas, cinta adhesiva, adhesivo (cianocrilato o resina epoxica), cautín, estaño, cables número 20 o número 28 y barniz de recubrimiento.

El proceso de adherencia seria el siguiente:

 Preparación del Material: El objetivo de esta fase es crear una superficie limpia de cualquier tipo de contaminante, además de reducir imperfecciones que puedan distorsionar la medición. En esta fase implementamos la lija para minimizar imperfecciones, esto con el objetivo de aumentar el área de contacto, luego se aplica acetona para eliminar grasa o aceite que pudiese estar en la superficie, por último, se aplica neutralizador para eliminar residuos restantes que puedan presentarse.

- 2. Pegado de la galga: En esta etapa la galga extensiométrica es adherida a la superficie, se recomienda adherir la galga apenas se termine con la limpieza para evitar contaminación en la zona de instalación. En el proceso de pegado se necesitan pinzas y cinta adhesiva para ubicar la galga en la zona de interés, cuando esta se encuentre ubicada se procede a aplicar el adhesivo.
- 3. Soldado de terminales: En este paso se debe asegurar no quemar el filamento de la galga, debemos tener cuidado también de soldar las terminales de la galga a una distancia mínina de 2 mm, porque se podría modificar la geometría de la galga con el calor de cautín. En esta etapa implementamos el cautín y el estaño para realizar la conexión entre las terminales con los cables número 20.
- 4. Protección de la galga: Es esta última etapa se procede a proteger la galga de agentes externos (contaminantes) con una capa de barniz de recubrimiento, es recomendable poner sobre la capa de barniz una capa de Silicon, esto con la intensión de evitar la humedad.

#### 2.4.3 Puente de wheatstone

Según Norton (1989), un puente de wheatstone, es una configuración de circuito, que se implementa para conocer cambios de resistencia con gran exactitud por medio del equilibrio de cargas.

La figura 2.22, muestra la configuración de puente de wheatstone implementada en módulos de deformación, acá la galga extensiométrica viene representada por el termino R(1+ $\delta$ ), donde R y  $\delta$ , representa respectivamente, la resistencia nominal de la galga y el cambio en la resistencia.

Como se puede observar en la figura 2.22, cuando  $\delta$  es igual a cero, el conjunto de resistencias presenta el mismo valor, en esta condición ambos ramales trabajan como un divisor de tensión con las mismas características, entregando en las terminales positiva y negativa del amplificador operacional el mismo voltaje, en este escenario el

puente se encuentra equilibrado y el amplificador operacional en modo diferencial fija una señal de salida de cero.

Por otra parte, cuando  $\delta$  toma un valor distinto de cero, dentro del conjunto de resistencias la galga presenta un cambio, en esta condición los ramales trabajan como divisores de tensión, pero con características diferentes, entregando en las terminales del amplificador operacional valores distintos de voltaje, en este escenario el puente se encuentra desequilibrado y el amplificador operacional en modo diferencial fija una señal de salida distinta de cero.

En ambos casos, la señal de salida se encuentra linealmente relacionada con la deformación unitaria que experimenta la galga extensiométrica.



Figura 2.22: Puente de Wheatstone.

Fuente: Norton, 1989.

#### 2.5 Tecnología IoT para documentación de sensores

Rose, Eldridge y Chapin (2015), señalan que el internet de las cosas hace referencia a escenarios en los que la conectividad de red y la capacidad de cómputo se extiende a objetos, sensores y artículos de uso común, esto permite que estos artículos generen, intercambien y consuman datos con intervención humana mínima.

Rose, Eldridge y Chapin (2015), afirman que la implementación de la IoT utiliza diferentes modelos de conectividad, cada una con sus características específicas. Los cuatro modelos de conectividad incluyen: dispositivo a dispositivo, dispositivo a la nube, dispositivo a puerta de enlace e intercambio de datos a través del *"back-end"*. Este proyecto de investigación se enfocó en el tipo de conectividad; dispositivo a la nube.

Existen múltiples plataformas y aplicaciones para hacer uso de la tecnología IoT. Nuestro interés se enfocó en la plataforma "*cayenne*" de "*myDevices*", porque implementa programación preconfigurada, lo que la hace una plataforma bastante amigable con el usuario.

#### 2.5.1 Plataforma cayenne de myDevices

Según myDevices (2020), esta plataforma IoT permite la conexión de diferentes dispositivos, actuadores, extensiones y sensores. Cuenta además con una aplicación para dispositivos móviles, esta aplicación permite monitorear los proyectos desde cualquier lugar con acceso a internet.

MyDevices (2020), señala que la plataforma cuenta con ficheros preconfigurados muy simples de implementar, por esta razón no es necesario programar. Cada fichero o función viene preconfigurada para utilizarse de acuerdo con el dispositivo o sensor que se pretende conectar. El protocolo de comunicación implementado en la plataforma en MQTT, un protocolo ligero que consume muy poco ancho de banda.

Según myDevices (2020), la plataforma contiene un sistema de configuración de alertas, si en determinado caso un sensor alcanza un estado determinado máximo o minimo en su monitoreo, se puede establecer una alerta para notificar al usuario vía correo o mensaje de texto.

MyDevices (2020), señala que los datos pueden ser visualizados instantáneamente en un recuadro en la aplicación, o bien en forma de registro, mediante gráficos o tablas, además pueden ser descargados de forma simple.

Entre las características de "cayenne" de "myDevices" encontramos:

- Panel de control personalizable en línea.
- Monitoreo y control remoto.
- Alertas.
- Disparadores.
- Programación de eventos.
- Visualización y registro de datos.
- Foros de consultas.
- Envió de 60 mensajes por minuto.

# 3 Implementación del DAQ

## 3.1 DAQ: Esquema general y caracterización

La figura 3.1 muestra el esquema general del DAQ implementado, cada componente electrónico en esta configuración, realiza funciones específicas para materializar la obtención de deformaciones unitarias.



Figura 3.1: Esquema general del DAQ.

Según National Instruments (2021), un sistema de adquisición de datos se compone de; sensores, un módulo de detección, un dispositivo DAQ o controlador, "*software*" y un ordenador. En el proyecto, los componentes específicos fueron; una galga extensiométrica BF350 como sensor, un "*strain gauge module*" como módulo de deformación, un "*arduino UNO*" como controlador, "*arduino IDE*" sumado a "*cayenne*" como "*software*" y "*raspberry pi*" como microordenador.

La figura 3.2 ilustra el DAQ ensamblado e implementado en el espécimen de validación. La configuración mostrada permitió monitorear las deformaciones unitarias que experimenta la fibra extrema superior a la mitad del espécimen.



Figura 3.2: Esquema ensamblado del DAQ.

## 3.1.1 Galga extensiométrica BF350

Este componente electrónico se adhirió al espécimen estructural por medio del método establecido en el apartado 2.7.2.2. La función específica de este componente dentro del DAQ es, detectar la deformación que experimente el espécimen estructural al experimentar cambios en su geometría, esta modificación en geometría se traduce en una señal eléctrica cruda que es enviada al módulo de deformación para su respectivo procesamiento.

Con la implementación del transductor BF350 se logró transformar una deformación en una señal eléctrica, para ser procesada por el siguiente componente en el DAQ.

Característica	Especificación
Тіро	Laminar
Material de Respaldo	Resina fenólica modificada
Resistencia nominal	350 Ω
Rango de deformación	343 Ω a 357 Ω
Longitud activa	3 mm
Tipo de geometría	AA
Factor de galga	2-2.2
Fatiga	107
Rango de temperatura de trabajo	-30 C° a 80 C°
Dimensiones de Grilla	3.2 mm x 3.1 mm

Cuadro 3.1: Resumen de especificaciones de la galga extensiométrica BF350.

Fuente: CRCibernetica, 2021.

## 3.1.2 Strain gauge module

Al implementar el DAQ, este componente electrónico se aisló, para evitar cortos circuitos debidos al contacto con el espécimen estructural. Las funciones específicas de este componente dentro del DAQ son: filtrar el ruido, fijar la señal eléctrica por medio de un puente de "*wheatstone"* y un amplificador operacional en modo diferencial, amplificar la señal eléctrica y brindar la función de ajuste en cero de la señal eléctrica.

Con la implementación del "*strain gauge module*" se logró procesar la señal cruda, para luego ser enviada al "*arduino UNO*" sin ruidos y en un espectro procesable.

CaracterísticaEspecificaciónAlimentación5 VRango de salida analógica0 V a 3.5 VGanancia1000Ganancia teórica1100Rango de temperatura de trabajo-30 C° a 80 C°Dimensiones32 mm x 17 mm

Cuadro 3.2: Resumen de especificaciones del strain gauge module.

Fuente: CRCibernetica, 2021.

#### 3.1.3 Arduino UNO

Este componente electrónico, se ubicó en un lugar fijo, cerca del espécimen estructural, pero sin contacto con este, con la intención de manipularlo poco, para no interferir con la alimentación o la transferencia de datos. Las funciones específicas de este componente dentro del DAQ son: establecer y ejecutar el código desarrollado en el entorno de desarrollo "*arduino IDE*", transformar las señales analógicas provenientes del módulo en señales digitales, enviar la señal eléctrica a "*raspberry pi*" para ser publicada en "*cayenne*".

Con la implementación de "*arduino UNO*" se logró transformar la señal de analógica a digital, para ser procesada y enviada a "*raspberry pi*" para su respectiva publicación.

Característica	Especificación
Procesador	ATmega328P
Velocidad	16 MHz
Alimentación	5 V
IO digitales	14
Entradas analógicas	6
USB	1
Escudo ICSP	1
Botón de reinicio	Si
Dimensiones	68.6 mm x 53.4 mm

Cuadro 3.3: Resumen de especificaciones de arduino UNO.

Fuente: Arduino, 2020.

## 3.1.4 Arduino IDE y Cayenne

Estos paquetes de "*software*", son los encargados de procesar y documentar las deformaciones unitarias. Las funciones específicas de "*arduino IDE*" dentro del DAQ son: servir de entorno grafico para desarrollar el código encargado de la obtención de deformaciones unitarias, establecer la comunicación entre "*arduino UNO*" y "*cayenne*" para la publicación de deformaciones unitarias, verificar y descargar el código encargado de obtener deformaciones unitarias a "*arduino UNO*". Las funciones específicas de "*Cayenne*" dentro del DAQ son: publicar y visualizar las deformaciones

unitarias en el tablero de la aplicación, documentar y registrar las deformaciones unitarias en los servidores de la aplicación, administrar las descargas de los registros de información.

Con la implementación de estos paquetes informáticos se logró procesar, visualizar y registrar las deformaciones unitarias.

3.1.5 Raspberry Pi 3 model B

Este componente electrónico, al igual que "*arduino UNO*", se ubicó en un lugar fijo, con el objetivo de no interferir con la alimentación o la transferencia de datos. Las funciones específicas de este componente dentro del DAQ son: servir de plataforma física para desarrollar el código en "*arduino IDE*" encargado de la obtención de deformaciones unitarias, ser el medio de transferencia de datos entre "*arduino UNO*" y la aplicación "*cayenne*".

Con la implementación de "*raspberry pi 3 model B*" se logró, establecer el código para la obtención de deformaciones unitarias y publicar los resultados en la aplicación "*cayenne*".

Característica	Especificación
Procesador	BCM2837
Velocidad	1200 MHz
RAM	1000 MB
Alimentación	5 V / 3 A
Pines GPIO	40
Puertos USB	4
Puerto Ethernet	1
Puerto HDMI	1
WiFi / Bluetooth	Si
Almacenamiento externo	Tarjeta SD
Dimensiones	85 mm x 56 mm

Cuadro 3.4: Resumen de especificaciones de raspberry pi 3 model B.

Fuente: Fundacion Raspberry Pi, 2020.

## 3.2 Raspbian: Instalación de sistema operativo

Como "*raspbian*" representa la distribución SO más amigable con el usuario y la que se adapta mejor al "*hardware*" del dispositivo, se procedió a instalar esta distribución en la "*raspberry pi* 3 model B".

Según la Fundacion Raspberry Pi (2020), para realizar la instalación de "*raspbian"* en el dispositivo, se dispone de dos versiones: "*raspbian pixel"* y "*raspbian lite"*. "*Raspbian pixel"* es la versión más completa y cuenta con entorno gráfico, la versión "*raspbian lite"* es más reducida y no incluye un entorno gráfico, esta versión por lo general es implementada más en aplicaciones de servidor por usuarios avanzados.

Para iniciar la implementación del DAQ, la versión de *"raspbian"* instalada fue *"raspbian pixel"*. La instalación se ejecutó mediante una ISO con la ayuda de *"raspberry pi imager"*.

Los pasos que se derivaron de realizar la instalación fueron las siguientes:

 Se procedió a descargar "raspberry pi imager" de la página oficial de la Fundación Raspberry Pi.



Figura 3.3: Descarga de raspberry pi imager.

Fuente: Fundacion Raspberry Pi, 2020.

2. Se instaló "raspberry pi imager" en un ordenador alterno.



Figura 3.4: Instalación de raspberry pi imager.

Fuente: Raspberry Pi Imager, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.

3. Luego se ejecutó la aplicación, siguiendo los pasos establecidos.





Fuente: Raspberry Pi Imager, 2020.

4. Se seleccionó el sistema operativo.

	Operating System	X
$\sim$	Raspberry Pi OS (32-bit)	
à	A port of Debian with the Raspberry Pi Desktop (Recommended)	
	Online - 1.1 GB download	
	Raspberry Pi OS (other)	
	Other Raspberry Pi OS based images	
	LibreELEC	>
~	A Kodi Entertainment Center distribution	•
6	Ubuntu	>
S	Choose from Ubuntu Core and Server images	
•	RetroPie	>
<u> </u>	Turn your Deenharry Di into a ratro-gaming machine	

Figura 3.6: Selección de SO en raspberry pi imager.

Fuente: Raspberry Pi Imager, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.

5. Se seleccionó la tarjeta SD donde se instaló el SO, esta tarjeta SD fue previamente insertada en el ordenador.



Figura 3.7: Selección de memoria externa en raspberry pi imager.

Fuente: Raspberry Pi Imager, 2020.

6. Se descargo el SO en la tarjeta SD al presionar la opción "write".



Figura 3.8: Levantamiento de SO en raspberry pi imager.

Fuente: Raspberry Pi Imager, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.

 Por último, para implementar el SO bastó con conectar la tarjeta SD al dispositivo "raspberry pi" y encenderlo, al encender el dispositivo se realizó el levantamiento grafico sin problemas.



Figura 3.9: Levantamiento grafico de SO en raspberry pi.

