

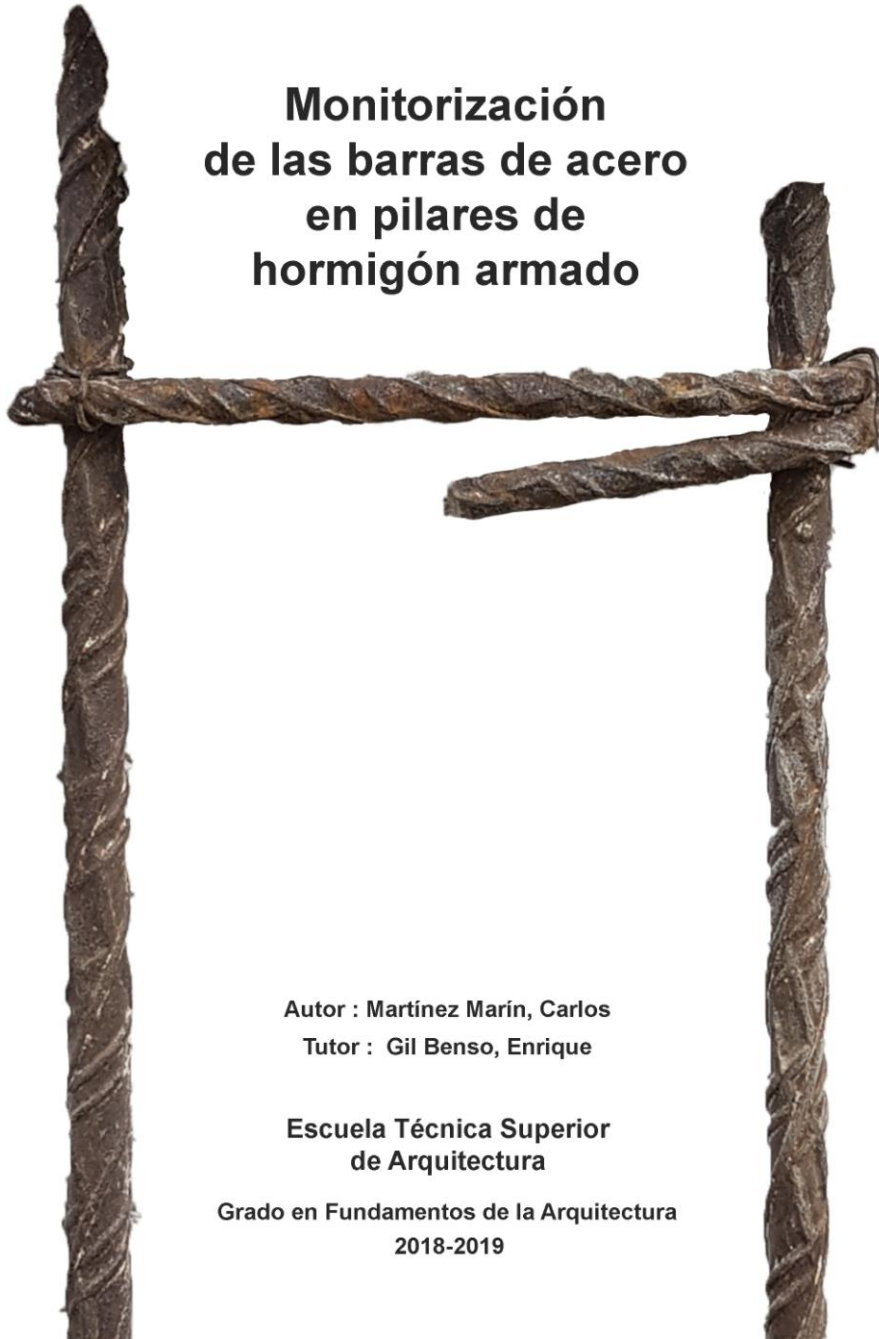


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA

# **Monitorización de las barras de acero en pilares de hormigón armado**



**Autor : Martínez Marín, Carlos**

**Tutor : Gil Benso, Enrique**

**Escuela Técnica Superior  
de Arquitectura**

**Grado en Fundamentos de la Arquitectura  
2018-2019**



# ÍNDICE

I.	RESUMEN.....	3
II.	INTRODUCCIÓN .....	6
III.	MOTIVACIÓN .....	7
IV.	OBJETIVOS.....	11
V.	METODOLOGÍA .....	12
A.	EQUIPO .....	12
1.	FUNCIONAMIENTO GALGAS EXTENSOMÉTRICAS .....	12
2.	TIPOS DE GALGAS .....	15
3.	TIPOS DE PEGAMENTO .....	19
4.	ELEMENTOS .....	22
5.	HERRAMIENTAS.....	26
6.	PUENTE DE WHEATSTONE .....	28
7.	MECANISMOS DE LECTURA.....	32
B.	PROBETAS .....	34
C.	ENSAYOS .....	37
D.	PREPARACIÓN DEL ENSAYO.....	42
E.	PUESTA EN OBRA .....	47
VI.	CONCLUSIONES .....	50
VII.	APLICACIÓN .....	51
VIII.	FIGURAS .....	52
IX.	TABLAS.....	54
X.	BIBLIOGRAFÍA .....	55
XI.	LISTA DE SÍMBOLOS .....	57

## I. RESUMEN

El presente trabajo se ha realizado dentro de un equipo de trabajo dirigido por Enrique Gil Benso para el diseño de un sistema de adquisición de datos para monitorizar edificios. Se ha trabajado con la idea de implementar sensores eléctricos llamados galgas extensométricas en la estructura de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

La validación del sistema se ha llevado a cabo mediante varios ensayos realizados en barras de acero para la comprobación de la obtención de datos con instrumentos de medición.

De manera paralela se realizó la instalación de los sensores en dos pilares de la ETSAV, aprovechando que en el momento en el que se realizaron los ensayos se estaban llevando a cabo las obras de restauración estructural de las fachadas de los edificios que la componen.

Los datos resultantes han permitido la validación de los equipos de monitorización de galgas extensométricas y de su aplicación en la monitorización de las estructuras de edificación de manera fiable.

**Palabras clave:** Monitorización de estructuras, galga extensométrica, deformaciones, puente de Wheatstone.

## RESUM

El present treball s'ha realitzat dins d'un equip de treball dirigit per Enrique Gil Benso per al disseny d'un sistema d'adquisició de dades per a monitorar edificis. S'ha treballat amb la idea d'implementar sensors elèctrics anomenats galgues extensomètriques a l'estructura de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura.