## 3.3 Real VNC: Habilitación y registro

Teniendo instalado el sistema operativo, se procedió a habilitar "*Real VNC"* y se registró una cuenta en la aplicación, estas acciones se realizaron con el objetivo de manipular el microcontrolador de forma remota, esto nos brindó la ventaja de manipularlo virtualmente desde cualquier lugar con acceso a internet, además nos ahorró las conexiones de "*hardware"* a la PCB y con esto se redujo la manipulación del dispositivo.

Los pasos que resultaron de realizar la habilitación y registro en la aplicación "*Real VNC"* fueron los siguientes:

- 1. Mediante línea de comandos se ejecutaron los siguientes comandos, para asegurar la última versión de "*Real VNC"*.
  - Sudo apt-get update (3.2.1).
  - Sudo apt-get install realvnc-vnc-server realvnc-vnc-viewer (3.2.2).



Figura 3.10: Ejecución de comando 3.2.1

	pi@raspberrypi: ~		х
File Edit	Tabs Help		
Selecting Preparing Unpacking Selecting Preparing Unpacking Selecting Preparing Unpacking Selecting Preparing Unpacking Selecting Preparing Unpacking Selecting Preparing Unpacking Selecting Preparing	<pre>previously unselected package cups-browsed. to unpack/cups-browsed_1.0.61-5+deb8u4_armhf.deb cups-browsed (1.0.61-5+deb8u4) previously unselected package libfile-copy-recursive-perl. to unpack/libfile-copy-recursive-perl_0.38-1_all.deb libfile-copy-recursive-perl (0.38-1) previously unselected package libpaper-utils. to unpack/libpaper-utils_1.1.24+nmu4_armhf.deb libpaper-utils (1.1.24+nmu4) previously unselected package libsane-extras-common. to unpack/libsane-extras-common_1.0.22.3_armhf.deb libsane-extras-common (1.0.22.3) previously unselected package libsane-extras:armhf. to unpack/libsane-extras_1.0.22.3_armhf.deb libsane-extras:armhf (1.0.22.3) previously unselected package printer-driver-gutenprint. to unpack/printer-driver-gutenprint_5.2.10-3+b3_armhf.deb printer-driver-gutenprint (5.2.10-3+b3) previously unselected package qpdf. to unpack/qpdf_5.1.2-2_armhf.deb</pre>		<
Unpacking Preparing Unpacking	<pre>qpdf (5.1.2-2) to unpack/realvnc-vnc-server_6.1.1.28093_armhf.deb realvnc-vnc-server (6.1.1.28093) over (5.3.2.22607)</pre>		

Figura 3.11: Ejecución de comando 3.2.2

- 2. Luego se procedió a habilitar "VNC". Esta acción puede efectuarse gráficamente o en la línea de comandos.
  - Habilitación de "VNC" gráficamente: Para realizar la habilitación gráficamente se procedió a seleccionar: menú→ preferencias→ configuraciones de "raspberry pi" y interfaces. En interfaces nos aseguramos que "VNC" esté habilitado.

System	Interfaces	Performance	Localisation
Camera:		Enabled	Oisabled
SSH:		C Enabled	<ul> <li>Disabled</li> </ul>
VNC:		Enabled	O Disabled
SPI:		◯ Enabled	<ul> <li>Disabled</li> </ul>
I2C:		O Enabled	<ul> <li>Disabled</li> </ul>
Serial:		C Enabled	Oisabled
1-Wire:		Enabled	<ul> <li>Disabled</li> </ul>
Remote GPIO:		C Enabled	Oisabled

Figura 3.12: Habilitación de VNC gráficamente

- Habilitación de "VNC" mediante línea de comandos: Para realizar la habilitación mediante línea de comandos, se procedió a ingresar al BIOS y ejecutar el siguiente comando.
  - a. sudo raspi-config (3.2.3).



Figura 3.13: Ejecución de comando 3.2.3

 Luego se procedió a ingresar en opciones de interfaz, y se habilitó la opción de VNC.



Figura 3.14: Menú de herramientas de configuración
	oi@raspberrypi: ~	
e Edit Tabs Help		
Raspberry Pi Software	Configuration Tool (raspi-config)	 
•v •*		
P1 Camera	Enable/Disable connection to the	
P2 SSH	Enable/Disable remote command li	
P3 VNC	Enable/Disable graphical remote	
P4 SPI	Enable/Disable automatic loading	
P5 12C	Enable/Disable automatic loading	
Po Serial	Enable/Disable shell and kernel	
P/ 1-WIFe	Enable/Disable one-Wire interfac	
P8 Remote GPI0	Enable/Disable remote access to	
<select></select>	<back></back>	

Figura 3.15: Configuración de conexiones de periféricos

Wou	ld	you	like	the	VNC	Server	to	be	enabled?
1									
				Yes					<no></no>

Figura 3.16: Habilitación de VNC server por línea de comandos

3. Teniendo habilitado "*VNC*", la conexión remota al dispositivo "*raspberry pi*" fue posible, empleamos dos métodos de conexión por medio de "*VNC server*", ambos métodos se explican a continuación:

 El primer método se basó en una conexión directa. La ventaja que ofrece este tipo de conexión es su simplicidad y rapidez, siempre y cuando ambos dispositivos estén unidos a la misma red local.

Los pasos ejecutados para conectar dispositivos con este método son los siguientes:

- a. Se ejecutó el comando "sudo ipconfig", este comando proporciona la dirección IP del dispositivo.
- b. Se instaló "VNC Viewer" en el ordenador que se implementó para controlar el "raspberry pi".
- c. Luego se procedió a ingresar la dirección IP del "*raspberry pi*" en el "*VNC Viewer*" instalado en el ordenador alterno.
- d. Para que este método funcione ambos ordenadores deben estar conectados a la misma red local.
- El segundo método se basó en la conexión en la nube. "Real VNC" ofrece el servicio de conexión en la nube de forma gratuita, siempre y cuando la conexión no tenga un objetivo comercial. Este tipo de conexión es cifrada de extremo a extremo, lo que garantiza la seguridad de la información contenida en el dispositivo. Para este tipo de conexión no es necesario conocer la dirección IP, la conexión se establece por medio de internet, esta característica brinda la ventaja de poder accesar al dispositivo desde cualquier lugar con acceso a internet.

Los pasos que se implementaron para usar este método fueron los siguientes:

- a. Se registró una cuenta en "Real VNC".
- b. Se inició sesión en "VNC server" en la "raspberry pi", con las credenciales suministradas en el registro.
- c. Se descargó "VNC Viewer" en el ordenador que se implementó para tomar el control del "raspberry pi".
- d. Se inició sesión en "VNC Viewer" con las credenciales registradas en "Real VNC".
- e. Luego de realizar los pasos anteriores, se despliegan los dispositivos conectados a la nube, aquí se procedió a seleccionar el dispositivo que se deseaba controlar.

Autenticació	n		>
Ę	Autentíques raspberrypi	se en VNC Serve	r
Especifique las (Sugerencia: N	credenciales de O son los datos	VNC Server de su cuenta de F	RealVNC)
Nombre de us	uario: pi		
Contraseña:	raspberry		0
Recordar co	ntraseña	¿Olvidó I	a contraseña
Lema:	Marion co video.	ncert beach. Pap	a imitate
Firma:	e9-ad-77-	c8-d9-90-be-77	
		Aceptar	Cancelar

Figura 3.17: Control de raspberry pi con VNC viewer

3.4 Cayenne: Registro y conexión de arduino UNO

Al tener debidamente habilitado "*Real VNC*", se pudo accesar de forma remota el "*raspberry pi*", de esta forma, desde un ordenador alterno se procede a realizar el registro y conexión de "*arduino UNO*" a la aplicación "*cayenne*" de "*myDevices*".

Los pasos que se derivaron de realizar el registro y conexión de "*arduino UNO*" a la aplicación "*cayenne*", fueron los siguientes:

- 1. Se procedió a ingresar en la siguiente dirección electrónica.
  - https://cayenne.mydevices.com/cayenne/forum\_login
- 2. Luego se ingresó en la opción para registrar o bien "Log In" en inglés.

LOG IN			
EMAIL	PASSWORD	Forgot password?	
			Log In

Figura 3.18: Registro en Cayenne.

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

3. Se suministraron los datos necesarios para realizar el registro.

# Register

ast name mail  assword  confirm password Back to Login	First name		
ast name imail Password Confirm password Back to Login			
ast name mail Password Confirm password Back to Login			
Password Confirm password Back to Login	Last name		
Password Confirm password Back to Login			
Password Confirm password Back to Login	Email		
Password Confirm password			
Confirm password			
Confirm password : Back to Login	Password		
Confirm password Back to Login			
Back to Login			
Back to Login	Confirm password		
Back to Login			
	« Back to Login		
March March			

Figura 3.19: Datos necesarios para realizar el registro en Cayenne

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

4. Una vez realizado el registro en "*Cayenne*" de "*myDevices*", nos encontramos con la siguiente interfaz de selección.

Step 1: Choose a device to start a project



Figura 3.20: Interfaz de selección de dispositivos en Cayenne.

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

Acá se procedió a seleccionar el dispositivo a implementar en el proyecto. En nuestro caso se seleccionó "*arduino"*.

5. Luego de haber seleccionado "*arduino"*, se despliega otra interfaz, donde se nos indica una secuencia de pasos que se deben ejecutar para conectar el dispositivo.

Step 2: Set up your Arduino

A. Connect an Ethernet or Wi-Fi shield. Need one?

B. Make sure your Arduino is connected to a PC/Mac via the USB cable.

C. Install the Arduino IDE.

D. Add Cayenne Library to your Arduino IDE.

E. In the Arduino IDE, go to the tools menu, select your board, and the port your Arduino is connected to

Figura 3.21: Interfaz de configuración de arduino en Cayenne.

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

6. Siguiendo los pasos de la interfaz, se conectó "arduino" a "raspberry pi" por medio del puerto USB, y se procedió a descargar "arduino IDE" en el dispositivo "raspberry pi". La descarga de "arduino IDE" se realiza con el siguiente comando.

• Sudo apt-get install arduino (3.3.1).

O bien ingresando a la siguiente dirección electrónica:

• https://www.arduino.cc/en/software

Si la descarga se efectúa por medio del sitio electrónico, hay que asegurarse de descargar la versión *"Linux ARM 64 bits".* 

7. Una vez descargado "arduino IDE", se procedió a iniciar el programa y descargar la librería "cayenne MQTT". La librería "cayenne MQTT" es la encargada de realizar la comunicación entre "arduino" y la plataforma "cayenne". Para descargar la librería se ingresó en; "sketch", "include library" y por último en "manage libraries".

COMUNICAC	ION_CAYENNE   Arduino 1.8.16 • • • ×
<u>File Edit</u> <u>Sketch</u> <u>T</u> ools <u>H</u> elp	
Verify/Compile Ctrl+R	<b>0</b>
Upload Ctrl+U	
COMI Upload Using Programmer Ctrl+Shift+U	
//se if #incluc Export compiled Binary Ctrl+Alt+S	establecer la comunicacion entre Arduino y Cayenne. •
//se cc Show Sketch Folder Ctrl+K	es necesarias para establecer la comunicacion.
void se Include Library	Δ
char Add File	Manage Libraries Ctrl+Shift+I
<pre>char password[] = "55C4eD3208861T9e834 char clientID[] = "e6870ec0-4968-11ec-</pre>	Add .ZIP Library
<pre>//Se configura la velocidad serial. Serial.begin(9600):</pre>	Arduino libraries
//Se inicializa la comunicacion con ca	Bridge
Cayenne.begin(username, password, clie) }	EEPROM
void loop() {	Esplora
//Se gestiona el ciclo de comunicacion	Ethernet
Cayenne.loop(); }	Firmata
·	GSM

Figura 3.22: Menú para incluir librería cayenne MQTT.

		Library Manager	
Type All	▼ Topic All	- cayenne	
CayenneLPP by Electronic Ca CayenneLPP Ar More info	ats r <b>duino Library.</b> Compatible wi	th Cayenne Low Power Payload.	Ì
CayenneLPPdec	1		
CayenneLPP da sensors with your More info	rman Martin ita <b>decode</b> r Library to decode rown gateways without using TT	a CayenneLPP encoded data to a JSON array. It is useful when you want to use this format to commur IN.	nicate
CayenneMQTT			
by myDevices V Connect a devi IoT project builder More info	ersion 1.3.0 INSTALLED ce to the Cayenne dashbou r. This library bundles the Eclips	ard using MQTT. The Cayenne MQTT Arduino Library provides functions to easily connect to the Cay ie Paho MQTT C/C++ client library for MQTT support. http://www.cayenne-mydevices.com/	/enne
TTN_esp32			_
by Francois Rio	tte		
			Close

Figura 3.23: Administrador de librerías de Arduino IDE.

Una vez instalada la librería, esta aparece en la interfaz gráfica de "*arduino IDE*", específicamente en el menú de librerías.

8. Se procedió a seleccionar la placa y el puerto de comunicación en el menú "Tools".

	COMUNICACION_		
<u>File Edit Sketch</u>	Tools Help		
00 🖻	Auto Format	Ctrl+T	Q.
	Archive Sketch		
COMUNICAC	Fix Encoding & Reload		<u></u>
<pre>//Se incluye #include <cay< pre=""></cay<></pre>	Manage Libraries	Ctrl+Shift+I	comunicacion entre Arduino y Cayenne. •
1/00 00061000	Serial Monitor	Ctrl+Shift+M	and antables and a commission
<pre>void setup()</pre>	Serial Plotter	Ctrl+Shift+L	ara establecer la comunicación.
char userna	WiFi101 / WiFiNINA Firmware Updater		d";
char client	Board: "Arduino Uno"	>	4";
Serial.begi	Port: "/dev/ttyACM1 (Arduino Uno)"	>	
//Se inicia Cavenne.bec	Get Board Info		
}	Programmer: "AVRISP mkll"	>	
<pre>void loop() {     //Se gestic     Cayenne.loo }</pre>	Burn Bootloader ma et ciclo de comunicación con op();	ta ptataror	ma Cayenne.

Figura 3.24: Selección de placa y puerto de comunicación en Arduino IDE.

9. Se estableció el código para la conexión entre "*arduino UNO"* y "*cayenne"*, de forma paralela se escribió el código en la placa "*arduino UNO"*.



Figura 3.25: Código de conexión entre arduino UNO y Cayenne.

10. Teniendo el código escrito en "*arduino UNO"*, se procedió a seleccionar el tipo de conexión en la aplicación "*cayenne"*.

#### Step 3: Connect your Arduino

CT1 C7	T MOULT	A DUDY UR U	200400	COMMERCE	TIMAL
SP1 P1	TUUM			C UNINPEC	110,376
				the second second second	

Arduino Due		~
Arduino Leonardo		~
Arduino Mega		~
Arduino Mini		~
Arduino Nano		~
Arduino Pro		~
Arduino Pro Micro		~
Arduino Pro Mini		~
Arduino Uno		^
Ethernet Shield W5100	Sketch	
Ethernet Shield W5200	Sketch	
Ethernet Shield W5500	Sketch	
Manual Connection	Sketch	
Serial USB Connection	Sketch	
WIFI Shield	Sketch	
WIFi 101 Shield	Sketch	
Arduino MKR1000	Sketch	

Figura 3.26: Selección del tipo de conexión en Cayenne.

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

- 11. Luego de seleccionar el tipo de conexión, se procedió a ejecutar los siguientes comandos en el BIOS para realizar la conexión.
  - sudo chmod +x /home/pi/Arduino/libraries/CayenneMQTT/extras/scripts/cayenneser.sh (3.3.2).
  - ./Arduino/libraries/CayenneMQTT/extras/scripts/cayenne-ser.sh -c /dev/ttyACM0 b 9600 -s mqtt.mydevices.com -p 1883 (3.3.3).

12. Al concluir la ejecución de los comandos, "arduino UNO" se conectó exitosamente a "cayenne" de "myDevices".

<b>Overview</b>	Se Data			Arduino 4964	٠
Settings		Device Name	Arduino 4964		,
General	>	Device Icon	🚥 Arduino		/
		MQTT Username	ed59a950-c741-11eb-883c-638d8ce4c23d	4	2
		MQTT Password	55c4eb32d8861f9e834f495f6ce5c9ad74fe580d	d	2
		Client ID	77f18c30-d972-11eb-a2e4-b32ea624e442	d	Ъ
		Hardware			
		Version			
		Remove Device	Remove Device This action cannot be undone		

Figura 3.27. Conexión exitosa de arduino UNO a Cayenne.

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

#### 3.5 Arduino IDE: Programación de arduino UNO

Como en el apartado 3.4, se accesó de forma remota al *"raspberry pi"* por medio *"Real VNC"*, de esta manera, desde un ordenador alterno se procedió a desarrollar el código para obtener las deformaciones unitarias con el DAQ. El código implementado en el apartado 3.4, encargado de realizar la conexión entre *"arduino UNO"* y la plataforma *"cayenne"*, se incluyó en la programación, para establecer la respectiva comunicación.

Las figuras 3.28 y 3.29, muestran respectivamente, el diagrama de flujo y el código específico, para la obtención de deformaciones unitarias.

El apéndice 4, muestra un ejemplo de código, para la verificación de deformaciones unitarias por medio del monitor serial de "*arduino UNO*".

#Diagrama\_Codigo



Figura 3.28. Diagrama de flujo para obtención de deformaciones unitarias.



```
Q
```

TFG\_DEF\_UNIT /Se incluye la libreria CayenneMQTT para establecer la comunicacion entre Arduino y Cayenne #include <CayenneMQTTSerial.h> //Se configuran e inicializan las funciones necesarias para establecer la comunicacion. void setup() { //Se establecen los datos de autentificacion de la aplicacion cayenne. char username[] = "fdf62790-33bb-11ea-a38a-d57172a4b4d4"; char password[] = "316b0f91acbb572a8b3a3c93ea63f918fbf160d4"; char clientID[] = "7750ff30-4aac-11ec-ad90-75ec5e25c7a4"; //Se configura la velocidad serial. Serial.begin(9600); //Se inicializa la comunicacion con cayenne. Cayenne.begin(username, password, clientID); 3 //Se ejecuta la estructura circular para la obtencion de deformaciones unitarias. void loop() { //Se gestiona el ciclo de comunicacion con la plataforma Cayenne. Cayenne.loop(); } //Se inicializa la funcion encargada de publicar datos en Cayenne. CAYENNE\_OUT(1) { //Se lee la muestra digital y se guarda en V\_OUTDIG. int V\_OUTDIG = analogRead(1); //Se transforma la muestra de digital a analogica. float V\_OUT = (V\_OUTDIG \* 5.0) / 1024.0; //Se estima la diferencia de voltaje medida en el puente de wheatstone. float AV = V\_OUT / 1000.0; //Se estima el voltaje en la galga. float  $V_AV = 1.25 + AV;$ //Se estima la resistencia en la galga. float R\_AR = V\_AV / 0.0034722; //Se estima el cambio de resistencia en la galga. float AR = R\_AR - 360.0; //Se estima la deformacion float def = AR / 720.0; //Se aplica el prefijo mili a la deformacion float microdef = def\*1000000.0; //Se publica la deformacion unitaria en la aplicacion cayenne. Cayenne.virtualWrite(1, microdef, "Deformacion", "micro(mm/mm)"); 3

Figura 3.29. Código para obtención de deformaciones unitarias.

El cuadro 3.5 muestra las constantes implementadas en el código de la figura 3.29, en él se muestran los significados, la forma en que se estiman y el apartado donde se encuentran.

Constante	Significado o cálculo	Apartado
5	Máxima salida analógica	3.1.2
1024	Máximo nivel digital	4.3
1000	Ganancia del módulo de deformación	3.1.2
1.25	$V_{\delta=0} = \frac{R(1+\delta)}{R(1+\delta) + R} V_{ref}; \ con \ R = 360 \ y \ V_{ref} = 2.5$	2.4.3
0.0034722	$I_{\delta=0} = \frac{V_{ref}}{R + R(1 + \delta)}; con R = 360 \ y \ V_{ref} = 2.5$	2.4.3
360	Resistencia nominal + resistencia de conectores	3.1.1
720	$GF \times R$ ; con $GF = 2 y R = 360$	2.4.2.1
1000000	Prefijo micro	No aplica

Cuadro 3.5: Constantes implementadas en el código.

Los pasos que resultaron de desarrollar, verificar y compilar el código para obtener deformaciones unitarias en "*arduino IDE*" fueron los siguientes:

- Se reutilizó el código implementado para establecer la comunicación entre "arduino UNO" y "cayenne".
- Aprovechando la gestión del ciclo de comunicación desarrollada en el apartado 3.4, se procedió a inicializar la función "CAYENNE\_OUT()", encargada de publicar datos en "cayenne". Esta función por defecto publica datos cada 15 segundos.
- Se realizó la lectura del voltaje que ingresa al pin analógico 1, por medio de la función "analogRead(1)". Se guardó el valor en una variable de tipo "int".
- 4. Se transformó la lectura del punto 3 de digital a analógica, implementando una regla de 3, donde se usa la relación que establece que 5 V es igual al nivel digital 1024. Se guardó el valor en una variable de tipo "*float"*.
- Se estimó la diferencia de voltaje en el puente de "wheatstone", esto se logró dividiendo el valor obtenido en el punto 4 entre la ganancia del circuito que representa un valor de 1000. Se guardó el valor en una variable de tipo "float".
- 6. Se estimó el voltaje en la galga extensiométrica, esto se consiguió sumando, el valor obtenido en el punto 5 al voltaje de la galga sin perturbación, el voltaje sin perturbación es igual a 1.25 V. El valor del punto 5 representa la perturbación en voltaje que experimenta la galga. Se guardó el valor en una variable de tipo "float".

- Se estimó la resistencia en la galga extensiométrica, esto se alcanzó implementando la ley de "ohm", con un valor de corriente igual a 0.0034722 A. Se guardó el valor en una variable de tipo "float".
- Se estimó el cambio en la resistencia, esto se logró restando al valor del punto 7 la resistencia sin perturbación, la resistencia sin perturbación tiene un valor de 360 Ω. Se guardó el valor en una variable de tipo "*float"*.
- Se estimó la deformación unitaria, implementado la ecuación 2.13 del apartado 2.7.2.1, con GF igual a 2 y resistencia sin perturbación igual a 360 Ω. Se guardó el valor en una variable de tipo "*float"*.
- 10. Se aplicó el prefijo micro a la deformación, esto se consiguió multiplicando por 1000000 el valor del punto 9. Se implementó este prefijo, debido a que la función del punto 11 por defecto publica únicamente 3 decimales. Se guardó el valor en una variable de tipo "float".
- 11. Se publicó la micro deformación unitaria en "cayenne", por medio de la función "*cayenne.virtualwrite()*".
- 12. Se cerró el ciclo, y se encicló el código a partir del punto 2.
- 13. Se verificó el código en "arduino IDE" y se compilo en "arduino UNO".

#### 3.6 Cayenne: Publicación de deformaciones unitarias

Al establecer el código en "*arduino UNO"* y la comunicación con "*cayenne"*, las micro deformaciones unitarias fueron publicadas automáticamente en la aplicación IoT de "*myDevices"*. En este apartado se muestran las formas en que la aplicación "*cayenne"* exhibe los datos publicados.

Las figuras 3.30, 3.31 y 3.32, muestran las 3 formas de visualizar datos en "*cayenne*" desde un ordenador.

BF350 strain gauge module



#### micro(mm/mm)

Figura 3.30: Publicación de micro deformaciones unitarias en overview.

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.



Figura 3.31: Submenú details and charts de overview.

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

Overview Data							TFG DEF_UNIT
Live m h d w	1mo Custo	om Query					📩 Download
Timestamp	▼ De▼	Ch▼ ≑	Sensor Name 🔻	Sensor ID 🛛 🔻 ≑	Dat 🕈 💠	Unit 🌲	Values 🗘
2021-11-27 1:46:0	5 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:45:5	0 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:45:3	5 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:45:2	0 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	501.29400634766
2021-11-27 1:45:0	5 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	505.19299316406
2021-11-27 1:44:5	0 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:44:3	5 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:44:1	9 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:44:0	4 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	530.53997802734
2021-11-27 1:43:4	9 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:43:3	4 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:43:1	9 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:43:0	4 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131
2021-11-27 1:42:4	9 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	5.1710000038147
2021-11-27 1:42:3	4 TFG DE	1	BF350 strain gauge	16995cd0-4f45-11	Deform	micro(	3.220999956131

Figura 3.32: Publicación de micro deformaciones unitarias en "data".

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

La figura 3.30 hace referencia a la visualización de micro deformaciones unitarias por medio de "*overview*", en esta ventana se publica una deformación a la vez y se actualiza según la tasa de muestreo.

De "*overview*" de despliega un submenú llamado "*details and chart*", la figura 3.31 hace referencia a este submenú, en esta visualización del "*overview*" se observa el comportamiento de las micro deformaciones unitarias en el tiempo. La visualización "*details and chart*" puede ajustarse a distintos rangos de tiempo preconfigurados, o bien a un rango establecido por el usuario.

La figura 3.32 hace referencia a la visualización de micro deformaciones unitarias por medio de "*data"*, este tipo de visualización cuenta con detalles específicos de cada medición. Entre los principales detalles destacan; fecha y hora de la publicación, canal digital en que se publica, nombre del sensor, tipo de dato, unidades y el valor de la publicación. La visualización "*data"* 

puede ajustarse a distintos rangos de tiempo preconfigurados, inclusive a un rango establecido por el usuario.

Tanto "*details and chart"* como "*data"*, brindan la opción de descarga, al descargar se obtiene una hoja en formato CSV con un nivel de detalle como el de la figura 3.32. La información que se descarga puede agruparse en rangos de tiempo establecidos por el usuario.

Las figuras 3.33 y 3.34, muestran las 2 formas de visualizar datos en "*cayenne*" desde un teléfono inteligente.

La figura 3.33, muestra la visualización de micro deformaciones unitarias por medio de "*overview*", cuenta con las mismas características que la aplicación para ordenadores. Al pulsar la ventana "*overview*" se tiene acceso a "*details and chart*", con las mismas características que la aplicación para ordenadores.

En la aplicación para "*smartphones*" el submenú "*details and chart*", no brinda la opción de descarga de datos.



Figura 3.33: Publicación de micro deformaciones unitarias en overview.

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

# BF350 strain gauge module

<



Figura 3.34: Submenú details and charts de overview.

Fuente: Cayenne myDevices, 2021.

Modificado: Berrocal, 2021.

## 4 Validación del DAQ

#### 4.1 Modelo estructural

El modelo estructural implementado fue una viga en voladizo, se escogió este modelo debido a lo simple y práctico que resulta encontrar el momento flexionante en cada sección transversal a lo largo del elemento. Como se puede observar en la figura 4.1, el espécimen estructural está compuesto de una placa de 100x100x9.5 mm soldada a una platina de 330x50x6.3 mm en esta configuración la placa de 100x100x9.5 mm cumple la función de elemento de empotre, mientras que la platina de 330x50x6.3 mm cumple la función de viga en voladizo. El espécimen estructural será cargado con distintas cargas puntuales en su extremo en voladizo, precisamente en el gancho que se observa en la figura 4.1.

En la figura 4.2 se puede observar un despiece del espécimen estructural, acá se puede notar el punto específico donde se aplicarán las cargas en la platina.

Según ArcelorMittal (2021), las platinas comercializadas en Costa Rica cumplen con la norma ASTM A36, por tanto, la platina del espécimen estructural cuenta con un límite de fluencia de 250 MPa.



Figura 4.1: Modelo tridimensional del espécimen estructural.



DES-1 4"x4"x3/8" (100mmx100mmx9.5mm)



DES-2 13"x2"x1/4" (330mmx50mmx6.3mm)

Figura 4.2: Despiece del espécimen estructural.

Las figuras 4.3 y 4.4, muestran la configuración del espécimen estructural. En ambas figuras podemos observar la distribución de soldadura, para la fabricación del espécimen, se especificó soldadura en bisel con E6013 a 3 mm alrededor de la conexión de la platina, esto para garantizar un empotre perfecto.



Figura 4.3: Vista lateral: Configuración del espécimen estructural.



Figura 4.4: Vista superior: Configuración del espécimen estructural.

En la figura 4.5, se puede observar el espécimen instalado y empotrado en una pared.



Figura 4.5: Espécimen estructural instalado en el lugar de monitoreo.

#### 4.1.1 Proceso de adherencia de galgas extensiométricas

El proceso de adherencia de galgas extensiométricas, se realizó de acuerdo a lo establecido en el apartado 2.4.2.2.

Se implementaron dos tipos de adhesivo, estos se detallan en el apartado siguiente, se obtuvieron excelentes resultados con el adhesivo "*epoxi bonder metálico".* 

#### 4.1.1.1 Adhesivos

En cuanto a adhesivos, se implementaron dos tipos, ambos de la marca "Loctite", específicamente "súper bonder" y "epoxi bonder metálico".

#### 4.1.1.1.1 Super bonder

Se encuentra en el mercado nacional en tres presentaciones: Original, pincel y precisión. Es un adhesivo de propósito general instantáneo. Se implementa para unir múltiples tipos de material. Es de apariencia transparente.

Entre las ventajas del "*súper bonder"* se encuentran:

- Presenta resistencia a rangos de temperatura entre los -50°C y 120°C.
- Sus presentaciones garantizan una aplicación práctica.
- Presenta bajo costo en comparación con el "epoxi bonder metálico".

Entre las desventajas se encuentran:

- Presenta secado rápido.
- Presenta poca precisión al implementar el método del apartado 2.4.2.2.
- Presenta una adherencia deficiente entre la galga y el metal.
- La fluidez que presenta, genera poca área de contacto.
- La capa de adherencia es muy delgada.
- Presenta una deficiente transmisión de esfuerzos.

#### 4.1.1.1.2 Epoxi bonder metálico

Se encuentra en el mercado nacional en una única presentación. Es un adhesivo para metales que genera resistencia en el transcurso de un día. Es de apariencia metálica.

Entre las ventajas del *"epoxi bonder metálico"* se encuentran:

- Presenta resistencia a rangos de temperatura entre los -50°C y 115°C.
- Genera alta resistencia final.
- Garantiza un rango amplio de manipulación.

- Sirve como medio de protección para la galga, ante la intemperie.
- Garantiza una capa de adherencia ideal.
- Presenta alta precisión al implementar el método del apartado 2.4.2.2.
- Presenta una adherencia eficiente entre la galga y el metal.
- Presenta una eficiente transmisión de esfuerzos.

Entre las desventajas se encuentran:

- Presenta un costo elevado en comparación con el "super bonder".
- Presenta un tiempo de secado de un día.
- Se debe buscar elementos de protección para realizar la mezcla.

#### 4.1.1.2 Recomendaciones

Entre las recomendaciones para realizar el proceso de adherencia por medio del método establecido en el apartado 2.4.2.2 tenemos las siguientes:

- No implementar "super bonder".
- Lijar en el sentido opuesto a la dirección de la galga, para generar una mejor superficie de adherencia.
- Al implementar "*epoxi bonder metálico"* mezclar partes iguales de ambos componentes.
- Al implementar "epoxi bonder metálico" usar equipo de protección, evitar el contacto con la piel.
- Al implementar "*epoxi bonder metálico"* respetar un día de secado en la mezcla, para generar la resistencia adecuada.
- Al implementar "epoxi bonder metálico" pegar una galga extensiométrica por mezcla.

#### 4.1.2 Ubicación de galgas extensiométricas

En la figura 4.6 se muestra la ubicación de las galgas extensiométricas en el espécimen estructural.





estructural.

La ubicación 1, fue a 15 cm del lugar de aplicación de la carga puntual, o bien, en el centro del espécimen estructural, en la fibra extrema superior de la sección transversal.

La ubicación 2, fue a 22.5 cm del lugar de aplicación de la carga puntual, o bien, a un cuarto del espécimen estructural desde el empotre, en la fibra extrema superior de la sección transversal.

Las figuras 4.7, 4.8 y 4.9, muestran las galgas extensiométricas, instaladas en el espécimen estructural.



Figura 4.7: Ubicación de galgas extensiométricas en espécimen instalado.



Figura 4.8: Vista superior de ubicación de galgas extensiométricas.



Figura 4.9: Vista ampliada de ubicación de galgas extensiométricas.

#### 4.1.3 Carga límite del rango elástico

En este apartado, se procedió a calcular la carga límite que puede soportar la viga en voladizo, sin exceder el rango elástico, el objetivo fue establecer un límite de carga puntual, para que al cargar el espécimen todas las deformaciones registradas se encuentren en el rango elástico.

Como se estableció en el apartado 4.1 en este tipo de platinas el límite de esfuerzo de fluencia en el rango elástico es 250 MPa. Por tanto:

$$\sigma_y = 250 \, MPa \tag{4.1}$$

La ecuación 2.6 del apartado 2.1.3 establece la relación que existe entre; esfuerzo, momento, inercia y eje neutro. La relación es la siguiente:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \tag{4.2}$$

Las ecuaciones de momento máximo e inercia de la sección transversal, para el modelo estructural fueron las siguientes:

$$M = PL = mgL \tag{4.3}$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$
 (4.4)

Considerando la ecuación 4.3, la ecuación 4.2 quedo expresada como:

$$\sigma = \frac{mgLc}{l} \tag{4.5}$$

Al despejar la masa de la ecuación 4.5, se obtuvo:

$$m = \frac{\sigma I}{g_{Lc}} \tag{4.6}$$

Del espécimen estructural se conocía que el valor de "b''y "h'', son 50 mm y 6.35 mm respectivamente, de esta forma la inercia de la sección transversal fue igual a:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} * 50 * 6.35^3 = 1066.86 \ mm^4 \tag{4.7}$$

Puesto que, "g'', "L''y "c'', son 9.81 m/s<sup>2</sup>, 300 mm y 3.175 mm respectivamente, se logró estimar la masa máxima que puede ser conectada al espécimen estructural sin superar su rango elástico.

$$m = \frac{\sigma I}{gLc} = \frac{250x1066.86}{9.81x300x3.175} = 28.5 \, Kg \tag{4.8}$$

La carga límite del rango elástico para el espécimen estructural fue 28.5 Kg.

### 4.2 Resultados y validación

Los cuadros 4.1 y 4.2, muestran los escenarios de carga analizados, como se observa en ambos cuadros, se realizó una secuencia de carga de múltiplos de tres kilogramos. Las cargas fueron aplicadas con un recipiente abastecido de agua, con el peso establecido en cada ensayo.

Ensayo	Peso ensayado (Kg)	Fuerza (N)
1.1	3	29.43
1.2	6	58.86
1.3	9	88.29
1.4	12	117.72
1.5	15	147.15
1.6	18	176.58
1.7	21	206.01

Cuadro 4.1: Escenarios de carga en la ubicación 1.

Cuadro 4.2: Escenarios de carga en la ubicación 2.

Ensayo	Peso ensayado (Kg)	Fuerza (N)
2.1	3	29.43
2.2	6	58.86
2.3	9	88.29
2.4	12	117.72
2.5	15	147.15
2.6	18	176.58
2.7	21	206.01

Las figuras 4.10 y 4.11, muestran el DAQ implementado realizando monitoreo. En ambos ensayos el espécimen estructural es sometido a una carga puntual de 206 N en su extremo en voladizo. En la esquina superior derecha de ambas figuras, se muestra la visualización en la aplicación "cayenne" del proceso de carga y descarga.



Figura 4.10: Monitoreo de deformaciones unitarias en ubicación 1.



Figura 4.11: Monitoreo de deformaciones unitarias en ubicación 2.

### 4.2.1 Resultados experimentales

## 4.2.1.1 Ubicación 1

El cuadro 4.3, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 1 colocando un peso de 3 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Sensor	Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T07:48:53.571Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:48:38.456Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:46:22.496Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:46:07.342Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:45:52.251Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:45:37.116Z	BF350 strain gauge module	12.292
2021-12-03T07:45:22.005Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:45:07.053Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:44:51.783Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:44:36.727Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:42:05.561Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:41:50.436Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:41:35.332Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:41:20.231Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:41:05.111Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	8.392
Desviad	ción estándar	1.592
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T07:48:23.348Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	<b>Def + Ruido (micro*mm/mm)</b> 76.760 76.760
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:2896Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:22.896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:2896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 76.760
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:22.896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:52.706Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 76.760 76.760
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:2896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:37.654Z           2021-12-03T07:44:06.471Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 74.810 76.760 76.760 80.660
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:22.896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:57.654Z           2021-12-03T07:44:06.471Z           2021-12-03T07:44:06.471Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 74.810 76.760 76.760 80.660 72.861
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:2896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:37.654Z           2021-12-03T07:44:06.471Z           2021-12-03T07:43:51.332Z           2021-12-03T07:43:36.220Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 76.760 80.660 72.861 76.760
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:22.896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:37.654Z           2021-12-03T07:44:06.471Z           2021-12-03T07:43:51.332Z           2021-12-03T07:43:36.220Z           2021-12-03T07:43:21.144Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 76.760 76.760 80.660 72.861 76.760 74.810
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:22.896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:37.654Z           2021-12-03T07:43:51.332Z           2021-12-03T07:43:51.332Z           2021-12-03T07:43:21.144Z           2021-12-03T07:43:06.006Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 76.760 80.660 72.861 76.760 80.660 72.861 76.760 74.810
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:2896Z           2021-12-03T07:47:2896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:37.654Z           2021-12-03T07:43:51.332Z           2021-12-03T07:43:36.220Z           2021-12-03T07:43:21.144Z           2021-12-03T07:43:06.006Z           2021-12-03T07:42:50.883Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 76.760 76.760 80.660 72.861 76.760 74.810 74.810 74.810
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:44:06.471Z           2021-12-03T07:43:51.332Z           2021-12-03T07:43:36.220Z           2021-12-03T07:43:06.006Z           2021-12-03T07:42:50.883Z           2021-12-03T07:42:35.771Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 76.760 80.660 72.861 76.760 74.810 74.810 74.810
Fecha y hora           2021-12-03T07:48:23.348Z           2021-12-03T07:48:08.310Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:53.119Z           2021-12-03T07:47:38.010Z           2021-12-03T07:47:2896Z           2021-12-03T07:47:2896Z           2021-12-03T07:47:07.841Z           2021-12-03T07:46:52.706Z           2021-12-03T07:46:37.654Z           2021-12-03T07:43:51.332Z           2021-12-03T07:43:36.220Z           2021-12-03T07:43:21.144Z           2021-12-03T07:43:06.006Z           2021-12-03T07:42:50.883Z           2021-12-03T07:42:35.771Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 76.760 76.760 74.810 76.760 74.810 74.810 76.760 80.660 72.861 76.760 74.810 74.810 74.810 74.810 74.810

Cuadro 4.3: Resultados experimentales del ensayo 1.1.

El cuadro 4.4, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 1 colocando un peso de 6 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Sensor	Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T07:31:06.951Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:30:51.843Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:28:35.826Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:28:20.745Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:28:05.602Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:27:50.516Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:27:35.383Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:27:20.268Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:27:05.218Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:26:50.046Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:24:34.034Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:24:18.942Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:24:03.806Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:23:48.692Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:23:33.621Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:23:18.475Z	BF350 strain gauge module	10.342
Pr	omedio	8.514
Desviad	ción estándar	1.119
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T07:30:36.796Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z           2021-12-03T07:29:20.052Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 145.086 139.236 141.186
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 141.186 139.236
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:28:50.933Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 141.186 139.236 141.26 139.236
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 141.186 139.236 139.236 139.236 139.236 139.236
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 141.186 139.236 139.236 139.236 139.236 139.236 137.287
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 141.186 139.236 139.236 139.236 139.236 137.287 137.287
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 141.186 139.236 139.236 139.236 139.236 137.287 137.287 137.287
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:30.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:19.378Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 141.186 139.236 139.236 139.236 139.236 137.287 137.287 137.287 137.287
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:19.378Z           2021-12-03T07:25:04.254Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 141.186 139.236 139.236 139.236 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:19.378Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 141.186 139.236 139.236 139.236 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:49.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:19.378Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:24:49.147Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 139.236 141.186 141.186 139.236 145.086 139.236 139.236 139.236 139.236 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 137.287 139.236 139.236 139.236

Cuadro 4.4: Resultados experimentales del ensayo 1.2.

El cuadro 4.5, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 1 colocando un peso de 9 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Sensor	Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T07:20:23.523Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:20:08.418Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:17:52.399Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:17:37.290Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:17:22.171Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:17:07.082Z	BF350 strain gauge module	16.191
2021-12-03T07:16:52.056Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:16:36.842Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:16:21.832Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:16:06.621Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:13:50.608Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:13:35.492Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:13:20.378Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:13:05.261Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:12:50.223Z	BF350 strain gauge module	16.191
2021-12-03T07:12:35.048Z	BF350 strain gauge module	10.342
Pr	omedio	10.220
Desviad	ción estándar	2.800
		2.000
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T07:19:53.304Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:52.846Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:21.284Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:21.284Z           2021-12-03T07:15:06.210Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:30.78Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.97ZZ           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:21.284Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z           2021-12-03T07:14:35.941Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655 205.655
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:21.284Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z           2021-12-03T07:14:51.053Z           2021-12-03T07:14:35.941Z           2021-12-03T07:14:21.017Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z           2021-12-03T07:14:35.941Z           2021-12-03T07:14:21.017Z           2021-12-03T07:14:05.716Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 205.655 207.604 209.554 205.655 205
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z           2021-12-03T07:14:35.941Z           2021-12-03T07:14:25.0716Z           2021-12-03T07:14:05.716Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm)           205.655           207.604           209.554           205.655

Cuadro 4.5: Resultados experimentales del ensayo 1.3.

El cuadro 4.6, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 1 colocando un peso de 12 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Sensor	Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T07:09:47.644Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:09:32.534Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:07:16.569Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:07:01.416Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:06:46.307Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:06:31.327Z	BF350 strain gauge module	18.183
2021-12-03T07:06:16.076Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:06:00.962Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:05:45.906Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:05:30.741Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:03:14.720Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:02:59.645Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:02:44.577Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:02:29.394Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:02:14.284Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:01:59.162Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	10.223
Desviad	ción estándar	3.067
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T07:09:17.420Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.1123Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:07:46.741Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:07:31.631Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821 281.821
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821 281.821 279.872
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z           2021-12-03T07:04:45.399Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821 281.821 281.821 279.872 279.872
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:30.294Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821 281.821 279.872 279.872 281.821 279.872 281.821
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:30.294Z           2021-12-03T07:04:15.174Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821 281.821 279.872 279.872 279.872 279.872 279.872 281.821 291.612
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:00.089Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821 281.821 279.872 279.872 281.821 279.872 281.821 291.612 279.872
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:30.294Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:4.992Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821 281.821 279.872 279.872 281.821 291.612 279.872 281.821
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:03:44.992Z           2021-12-03T07:03:30.308Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821 281.821 279.872 281.821 279.872 281.821 291.612 279.872 281.821 279.872
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:00.089Z           2021-12-03T07:03:30.308Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 283.771 279.872 287.671 279.872 283.771 277.879 279.872 281.821 281.821 279.872 279.872 281.821 291.612 279.872 281.821 291.612 279.872 281.821 291.612 279.872 281.821 291.612 279.872 281.821 291.612 279.872 281.821

Cuadro 4.6: Resultados experimentales del ensayo 1.4.

El cuadro 4.7, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 1 colocando un peso de 15 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Sensor	Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T06:57:45.867Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T06:57:30.759Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:55:14.753Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:54:59.632Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:54:44.532Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:54:29.402Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:54:14.309Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:53:59.205Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:53:44.078Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:53:28.963Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:51:12.966Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:50:57.926Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:50:42.726Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:50:27.635Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:50:12.506Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:49:57.394Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	7.905
Desviad	ción estándar	1.125
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T06:57:15.645Z	Sensor BF350 strain gauge module	<b>Def + Ruido (micro*mm/mm)</b> 346.290
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 342.390 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 342.390 344.340 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.914Z           2021-12-03T06:52:58.748Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 342.390 344.340 344.340 344.340 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:43.689Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 342.390 344.340 342.390 342.390
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:28.559Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 342.390 344.340 344.340 342.390 342.390 342.390
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:28.748Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.649Z           2021-12-03T06:52:43.649Z           2021-12-03T06:52:43.649Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 342.390 344.340 344.340 342.390 342.390 342.390 342.390
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:58.748Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:51:58.340Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 342.390 344.340 344.340 342.390 344.340 342.390 344.340 342.390 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:58.748Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:51:58.340Z           2021-12-03T06:51:43.195Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 342.390 342.390 342.390 344.340 344.340 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:58.748Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:51:58.340Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:28.062Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 342.390 344.340 344.340 342.390 344.340 342.390 344.340 342.390 342.390 344.340 344.340 344.340
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:51:58.340Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:43.195Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 346.290 344.340 340.398 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 342.390 342.390 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340 344.340

Cuadro 4.7: Resultados experimentales del ensayo 1.5.

El cuadro 4.8, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 1 colocando un peso de 18 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Sensor	Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T06:43:46.709Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:43:31.402Z	BF350 strain gauge module	16.191
2021-12-03T06:41:15.383Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T06:41:00.274Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T06:40:45.157Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:40:30.050Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:40:14.937Z	BF350 strain gauge module	12.292
2021-12-03T06:39:59.830Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:39:44.747Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:39:29.607Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:37:13.607Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:36:58.478Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T06:36:43.415Z	BF350 strain gauge module	12.292
2021-12-03T06:36:28.256Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:36:13.144Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:35:58.034Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	9.611
Desviad	ción estándar	2.837
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T06:43:16.294Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:0.982Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:41:30.491Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147 416.607 418.557
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147 416.607 418.557 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.264Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147 416.607 418.557 416.607 418.557
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:29.171Z           2021-12-03T06:38:14.050Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147 416.607 418.557 416.607 418.557 418.557 418.557 418.557
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:14.050Z           2021-12-03T06:37:58.930Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147 416.607 418.557 416.607 418.557 432.248 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.050Z           2021-12-03T06:37:58.930Z           2021-12-03T06:37:43.811Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147 416.607 418.557 416.607 418.557 432.248 416.607 428.348
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:14.050Z           2021-12-03T06:37:58.930Z           2021-12-03T06:37:43.811Z           2021-12-03T06:37:28.708Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147 416.607 418.557 416.607 418.557 432.248 416.607 428.348 424.406
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:14.050Z           2021-12-03T06:37:58.930Z           2021-12-03T06:37:43.811Z           2021-12-03T06:37:28.708Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gau	Def + Ruido (micro*mm/mm) 418.557 416.607 434.197 424.406 416.607 422.457 418.557 436.147 416.607 418.557 416.607 418.557 416.607 418.557 432.248 416.607 428.348 424.406 422.467

Cuadro 4.8: Resultados experimentales del ensayo 1.6.

El cuadro 4.9, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 1 colocando un peso de 21 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Sensor	Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T06:25:00.274Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:24:45.164Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:22:29.181Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:22:14.031Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:21:58.933Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:21:43.818Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:21:28.699Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:21:13.592Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:20:58.479Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:20:43.419Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:18:27.356Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:18:12.249Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:17:57.142Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:17:42.030Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:17:26.907Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:17:11.795Z	BF350 strain gauge module	6.443
Pr	omedio	7.418
Desviad	ción estándar	1.006
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T06:24:30.055Z	Sensor BF350 strain gauge module	<b>Def + Ruido (micro*mm/mm)</b> 486.883
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 488.832
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:23:14.516Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 488.832 488.832
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.516Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:28.255Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 488.832 486.883 486.883 486.883 486.883
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:28.255Z           2021-12-03T06:20:13.215Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 484.933
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:28.255Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 488.832 486.883 486.883 486.883 484.933 484.933
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 484.933 484.933 484.933
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:42.984Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 484.933 484.933 484.933
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:20:28.255Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:12.728Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 484.933 484.933 484.933 484.933 484.933 484.933
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:12.728Z           2021-12-03T06:18:57.580Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 484.933 484.933 484.933 484.933 486.883 486.883 486.883
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:20:44.263Z           2021-12-03T06:20:44.263Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:12.728Z           2021-12-03T06:19:12.7580Z           2021-12-03T06:18:42.481Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 484.933 484.933 484.933 484.933 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:28.255Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:12.728Z           2021-12-03T06:19:12.728Z           2021-12-03T06:18:57.580Z           2021-12-03T06:18:42.481Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 486.883 484.933 484.933 484.933 484.933 486.883 486.895

Cuadro 4.9: Resultados experimentales del ensayo 1.7.

El cuadro 4.10, muestra los promedios, de las deformaciones unitarias experimentales en la ubicación 1, monitoreadas con el DAQ desarrollado. Para encontrar el valor real
de las deformaciones unitarias, se procedió a restar el ruido eléctrico promedio captado por "arduino UNO" en cada caso.

Ensayo	Peso ensayado (Kg)	Deformación + Ruido (micro*mm/mm)	Ruido (micro*mm/mm)	Deformación (micro*mm/mm)
1.1	3	75.785	8.392	67.393
1.2	6	139.358	8.514	130.844
1.3	9	206.873	10.220	196.653
1.4	12	281.943	10.223	271.720
1.5	15	343.972	7.905	336.067
1.6	18	422.467	9.611	412.856
1.7	21	486.395	7.418	478.978

Cuadro 4.10: Deformaciones unitarias promedio en la ubicación 1.

El cuadro 4.11, muestra la dispersión del ruido eléctrico respecto a la media, para los ensayos realizados en la ubicación 1. Se puede observar que el porcentaje de dispersión se encuentra entre 13.10% y 30.00%.

Cuadro 4.11: Desviación estándar del ruido en la ubicación 1.

Ruido promedio (micro*mm/mm)	Desviación estándar (micro*mm/mm)	Porcentaje de desviación (%)
8.392	1.592	18.97
8.514	1.119	13.14
10.220	2.800	27.40
10.223	3.067	30.00
7.905	1.125	14.24
9.611	2.837	29.51
7.418	1.006	13.57

El cuadro 4.12, muestra la dispersión de las deformaciones unitarias respecto a la media, para los ensayos realizados en la ubicación 1. Se puede observar que el porcentaje de dispersión se encuentra entre 0.25% y 2.6%.

Deformación (micro*mm/mm)	Desviación estándar (micro*mm/mm)	Porcentaje de desviación (%)
67.393	1.744	2.59
130.844	2.0718	1.58
196.653	2.453	1.25
271.720	3.460	1.27
336.067	1.633	0.49
412.856	6.809	1.65
478.978	1.126	0.24

Cuadro 4.12: Desviación estándar de las deformaciones en la ubicación 1.

La figura 4.12, muestra el comportamiento de las deformaciones unitarias respecto al número de monitoreo, en la ubicación 1, los datos se tomaron cada 15 segundos debido a las restricciones de la biblioteca "*cayenne*". Se realizaron dos ciclos de carga y dos ciclos de descarga, por peso ensayado.



Figura 4.12: Deformaciones unitarias en la ubicación 1.

#### 4.2.1.2 Ubicación 2

El cuadro 4.13, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 2 colocando un peso de 3 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora Sensor		Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T07:31:06.951Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:30:51.843Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:28:35.826Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:28:20.745Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:28:05.602Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:27:50.516Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:27:35.383Z	BF350 strain gauge module	16.191
2021-12-03T07:27:20.268Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:27:05.218Z	BF350 strain gauge module	12.292
2021-12-03T07:26:50.046Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:24:34.034Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:24:18.942Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:24:03.806Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:23:48.692Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:23:33.621Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:23:18.475Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	9.976
Desviación estándar		3.121
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T07:30:36.796Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 109.948 115.797 117.747
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z           2021-12-03T07:29:06.052Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:28:50.933Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747 109.948 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747 109.948 109.948 109.948 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.282Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747 109.948 109.948 107.998 107.998 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:19.378Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:19.378Z           2021-12-03T07:25:04.254Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:24:49.147Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:19.378Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:24:49.147Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 113.848 109.948 107.998 109.948 115.797 117.747 115.797 117.747 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 109.948 119.697 115.797 112.629

Cuadro 4.13: Resultados experimentales del ensayo 2.1.

El cuadro 4.14, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 2 colocando un peso de 6 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Sensor	Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T07:31:06.951Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:30:51.843Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:28:35.826Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:28:20.745Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:28:05.602Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:27:50.516Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:27:35.383Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:27:20.268Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:27:05.218Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:26:50.046Z	BF350 strain gauge module	12.292
2021-12-03T07:24:34.034Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:24:18.942Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:24:03.806Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:23:48.692Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:23:33.621Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:23:18.475Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	9.002
Desviad	ción estándar	2.102
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T07:30:36.796Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 211.504 209.554
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 211.504 209.554 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 211.504 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 211.504 211.504 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z           2021-12-03T07:29:20.052Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 213.454
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:21.166Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:28:50.939Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504 211.504 211.504 213.454 213.454 213.454
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:44.931Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:26:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:19.378Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 213.454 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:19.822Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:19.378Z           2021-12-03T07:25:04.254Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:30.393Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:19.378Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504
Fecha y hora           2021-12-03T07:30:36.796Z           2021-12-03T07:30:21.669Z           2021-12-03T07:30:06.504Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:51.391Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:36.280Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:29:06.052Z           2021-12-03T07:26:34.933Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:26:04.811Z           2021-12-03T07:25:34.480Z           2021-12-03T07:25:49.601Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z           2021-12-03T07:25:04.254Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 211.504 209.554 209.554 211.504 211.504 211.504 213.454 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504 211.504

Cuadro 4.14: Resultados experimentales del ensayo 2.2.

El cuadro 4.15, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 2 colocando un peso de 9 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Fecha y hora Sensor	
2021-12-03T07:20:23.523Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:20:08.418Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:17:52.399Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:17:37.290Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:17:22.171Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:17:07.082Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:16:52.056Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:16:36.842Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:16:21.832Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:16:06.621Z	BF350 strain gauge module	16.191
2021-12-03T07:13:50.608Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:13:35.492Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:13:20.378Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:13:05.261Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T07:12:50.223Z	BF350 strain gauge module	12.292
2021-12-03T07:12:35.048Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	9.489
Desviación estándar		3.101
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T07:19:53.304Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 313.102 313.951
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 313.102 313.102 313.102 313.102 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 313.102 318.951 311.152 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 318.951 311.152 313.102 313.102 313.102 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:21.284Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 313.102 318.951 311.152 313.102 313.102 320.901 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:21.284Z           2021-12-03T07:15:06.210Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 313.102 318.951 311.152 313.102 320.901 313.102 313.102 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:21.284Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 318.951 311.152 313.102 313.102 313.102 313.102 318.951 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z           2021-12-03T07:14:35.941Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 318.951 311.152 313.102 320.901 313.102 313.102 313.102 313.102 313.102 315.052
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:21.284Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z           2021-12-03T07:14:35.941Z           2021-12-03T07:14:21.017Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 318.951 311.152 313.102 320.901 313.102 313.102 318.951 313.102 318.951 313.102 315.052
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:18:22.628Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z           2021-12-03T07:14:35.941Z           2021-12-03T07:14:21.017Z           2021-12-03T07:14:05.716Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 318.951 311.152 313.102 313.102 313.102 313.102 313.102 315.052 313.102
Fecha y hora           2021-12-03T07:19:53.304Z           2021-12-03T07:19:38.197Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:23.078Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:19:07.972Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:52.846Z           2021-12-03T07:18:37.797Z           2021-12-03T07:18:07.509Z           2021-12-03T07:15:51.508Z           2021-12-03T07:15:36.426Z           2021-12-03T07:15:64.210Z           2021-12-03T07:15:06.210Z           2021-12-03T07:14:51.053Z           2021-12-03T07:14:35.941Z           2021-12-03T07:14:21.017Z           2021-12-03T07:14:05.716Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gau	Def + Ruido (micro*mm/mm) 311.152 315.052 313.102 313.102 320.901 313.102 318.951 311.152 313.102 320.901 313.102 313.102 313.102 313.102 315.052 315.052 313.102 314.930

Cuadro 4.15: Resultados experimentales del ensayo 2.3.

El cuadro 4.16, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 2 colocando un peso de 12 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora	Sensor	Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T07:09:47.644Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:09:32.534Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:07:16.569Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:07:01.416Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:06:46.307Z	BF350 strain gauge module	12.292
2021-12-03T07:06:31.327Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:06:16.076Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:06:00.962Z	BF350 strain gauge module	16.191
2021-12-03T07:05:45.906Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:05:30.741Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:03:14.720Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:02:59.645Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:02:44.577Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T07:02:29.394Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T07:02:14.284Z	BF350 strain gauge module	10.342
2021-12-03T07:01:59.162Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	10.342
Desviad	ción estándar	2.848
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T07:09:17.420Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.1123Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:07:46.741Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 416.607 414.658
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 416.607 414.658 414.658
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 414.658 414.658 414.658 414.658
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 414.658 414.658 414.658 416.607 424.406
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z           2021-12-03T07:04:45.399Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 414.658 414.658 414.658 414.658 416.607 424.406 414.658
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:30.294Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 414.658 414.658 414.658 416.607 424.406 414.658
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:30.294Z           2021-12-03T07:04:15.174Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 414.658 414.658 414.658 414.658 414.658 414.658 424.406 414.658
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:00.089Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 414.658 414.658 414.658 416.607 424.406 414.658 424.406 414.658 414.658
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:30.294Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:4.992Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 414.658 414.658 414.658 416.607 424.406 414.658 416.607 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:05:00.526Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:03:44.992Z           2021-12-03T07:03:30.308Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 414.658 414.658 414.658 416.607 424.406 414.658 424.406 414.658 424.406 414.658 416.607 416.607
Fecha y hora           2021-12-03T07:09:17.420Z           2021-12-03T07:09:02.326Z           2021-12-03T07:08:47.194Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:32.112Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:17.123Z           2021-12-03T07:08:01.863Z           2021-12-03T07:07:46.741Z           2021-12-03T07:07:31.631Z           2021-12-03T07:05:15.638Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:45.399Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:04:15.174Z           2021-12-03T07:03:44.992Z           2021-12-03T07:03:30.308Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 416.607 418.557 416.607 414.658 420.507 416.607 414.658 414.658 414.658 416.607 424.406 414.658 424.406 414.658 416.607 416.607 416.607 416.607 417.338

Cuadro 4.16: Resultados experimentales del ensayo 2.4.

El cuadro 4.17, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 2 colocando un peso de 15 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora Sensor		Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T06:57:45.867Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T06:57:30.759Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:55:14.753Z	BF350 strain gauge module	14.242
2021-12-03T06:54:59.632Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:54:44.532Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:54:29.402Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:54:14.309Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:53:59.205Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:53:44.078Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:53:28.963Z	BF350 strain gauge module	16.191
2021-12-03T06:51:12.966Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:50:57.926Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:50:42.726Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:50:27.635Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:50:12.506Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:49:57.394Z	BF350 strain gauge module	10.342
Pr	omedio	9.367
Desviación estándar		2.935
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T06:57:15.645Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163 520.113
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163 520.113 518.163
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163 520.113 518.163 518.163 525.962
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163 520.113 518.163 518.163 525.962 518.163
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.914Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163 520.113 518.163 525.962 518.163 522.063
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:53:13.934Z           2021-12-03T06:52:58.748Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163 520.113 518.163 525.962 518.163 522.063 522.063
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:43.689Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163 520.113 518.163 525.962 518.163 522.063 522.063 520.113 518.163
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:28.559Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163 520.113 518.163 525.962 518.163 522.063 520.113 518.163 522.063
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:28.748Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:13.405Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 518.163 520.113 518.163 525.962 518.163 522.063 520.113 518.163 522.063 522.063 525.962
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:51:58.340Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 516.213 518.163 520.113 518.163 525.962 518.163 522.063 522.063 522.063 525.962 525.962 522.063
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:51:58.340Z           2021-12-03T06:51:43.195Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 516.213 518.163 520.113 518.163 525.962 518.163 522.063 522.063 522.063 522.063 525.962 522.063 522.063 518.163
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:8.748Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:51:58.340Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:28.062Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 516.213 518.163 520.113 518.163 525.962 518.163 522.063 522.063 522.063 525.962 525.962 525.962 525.962 525.962 525.962 525.963 518.163
Fecha y hora           2021-12-03T06:57:15.645Z           2021-12-03T06:57:00.538Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:45.421Z           2021-12-03T06:56:30.305Z           2021-12-03T06:56:15.192Z           2021-12-03T06:56:00.146Z           2021-12-03T06:55:44.962Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:55:29.919Z           2021-12-03T06:52:58.748Z           2021-12-03T06:52:43.689Z           2021-12-03T06:52:13.405Z           2021-12-03T06:51:158.340Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:43.195Z           2021-12-03T06:51:28.062Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 518.163 520.113 516.213 516.213 518.163 520.113 518.163 525.962 518.163 522.063 522.063 522.063 522.063 525.962 522.063 525.962 522.063 518.163 518.163 518.163 518.163

Cuadro 4.17: Resultados experimentales del ensayo 2.5.

El cuadro 4.18, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 2 colocando un peso de 18 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora Sensor		Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T06:43:46.709Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:43:31.402Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:41:15.383Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:41:00.274Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:40:45.157Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:40:30.050Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:40:14.937Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:39:59.830Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:39:44.747Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:39:29.607Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:37:13.607Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:36:58.478Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:36:43.415Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:36:28.256Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:36:13.144Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:35:58.034Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	8.148
Desviad	ción estándar	0.666
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T06:43:16.294Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 623.618
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:0.982Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 623.618 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 623.618 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:0.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:41:30.491Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.264Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.050Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:14.050Z           2021-12-03T06:37:58.930Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.050Z           2021-12-03T06:37:58.930Z           2021-12-03T06:37:43.811Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:15.876Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:41:30.491Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:59.390Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.050Z           2021-12-03T06:37:58.930Z           2021-12-03T06:37:43.811Z           2021-12-03T06:37:28.708Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568
Fecha y hora           2021-12-03T06:43:16.294Z           2021-12-03T06:43:01.175Z           2021-12-03T06:42:46.124Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:30.980Z           2021-12-03T06:42:00.982Z           2021-12-03T06:41:30.980Z           2021-12-03T06:41:45.604Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:39:14.489Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:38:44.264Z           2021-12-03T06:37:58.930Z           2021-12-03T06:37:43.811Z           2021-12-03T06:37:28.708Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 625.568 623.618 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568 625.568

Cuadro 4.18: Resultados experimentales del ensayo 2.6.

El cuadro 4.19, muestra los resultados experimentales, del ensayo realizado en la ubicación 2 colocando un peso de 21 Kg en el extremo de la viga en voladizo.

Fecha y hora Sensor		Ruido (micro*mm/mm)
2021-12-03T06:25:00.274Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:24:45.164Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:22:29.181Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:22:14.031Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:21:58.933Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:21:43.818Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:21:28.699Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:21:13.592Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:20:58.479Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:20:43.419Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:18:27.356Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:18:12.249Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:17:57.142Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:17:42.030Z	BF350 strain gauge module	6.443
2021-12-03T06:17:26.907Z	BF350 strain gauge module	8.392
2021-12-03T06:17:11.795Z	BF350 strain gauge module	8.392
Pr	omedio	7.905
Desviad	ción estándar	0.872
Fecha y hora	Sensor	Def + Ruido (micro*mm/mm)
Fecha y hora 2021-12-03T06:24:30.055Z	Sensor BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z	Sensor BF350 strain gauge module BF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:23:14.516Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 727.124 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.516Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:28.255Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:28.255Z           2021-12-03T06:20:13.215Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:28.255Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm)           729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:42.984Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:20:28.255Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:12.728Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm)           729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:12.728Z           2021-12-03T06:19:57.580Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm) 729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:14.516Z           2021-12-03T06:22:59.372Z           2021-12-03T06:22:44.263Z           2021-12-03T06:20:13.215Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:12.728Z           2021-12-03T06:19:12.7580Z           2021-12-03T06:18:42.481Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm)           729.073
Fecha y hora           2021-12-03T06:24:30.055Z           2021-12-03T06:24:14.935Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:59.826Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:29.631Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:23:44.717Z           2021-12-03T06:20:23:44.717Z           2021-12-03T06:20:23:44.717Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:58.034Z           2021-12-03T06:19:42.989Z           2021-12-03T06:19:27.804Z           2021-12-03T06:19:12.728Z           2021-12-03T06:19:12.728Z           2021-12-03T06:18:57.580Z           2021-12-03T06:18:42.481Z	SensorBF350 strain gauge moduleBF350 strain gauge module	Def + Ruido (micro*mm/mm)           729.073

Cuadro 4.19: Resultados experimentales del ensayo 2.7.

El cuadro 4.20, muestra los promedios, de las deformaciones unitarias experimentales en la ubicación 2, monitoreadas con el DAQ desarrollado. Para encontrar el valor real de las deformaciones unitarias, se procedió a restar el ruido eléctrico promedio captado por "*arduino UNO"* en cada caso.

Ensayo	Peso ensayado (Kg)	Deformación + Ruido (micro*mm/mm)	Ruido (micro*mm/mm)	Deformación (micro*mm/mm)
2.1	3	112.629	9.976	102.652
2.2	6	211.626	9.002	202.624
2.3	9	314.930	9.489	305.441
2.4	12	417.338	10.342	406.997
2.5	15	520.113	9.367	510.746
2.6	18	625.324	8.148	617.176
2.7	21	728.708	7.905	720.803

Cuadro 4.20: Deformaciones unitarias promedio en la ubicación 2.

El cuadro 4.21, muestra la dispersión del ruido eléctrico respecto a la media, para los ensayos realizados en la ubicación 2. Se puede observar que el porcentaje de dispersión se encuentra entre 8.10% y 32.70%.

Cuadro 4.21: Desviación estándar del ruido en la ubicación 2.

Ruido promedio	Desviación estándar	Porcentaje de desviación
(micro*mm/mm)	(micro*mm/mm)	(%)
9.976	3.121	31.29
9.002	2.102	23.35
9.489	3.101	32.68
10.342	2.848	27.54
9.367	2.935	31.34
8.148	0.666	8.17
7.905	0.872	11.03

El cuadro 4.22, muestra la dispersión de las deformaciones unitarias respecto a la media, para los ensayos realizados en la ubicación 2. Se puede observar que el porcentaje de dispersión se encuentra entre 0.10% y 3.80%.

Deformación (micro*mm/mm)	Desviación estándar (micro*mm/mm)	Porcentaje de desviación (%)
102.652	3.891	3.79
202.624	0.8629	0.43
305.441	3.221	1.05
406.997	3.174	0.78
510.746	2.848	0.56
617.176	0.666	0.11
720.803	0.786	0.11

Cuadro 4.22: Desviación estándar de las deformaciones en la ubicación 2.

La figura 4.13, muestra el comportamiento de las deformaciones unitarias respecto al número de monitoreo, en la ubicación 2, los datos se tomaron cada 15 segundos debido a las restricciones de la biblioteca "*cayenne*". Se realizaron dos ciclos de carga y dos ciclos de descarga, por peso ensayado.



Figura 4.13: Deformaciones unitarias en la ubicación 2.

4.2.2 Resultados teóricos

El cuadro 4.23, muestra las variables mecánicas y geométricas del espécimen estructural en la ubicación 1.

Descripción	Variable	Valor	Referencia
Módulo de Young	E	200000 MPa	2.1.1
Inercia	Ι	1066.86 mm <sup>4</sup>	4.1.2
Fibra extrema	Y	3.175 mm	4.1.2
Ubicación de la galga	L	150 mm	4.1.1

Cuadro 4.23: Variables mecánicas y geométricas en la ubicación 1.

Con la ayuda de la ecuación 2.7, ubicada en el apartado 2.1.3, se calcularon las microderfomaciones unitarias teóricas para cada peso ensayado, los cálculos detallados a continuación corresponden a la ubicación 1.

El cuadro 4.24 muestra los resultados teóricos de la ubicación 1.

Ensayo	Peso ensayado (Kg)	Fuerza (N)	Deformación (micro*mm/mm)
1.1	3	29.43	65.688
1.2	6	58.86	131.377
1.3	9	88.29	197.065
1.4	12	117.72	262.753
1.5	15	147.15	328.441
1.6	18	176.58	394.130
1.7	21	206.01	459.818

Cuadro 4.24: Deformaciones unitarias teóricas en la ubicación 1.

El cuadro 4.25, muestra las variables mecánicas y geométricas del espécimen estructural en la ubicación 2.

104

Descripción	Variable	Valor	Referencia
Módulo de Young	E	200000 MPa	2.1.1
Inercia	Ι	1066.86 mm <sup>4</sup>	4.1.2
Fibra extrema	Y	3.175 mm	4.1.2
Ubicación de la galga	L	225 mm	4.1.1

Cuadro 4.25: Variables mecánicas y geométricas en la ubicación 2.

Con la ayuda de la ecuación 2.7, ubicada en el apartado 2.1.3, se calcularon las microderfomaciones unitarias teóricas para cada peso ensayado, los cálculos detallados a continuación corresponden a la ubicación 2.

El cuadro 4.26 muestra los resultados teóricos de la ubicación 2.

Cuadro 4.26: Deformaciones unitarias teóricas en la ubicación 2.

Ensayo	Peso ensayado (Kg)	Fuerza (N)	Deformación (micro*mm/mm)
2.1	3	29.43	98.532
2.2	6	58.86	197.065
2.3	9	88.29	295.597
2.4	12	117.72	394.130
2.5	15	147.15	492.662
2.6	18	176.58	591.194
2.7	21	206.01	689.727

#### 4.2.3 Validación teórica

En este apartado se muestra, una comparación entre las deformaciones unitarias estimadas con aspectos teóricos y las deformaciones unitarias captadas en sitio por el sistema desarrollado.

El cuadro 4.27, muestra la comparación entre deformaciones teóricas y deformaciones experimentales, ambas en la ubicación 1, como se puede observar el porcentaje de error no supera el 4.75%.

Ensayo	Peso ensayado (Kg)	De formación Teórica (micro*mm/mm)	Deformación Experimental (micro*mm/mm)	Porcentaje de error (%)
1.1	3	65.688	67.393	2.60
1.2	6	131.377	130.844	-0.41
1.3	9	197.065	196.653	-0.21
1.4	12	262.753	271.720	3.41
1.5	15	328.441	336.067	2.32
1.6	18	394.13	412.856	4.75
1.7	21	459.818	478.978	4.17

Cuadro 4.27: Comparación de resultados teóricos y experimentales en la ubicación 1.

El cuadro 4.28, muestra la comparación entre deformaciones teóricas y deformaciones experimentales, ambas en la ubicación 2, como se puede observar el porcentaje de error no supera el 4.50%.

Cuadro 4.28: Comparación de resultados teóricos y experimentales en la ubicación 2.

Ensayo	Peso ensayado (Kg)	De formación Teórica (micro*mm/mm)	Deformación Experimental (micro*mm/mm)	Porcentaje de error (%)
2.1	3	98.532	102.652	4.18
2.2	6	197.065	202.624	2.82
2.3	9	295.597	305.441	3.33
2.4	12	394.13	406.997	3.26
2.5	15	492.662	510.746	3.67
2.6	18	591.194	617.176	4.39
2.7	21	689.727	720.803	4.51

Se puede concluir que los datos obtenidos con el DAQ desarrollado, difieren de las estimaciones teóricas en 4.75%, esta diferencia, puede asociarse con el ruido que experimenta el sistema o bien con la precisión de este.

### 4.3 Comparación de características contra un DAQ estándar

El cuadro 4.29, muestra la comparación del sistema DAQ de bajo costo desarrollado contra un sistema DAQ estándar.

Característica	DAQ IoT	DAQ de NI
Costo	95 USD	9000 USD
Resolución	10 bits	16 bits
Niveles digitales	1024	65536
Precisión	4.882 mV	0.076 mV
Multivariable	No	Si
Registro de datos	En la nube	En memoria interna
Visualización de datos	En internet	En ordenador
Configuración flexible	Si	No
Compacto en dimensiones	Si	No
Programable	Si	Si
Frecuencia de muestreo	0.066 Hz	100 KHz
Frecuencia de muestreo máx.	9 KHz	100 KHz
Software	Libre	Costo asociado

Cuadro 4.29: Comparación entre el DAQ desarrollado y un DAQ estándar.

Entre las ventajas que resaltan, en comparación con un DAQ estándar, se encuentran: El bajo costo del sistema, el acceso a los registros de datos en la nube, la visualización de datos por medio de internet, la facilidad de configuración tanto en componentes electrónicos como en software, sus reducidas dimensiones y la implementación de software libre.

Por otra parte, al tratarse de un sistema que implementa placas reducidas, presenta las siguientes desventajas en comparación con un DAQ estándar: Baja resolución y precisión, registro y documentación de una sola variable, baja frecuencia de muestreo.

Al analizar el sistema de adquisición de datos, a nivel de costo-beneficio, se puede concluir que, aunque presente baja resolución y baja frecuencia de muestreo, es una opción amigable, flexible y de bajo costo, que puede implementarse en el muestreo de deformaciones unitarias con confianza.

### 5 Conclusiones

Se logró desarrollar y establecer un DAQ funcional de bajo costo por 95 USD, valor que representa el uno por ciento de un equipo de adquisición estándar. El sistema desarrollado permite un ahorro considerable a la hora de implementar sistemas de adquisición de datos en la obtención de deformaciones unitarias, además, brinda la oportunidad de implementar un mayor número de unidades en el monitoreo de integridad estructural.

Se logró implementar la tecnología IoT en el DAQ desarrollado. La plataforma implementada fue "*Cayenne*" de "*myDevices*". El sistema desarrollado permite un control en tiempo real de las deformaciones unitarias que experimenta el espécimen bajo estudio, además de un registro que puede ser revisado desde cualquier dispositivo con acceso a internet. En este proyecto se logró una tasa de muestreo de deformaciones, de 4 muestras por minuto, específicamente 1 deformación unitaria cada 15 segundos.

Se logró establecer una herramienta que puede ser implementada en el plano académico y profesional. En el plano académico esta herramienta permite comparar aspectos teóricos con particularidades prácticas, y asimilar de una forma más intuitiva el material didáctico por medio de ensayos experimentales personalizados. En el plano profesional esta herramienta permite configurar nuevos sistemas, con el objetivo de obtener las variables necesarias para el diseño, optimización, inspección y control de obras, en las distintas áreas de la ingeniería civil. El sistema desarrollado permite al futuro profesional familiarizarse con tecnologías de última generación y de bajo costo.

Se logró establecer un sistema de adquisición de deformaciones unitarias, compacto, que implementa "*software*" libre, configurable a nivel de componentes electrónicos y "*software*", cuyo porcentaje de error en sus mediciones no supera los cinco puntos porcentuales para un nivel de deformación alrededor del sesenta por ciento de la deformación de fluencia.

#### 6 Recomendaciones

Para implementar el DAQ desarrollado en el proyecto, se recomienda manipular con extrema delicadeza todos los componentes electrónicos, entiéndase por componentes electrónicos: "*arduino*", "*raspberry pi*", "*strain gauge module*", los puertos de "*hardware*" y las respectivas conexiones. Cualquier golpe puede dañar de forma severa estos dispositivos. Además, la mala manipulación de conexiones puede sobre-alimentar el DAQ y hacer caer la ejecución del sistema operativo.

La tarjeta SD del dispositivo "*raspberry pi*" es un elemento crítico en el correcto funcionamiento del DAQ, por esta razón debe ser manipulada con cuidado especial, cualquier manipulación errónea llevará consigo, el daño de la tarjeta SD y con ella el sistema operativo del DAQ. Se recomienda contar con varias distribuciones de "*raspbian*" por si esto llegara a pasar. Si la tarjeta SD se daña, se pierde toda la información del dispositivo "*raspberry pi*", se recomienda tener un respaldo de la información del dispositivo en alguna memoria externa.

Para implementar varios "*strain gauge module*" en el "*arduino UNO*" y de esta forma aprovechar las seis entradas analógicas disponibles en él para efectuar monitoreo, se recomienda establecer un banco de alimentación a 5 V externo, de esta forma los módulos funcionaran de manera simultánea y no provocaran la caída del sistema operativo del "*raspberry pi*". La programación en "*arduino IDE*" para obtener cada entrada analógica será bajo el mismo esquema, solo deben colocarse los métodos de programación en cascada, para que el ciclo de programación las ejecute y documente en orden. Para cada señal analógica que se pretenda documentar en "*cayenne*" de "*myDevices*" se debe establecer un canal virtual distinto.

Una mejora que se puede realizar al DAQ es implementar el modelo "*arduino UNO WiFi Rev.2*", al implementar este modelo se puede enviar información directamente desde "*arduino*" a la aplicación IoT, sin la necesidad de que esta información pase antes por el dispositivo "*raspberry pi*", esta modificación reduciría el costo total del DAQ. Además, este modelo de "*arduino*" soporta los métodos de programación del "*arduino UNO*", por esta razón puede implementarse la programación desarrollada en este proyecto para obtener las deformaciones unitarias.

Para implementar el DAQ desarrollado en el proyecto, se recomienda tener en ejecución de "*raspbian*" la aplicación de administración de tareas, con el objetivo de tener control sobre el

uso del CPU, la ejecución de muchas actividades en paralelo puede provocar una caída del sistema operativo. Además, se recomienda no quitar la alimentación del dispositivo "*raspberry pi*" mientras está ejecutando actividades, debido a que esto puede dañar el sistema operativo.

Para incrementar la frecuencia de muestreo, se recomienda diseñar una función en la librería "*cayenneMQTT*", configurada para tomar datos cada segundo. Se debe establecer como base un dato cada segundo, debido a que la aplicación "*cayenne*" solo permite una publicación por segundo, al realizar esta mejoría en el código se pasaría de una frecuencia de muestreo de 0.066 Hz a 1 Hz.

#### 7 Referencias

- Adafruit. (2020). Explore and Learn: Adafruit Powerboost 1000C. Recuperado de: https://learn.adafruit.com/adafruit-powerboost-1000c-load-share-usb-chargeboost/overview
- Angarita, W. (2019). Plataforma de captura, almacenamiento, procesamiento, y visualización de datos de una red acelerométrica orientada al monitoreo de salud estructural. Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia.
- ArcelorMittal. (2021). Productos y soluciones. Pletinas. Recuperado de: https://costarica.arcelormittal.com/pletinas
- Arduino. (2020). Tienda. Productos: Arduino DUE. Recuperado de: https://store.arduino.cc/products/arduino-due
- Arduino. (2020). Tienda. Productos: Arduino NANO 33 IoT. Recuperado de: https://store.arduino.cc/products/arduino-nano-33-iot
- Arduino. (2020). Tienda. Productos: Arduino NANO. Recuperado de: https://store.arduino.cc/products/arduino-nano
- Arduino. (2020). Tienda. Productos: Arduino UNO Rev3. Recuperado de: https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3
- Arduino. (2020). Tienda. Productos: Arduino UNO WiFi Rev2. Recuperado de: https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2
- BricoGeek. (2020). Productos por categoría: Power Booster MP2636 (2A). Recuperado de: https://tienda.bricogeek.com/convertidores-de-voltaje/1031-power-booster-mp2636-2a.html
- Cajas, R. Campoverde, F. Tello, E. (2012). Diseño e implementación de una tarjeta de adquisición de datos de alta velocidad y su aplicación en el diseño de laboratorios académicos basados en software y hardware libre. España: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Charry, O. (2015). Raspberry Pi. Revisión técnica: Guía de uso y programación. Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje. Centro Tecnológico del Mobiliario.

- Correa, A. (2020). Desarrollo de un transductor de torque de bajo costo, utilizando galgas extensiométricas y protocolos de comunicación del internet de las cosas. Colombia: Universidad Eafit.
- CRCibernetica. (2020). Productos: Oficial Arduino / Oficial Arduino UNO Rev.3. Recuperado de: https://www.crcibernetica.com/official-arduino-uno-rev-3/
- CRCibernetica. (2020). Productos: Sensores / BF350 strain gauge sensor module. Recuperado de: https://www.crcibernetica.com/bf350-strain-gauge-sensor-module/
- CRCibernetica. (2021). Productos: Raspberry Pi / Raspberry Pi 3 Model B. Recuperado de: https://www.crcibernetica.com/raspberry-pi-3-model-b/
- Dworakowski, L. Hartmann, A. Kakuno, E. Teixeira, P. (2016). Uso da plataforma arduino e do software PLX-DAQ para construcao do graficos do movimiento real. Brasil: Universidade Federal do Pampa.
- Eben Upton. (s.f.). Raspberry Pi: Guía de usuario. Reino Unido: Fundacion Raspberry Pi.
- Fernández, I. (2015). Monitorización de la calidad del aire en tiempo real mediante el procesamiento de eventos complejos. España: Universidad de Cádiz.
- Fundación Raspberry Pi. (2020). Documentación: Acceso Remoto con VNC. Recuperado de: https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/vnc
- Fundación Raspberry Pi. (2020). Productos: Raspberry Pi 1 Model A+. Recuperado de: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-1-model-a-plus/
- Fundación Raspberry Pi. (2020). Productos: Raspberry Pi 1 Model B+. Recuperado de: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-1-model-b-plus/
- Fundación Raspberry Pi. (2020). Productos: Raspberry Pi 2 Model B. Recuperado de: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/
- Fundación Raspberry Pi. (2020). Productos: Raspberry Pi 3 Model B. Recuperado de: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/
- Fundación Raspberry Pi. (2020). Productos: Raspberry Pi 3 Model B+. Recuperado de: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/

- Fundación Raspberry Pi. (2020). Productos: Raspberry Pi Compute Module 3+. Recuperado de: https://www.raspberrypi.org/products/compute-module-1/
- Fundación Raspberry Pi. (2020). Productos: Raspberry Pi Zero W. Recuperado de: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/
- Fundación Raspberry Pi. (2020). Productos: Raspberry Pi Zero. Recuperado de: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero/
- Fundación Raspberry Pi. (2020). Software: Raspbian. Recuperado de: https://www.raspberrypi.com/software/
- Granados, D. (2014). Desarrollo de un prototipo inalámbrico de bajo costo para el monitoreo de flujo vehicular. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Herrero, J. Sánchez, J. (2015). Una mirada al mundo de arduino. España: Universidad Alfonso X el Sabio.
- Hibbeler, R. (2011). Mecánica de materiales. México: Pearson Educación de México. Octava edición.
- Idrovo, P. Quintanilla, L. (2010). Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas. España: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Lamari, J. Paganelli, A. Cazarim, N. Pimentel, Lia. Carvalho, O. (2019). Desenvolvimento de sistema de baixo custo para monitoramento de integridade estructural. Brasil: CEATEC.
- Mejía, A. Salazar, J. (2019). Diseño e implementación de un prototipo para el análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos utilizando el software Matlab. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Miyara, F. (2004). Electrónica III: Conversores D/A y A/D. Argentina: Universidad Nacional de Rosario. Segunda edición.
- Mosquera, I. (2019). Monitorización de bajo coste para la evaluación del comportamiento dinámico de estructuras de ingeniería civil bajo condiciones de servicio. España: Universidad Politécnica de Madrid.

MyDevices. (2020). Cayenne: Características. Recuperado de: https://developers.mydevices.com/cayenne/features/

- MyDevices. (2021). Cayenne: Conexión de arduino. Recuperado de: https://cayenne.mydevices.com/cayenne/dashboard/first-visit/arduino/4a527750-37cb-11ec-ad90-75ec5e25c7a4/step-3
- MyDevices. (2021). Cayenne: Configuración de arduino. Recuperado de: https://cayenne.mydevices.com/cayenne/dashboard/first-visit/arduino/4a527750-37cb-11ec-ad90-75ec5e25c7a4/step-2

MyDevices. (2021). Cayenne: Log in. Recuperado de: https://accounts.mydevices.com/auth/realms/cayenne/protocol/openidconnect/auth?response\_type=code&scope=email+profile&client\_id=cayenne-webapp&state=s48RFZ0rSTIXZfwMB15WrAmaihNYwvTITtVGJF9j&redirect\_uri=https%3A %2F%2Fcayenne.mydevices.com%2Fauth%2Fcallback

- MyDevices. (2021). Cayenne: Registro. Recuperado de: https://accounts.mydevices.com/auth/realms/cayenne/loginactions/registration?client\_id=cayenne-web-app&tab\_id=MBHx0BV85fo
- MyDevices. (2021). Cayenne: Selección de dispositivo para iniciar proyecto. Recuperado de: https://cayenne.mydevices.com/cayenne/dashboard/first-visit/devices
- National Instruments. (2020). Shop. CompactDAQ Systems: CompactDAQ Chassis. Recuperado de: https://www.ni.com/en-us/shop/hardware/compactdaq-chassis-category.html#
- National Instruments. (2021). Shop. CompactDAQ Systems: System components. Recuperado de: https://www.ni.com/en-us/shop/compactdaq.html

Norton, H. (1989). Handbook of transducers. Estados Unidos: Prentice Hall.

- Novoa, M. (2019). Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para planta de bombeo fotovoltaico. España: Universidade da Coruña.
- Oconitrillo, E. (2018). Uso de sensores ultrasónicos en la medición de desplazamiento lateral vehicular en diferentes secciones de la red vial nacional primaria de Costa Rica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

- Ojeda, L. (2016). Transmisión, almacenamiento y análisis de datos de movilidad urbana usando computadores de placa reducida. España: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Piñeres, G. Mejia, A. (2013) Plataformas tecnológicas aplicadas al monitoreo climático. Colombia: Universidad de la Costa.
- Quezada, A. Chango, P. Benavides, V. Ramírez, R. Enciso, L. (2017). Desarrollo de un sistema de monitoreo para estructuras de puentes. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Quiñones, M. González, V. Torres, R. Jumbo, M. (2017). Sistema de monitoreo de variables medioambientales usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de internet de las cosas. Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Rodríguez, C. (2015). Optimización y puesta en marcha de un prototipo inalámbrico de bajo costo que permita modelar el flujo vehicular en un punto específico. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Rodríguez, S. Gallardo, J. Arauz, O. (2017). Estudio del periodo de vibración de puentes de concreto en Panamá. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.
- Rose, K. Eldridge, S. Chapin, L. (2015). La internet de las cosas: Una breve reseña. Suiza: Internet Society.
- Tobajas, A. (2016). Diseño e implementación de una estación meteorológica con raspberry pi. España: Universidad Abierta de Cataluña.
- Vera, C. Barbosa, J. Pabon, D. (2014). Acople de sensores en la medición de variables ambientales usando tecnología "*ZigBee*". Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Villafana, D. (s.f.). Fundamentos de telecomunicaciones. México: Instituto Tecnológico de Mérida.
- Villanueva, S. (2014). Diseño de un sistema de captura y procesamiento de señales. España: Universitad Politécnica de Valencia.

# Apéndices



### Apéndice 1: Diseño de espécimen estructural

Figura A.1 Diseño de espécimen estructural.



Apéndice 2: Esquema "Arduino UNO".

Figura A.2: Esquema arduino UNO.

Fuente: Arduino, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.



Apéndice 3: Esquema "Raspberry pi 3 model b".

Figura A.3: Esquema raspberry pi 3 model B.

Fuente: Fundacion Raspberry Pi, 2020.

Modificado: Berrocal, 2020.

Apéndice 4: Código para verificar deformaciones en el monitor serial.

```
REV ANALOG READ §
void setup() {
  //Se configura la velocidad serial.
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  //Se lee la muestra analogica y se guarda en Voutdigital.
  int Voutdigital = analogRead(1);
  //Se transforma la muestra de digital a analogica.
  float V_OUT = (Voutdigital * 5.0) / 1024.0;
  //Se estima la diferencia de voltaje medida en el puente de wheatstone.
  float AV = V_OUT / 1000.0;
  //Se estima el voltaje en la galga.
  float V_AV = 1.25 + AV;
  //Se estima la resistencia en la galga.
  float R_AR = V_AV / 0.0034722;
  //Se estima el cambio de resistencia en la galga.
  float AR = R_AR - 360.0;
  //Se estima la deformacion.
  float def = AR / 720.0;
  //Se publica la deformacion unitaria en la aplicacion cayenne.
  Serial.println(def,6);
  delay(1000);
}
```

Figura A.4 Código para verificar deformaciones en el monitor serial.

# Apéndice 5: Resultados experimentales, ubicación 1.

Timestamp	Channel	Sensor Name	Data Type	Unit	Value
2021-12-03T07:49:23.795Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:49:08.682Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T07:48:53.571Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:48:38.456Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T07:48:23.348Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	76.760
2021-12-03T07:48:08.310Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	76.760
2021-12-03T07:47:53.119Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	74.810
2021-12-03T07:47:38.010Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	76.760
2021-12-03T07:47:22.896Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	74.810
2021-12-03T07:47:07.841Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	74.810
2021-12-03T07:46:52.706Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	76.760
2021-12-03T07:46:37.654Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	76.760
2021-12-03T07:46:22.496Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:46:07.342Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:45:52.251Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:45:37.116Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	12.292
2021-12-03T07:45:22.005Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:45:07.053Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:44:51.783Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:44:36.727Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T07:44:21.560Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	74.810
2021-12-03T07:44:06.471Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	80.660
2021-12-03T07:43:51.332Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	72.861
2021-12-03T07:43:36.220Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	76.760
2021-12-03T07:43:21.144Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	74.810
2021-12-03T07:43:06.006Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	74.810
2021-12-03T07:42:50.883Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	74.810
2021-12-03T07:42:35.771Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	74.810
2021-12-03T07:42:20.659Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:42:05.561Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T07:41:50.436Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:41:35.332Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T07:41:20.231Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:41:05.111Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:31:06.951Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:30:51.843Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:30:36.796Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	139.236

Cuadro A.1: Resultados experimentales en la ubicación 1.

2021-12-03T07:30:21.669Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	141.186
2021-12-03T07:30:06.504Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	141.186
2021-12-03T07:29:51.391Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	139.236
2021-12-03T07:29:36.280Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	145.086
2021-12-03T07:29:21.166Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	139.236
2021-12-03T07:29:06.052Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	141.186
2021-12-03T07:28:50.939Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	139.236
2021-12-03T07:28:35.826Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:28:20.745Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:28:05.602Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:27:50.516Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:27:35.383Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T07:27:20.268Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:27:05.218Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:26:50.046Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T07:26:34.933Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	139.236
2021-12-03T07:26:19.822Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	137.287
2021-12-03T07:26:04.811Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	137.287
2021-12-03T07:25:49.601Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	137.287
2021-12-03T07:25:34.480Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	137.287
2021-12-03T07:25:19.378Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	137.287
2021-12-03T07:25:04.254Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	139.236
2021-12-03T07:24:49.147Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	139.236
2021-12-03T07:24:34.034Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:24:18.942Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:24:03.806Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:23:48.692Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:23:33.621Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:23:18.475Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:20:23.523Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:20:08.418Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:19:53.304Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:19:38.197Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	207.604
2021-12-03T07:19:23.078Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	209.554
2021-12-03T07:19:07.972Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:18:52.846Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:18:37.797Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:18:22.628Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:18:07.509Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:17:52.399Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:17:37.290Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392

2021-12-03T07:17:22.171Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:17:07.082Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	16.191
2021-12-03T07:16:52.056Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:16:36.842Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:16:21.832Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:16:06.621Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:15:51.508Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:15:36.426Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:15:21.284Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:15:06.210Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:14:51.053Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:14:35.941Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	205.655
2021-12-03T07:14:21.017Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-03T07:14:05.716Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	213.454
2021-12-03T07:13:50.608Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-03T07:13:35.492Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:13:20.378Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:13:05.261Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:12:50.223Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	16.191
2021-12-03T07:12:35.048Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:09:47.644Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:09:32.534Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:09:17.420Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	283.771
2021-12-03T07:09:02.326Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	279.872
2021-12-03T07:08:47.194Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	287.671
2021-12-03T07:08:32.112Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	279.872
2021-12-03T07:08:17.123Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	283.771
2021-12-03T07:08:01.863Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	277.879
2021-12-03T07:07:46.741Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	279.872
2021-12-03T07:07:31.631Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	281.821
2021-12-03T07:07:16.569Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:07:01.416Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:06:46.307Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:06:31.327Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	18.183
2021-12-03T07:06:16.076Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:06:00.962Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-03T07:05:45.906Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:05:30.741Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:05:15.638Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	281.821
2021-12-03T07:05:00.526Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	279.872
2021-12-03T07:04:45.399Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	279.872

2021-12-03T07:04:30.294Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	281.821
2021-12-03T07:04:15.174Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	291.612
2021-12-03T07:04:00.089Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	279.872
2021-12-03T07:03:44.992Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	281.821
2021-12-03T07:03:30.308Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	279.872
2021-12-03T07:03:14.720Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T07:02:59.645Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T07:02:44.577Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:02:29.394Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-03T07:02:14.284Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T07:01:59.162Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T07:01:28.107Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:57:45.867Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T06:57:30.759Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:57:15.645Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	346.290
2021-12-03T06:57:00.538Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	344.340
2021-12-03T06:56:45.421Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	340.398
2021-12-03T06:56:30.305Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	344.340
2021-12-03T06:56:15.192Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	344.340
2021-12-03T06:56:00.146Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	344.340
2021-12-03T06:55:44.962Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	342.390
2021-12-03T06:55:29.919Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	344.340
2021-12-03T06:55:14.753Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:54:59.632Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:54:44.532Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:54:29.402Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:54:14.309Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:53:59.205Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:53:44.078Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:53:28.963Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:53:13.934Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	344.340
2021-12-03T06:52:58.748Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	342.390
2021-12-03T06:52:43.689Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	342.390
2021-12-03T06:52:28.559Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	344.340
2021-12-03T06:52:13.405Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	344.340
2021-12-03T06:51:58.340Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	346.290
2021-12-03T06:51:43.195Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	342.390
2021-12-03T06:51:28.062Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	346.290
2021-12-03T06:51:12.966Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:50:57.926Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:50:42.726Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392

2021-12-03T06:50:27.635Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:50:12.506Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:49:57.394Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:43:46.709Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:43:31.402Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	16.191
2021-12-03T06:43:16.294Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	418.557
2021-12-03T06:43:01.175Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-03T06:42:46.124Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	434.197
2021-12-03T06:42:30.980Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	424.406
2021-12-03T06:42:15.876Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-03T06:42:00.982Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	422.457
2021-12-03T06:41:45.604Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	418.557
2021-12-03T06:41:30.491Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	436.147
2021-12-03T06:41:15.383Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-03T06:41:00.274Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T06:40:45.157Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:40:30.050Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:40:14.937Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	12.292
2021-12-03T06:39:59.830Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:39:44.747Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:39:29.607Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:39:14.489Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-03T06:38:59.390Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	418.557
2021-12-03T06:38:44.264Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-03T06:38:29.171Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	418.557
2021-12-03T06:38:14.050Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	432.248
2021-12-03T06:37:58.930Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-03T06:37:43.811Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	428.348
2021-12-03T06:37:28.708Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	424.406
2021-12-03T06:37:13.607Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:36:58.478Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-03T06:36:43.415Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	12.292
2021-12-03T06:36:28.256Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:36:13.144Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:35:58.034Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:25:00.274Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:24:45.164Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:24:30.055Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883
2021-12-03T06:24:14.935Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883
2021-12-03T06:23:59.826Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883
2021-12-03T06:23:44.717Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883

2021-12-03T06:23:29.631Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883
2021-12-03T06:23:14.516Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	488.832
2021-12-03T06:22:59.372Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883
2021-12-03T06:22:44.263Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883
2021-12-03T06:22:29.181Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:22:14.031Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:21:58.933Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:21:43.818Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:21:28.699Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:21:13.592Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:20:58.479Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:20:43.419Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:20:28.255Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	484.933
2021-12-03T06:20:13.215Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	484.933
2021-12-03T06:19:58.034Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	484.933
2021-12-03T06:19:42.989Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883
2021-12-03T06:19:27.804Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	484.933
2021-12-03T06:19:12.728Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883
2021-12-03T06:18:57.580Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	486.883
2021-12-03T06:18:42.481Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	484.933
2021-12-03T06:18:27.356Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:18:12.249Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:17:57.142Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:17:42.030Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-03T06:17:26.907Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-03T06:17:11.795Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443

# Apéndice 6: Resultados experimentales, ubicación 2.

Timestamp	Channel	Sensor Name	Data Type	Unit	Value
2021-12-08T09:09:19.552Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T09:09:04.775Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T09:08:49.334Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	113.848
2021-12-08T09:08:34.225Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	109.948
2021-12-08T09:08:19.101Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	107.998
2021-12-08T09:08:04.047Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	109.948
2021-12-08T09:07:48.882Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	115.797
2021-12-08T09:07:33.766Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	117.747
2021-12-08T09:07:18.695Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	115.797
2021-12-08T09:07:03.534Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	117.747
2021-12-08T09:06:48.422Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T09:06:33.316Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T09:06:18.197Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T09:06:03.090Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T09:05:47.973Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	16.191
2021-12-08T09:05:32.869Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T09:05:17.746Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	12.292
2021-12-08T09:05:02.638Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T09:04:47.576Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	109.948
2021-12-08T09:04:32.472Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	109.948
2021-12-08T09:04:17.467Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	107.998
2021-12-08T09:04:02.390Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	109.948
2021-12-08T09:03:47.068Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	109.948
2021-12-08T09:03:32.054Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	109.948
2021-12-08T09:03:16.843Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	119.697
2021-12-08T09:03:01.916Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	115.797
2021-12-08T09:02:46.671Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T09:02:31.509Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T09:02:16.516Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T09:02:01.283Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T09:01:46.171Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T09:01:31.077Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:55:43.388Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:55:28.312Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:55:13.165Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:54:58.062Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:54:42.949Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	209.554
2021-12-08T08:54:27.991Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:54:12.717Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504

Cuadro A.2: Resultados experimentales en la ubicación 2.

2021-12-08T08:53:57.604Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:53:42.491Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	213.454
2021-12-08T08:53:27.379Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:53:12.257Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:52:57.241Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:52:42.033Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-08T08:52:27.072Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-08T08:52:11.830Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:51:56.706Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:51:41.595Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-08T08:51:26.470Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	12.292
2021-12-08T08:51:11.364Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:50:56.256Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:50:41.251Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	213.454
2021-12-08T08:50:26.138Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:50:10.907Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:49:55.797Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:49:40.676Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:49:25.690Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	211.504
2021-12-08T08:49:10.454Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:48:55.344Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:48:40.258Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:48:25.121Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:48:10.008Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T08:47:54.897Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:43:31.625Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:43:16.520Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:43:01.571Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	311.152
2021-12-08T08:42:46.296Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	315.052
2021-12-08T08:42:31.258Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	313.102
2021-12-08T08:42:16.061Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	313.102
2021-12-08T08:42:00.954Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	320.901
2021-12-08T08:41:45.927Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	313.102
2021-12-08T08:41:30.719Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	318.951
2021-12-08T08:41:15.605Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	311.152
2021-12-08T08:41:00.490Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:40:45.473Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T08:40:30.270Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:40:15.160Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:40:00.046Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-08T08:39:44.935Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:39:29.847Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T08:39:14.786Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	16.191
2021-12-08T08:38:59.590Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	313.102
2021-12-08T08:38:44.640Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	320.901
--------------------------	---	---------------------------	-------------	--------------	---------
2021-12-08T08:38:29.369Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	313.102
2021-12-08T08:38:14.314Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	318.951
2021-12-08T08:37:59.137Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	313.102
2021-12-08T08:37:44.133Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	315.052
2021-12-08T08:37:28.909Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	315.052
2021-12-08T08:37:13.794Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	313.102
2021-12-08T08:36:58.704Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:36:43.575Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:36:28.561Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:36:13.433Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:35:58.263Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	12.292
2021-12-08T08:35:43.122Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:26:06.795Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:25:51.683Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:25:36.561Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-08T08:25:21.460Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	418.557
2021-12-08T08:25:06.323Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-08T08:24:51.214Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	414.658
2021-12-08T08:24:36.106Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	420.507
2021-12-08T08:24:20.995Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-08T08:24:05.871Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	414.658
2021-12-08T08:23:50.758Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	414.658
2021-12-08T08:23:35.662Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T08:23:20.555Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:23:05.418Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	12.292
2021-12-08T08:22:50.315Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:22:35.246Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T08:22:20.108Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	16.191
2021-12-08T08:22:04.986Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:21:49.861Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:21:34.755Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-08T08:21:19.642Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	424.406
2021-12-08T08:21:04.525Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	414.658
2021-12-08T08:20:49.424Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	424.406
2021-12-08T08:20:34.308Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	414.658
2021-12-08T08:20:19.191Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-08T08:20:04.113Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-08T08:19:49.061Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	416.607
2021-12-08T08:19:33.880Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:19:18.799Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:19:03.743Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T08:18:48.510Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:18:33.497Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
		5 5		. , ,	1

2021-12-08T08:18:18.321Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:15:26.398Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T08:15:11.308Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:14:56.223Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	518.163
2021-12-08T08:14:41.089Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	520.113
2021-12-08T08:14:25.934Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	516.213
2021-12-08T08:14:10.826Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	518.163
2021-12-08T08:13:55.713Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	520.113
2021-12-08T08:13:40.674Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	518.163
2021-12-08T08:13:25.483Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	525.962
2021-12-08T08:13:10.422Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	518.163
2021-12-08T08:12:55.260Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	14.242
2021-12-08T08:12:40.244Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:12:25.032Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:12:09.931Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:11:54.949Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:11:39.780Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:11:24.606Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:11:09.543Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	16.191
2021-12-08T08:10:54.370Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	522.063
2021-12-08T08:10:39.257Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	520.113
2021-12-08T08:10:24.336Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	518.163
2021-12-08T08:10:09.038Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	522.063
2021-12-08T08:09:54.144Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	525.962
2021-12-08T08:09:38.805Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	522.063
2021-12-08T08:09:23.681Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	518.163
2021-12-08T08:09:08.575Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	518.163
2021-12-08T08:08:53.454Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:08:38.345Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T08:08:23.294Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:08:08.120Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:07:53.010Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T08:07:37.901Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	10.342
2021-12-08T07:58:28.689Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:58:13.576Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:57:58.481Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:57:43.358Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	623.618
2021-12-08T07:57:28.238Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:57:13.135Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:56:58.024Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	623.618
2021-12-08T07:56:42.947Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:56:28.037Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:56:12.795Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:55:57.558Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443

2021-12-08T07:55:42.509Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:55:27.343Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:55:12.224Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T07:54:57.164Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:54:42.007Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:54:27.222Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:54:11.781Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:53:56.710Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:53:41.545Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:53:26.442Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:53:11.322Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:52:56.211Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:52:41.114Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:52:25.975Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:52:10.866Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	625.568
2021-12-08T07:51:55.808Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:51:40.638Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:51:25.529Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:51:10.430Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:50:55.307Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:45:34.506Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:34:26.660Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:34:11.388Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:33:56.211Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:33:41.121Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:33:25.988Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:33:10.884Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:32:55.784Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:32:40.643Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	727.124
2021-12-08T07:32:25.538Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:32:10.412Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:31:55.302Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:31:40.290Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:31:25.128Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T07:31:09.966Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:30:54.850Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:30:39.759Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T07:30:24.635Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:30:09.523Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:29:54.412Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:29:39.296Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:29:24.234Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:29:09.105Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	727.124
2021-12-08T07:28:53.952Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
			1		i

2021-12-08T07:28:38.851Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:28:23.778Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	727.124
2021-12-08T07:28:08.655Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	729.073
2021-12-08T07:27:53.496Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:27:38.388Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:27:23.281Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T07:27:08.163Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	6.443
2021-12-08T07:26:53.061Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392
2021-12-08T07:26:37.938Z	1	BF350 strain gauge module	Deformación	micro(mm/mm)	8.392