La validació del sistema s'ha dut a terme a base de diversos assajos realitzats en barres d'acer per a la comprovació de l'obtenció de dades amb instruments de mesura.

De manera paral·lela també es va realitzar la instal·lació dels sensors en dos pilars de la ETSAV, aprofitant que en el moment en el qual es varen realitzar els assajos es realitzaven les obres de restauració estructural de les façanes dels edificis que la componen.

Les dades resultants han permès la validació dels equips de monitoratge de galgues extensomètriques i de la seua aplicació en el monitoratge de les estructures d'edificació de manera fiable.

**Paraules clau:** Monitorització d'estructures, galga extensomètrica, deformacions, pont de Wheatstone.

## **ABSTRACT**

This work has been done within a work team led by Enrique Gil Benso for the design of a data acquisition system to monitor buildings. It has worked with the idea of implementing electrical sensors called strain gauges in the structure of the *Escuela Técnica Superior de Arquitectura*.

The validation of the system has been carried out based on several tests executed on steel bars for the verification of data collection with measuring instruments

In parallel, the installation of the sensors on two pillars of the ETSAV was also realised, taking advantage of the fact that at the time the tests were carried out the structural restoration jobs of the façades of the buildings that compose it were carried out.

The resulting data has allowed the validation of strain gauge monitoring equipment and its application in the monitoring of building structures reliably.

**Keywords:** Structure monitoring, strain gauge, deformations, Wheatstone bridge.

## II. INTRODUCCIÓN

La tecnología sigue un ritmo diferente al resto de las cosas, en pocos años la sociedad es capaz de acceder a herramientas que en el momento de su creación estaban limitadas por conocimientos y costes a un sector reducido de la sociedad.

En esta era tecnológica, en la que han surgido movimientos como el Internet de las Cosas, *Internet of Things (IoT)*, y en la que se aplican nuevas metodologías de trabajo colaborativo para gestionar proyectos de construcción, *Building information Modeling (BIM)*, el uso de nuevas herramientas ha abierto un abanico inmenso de oportunidades.

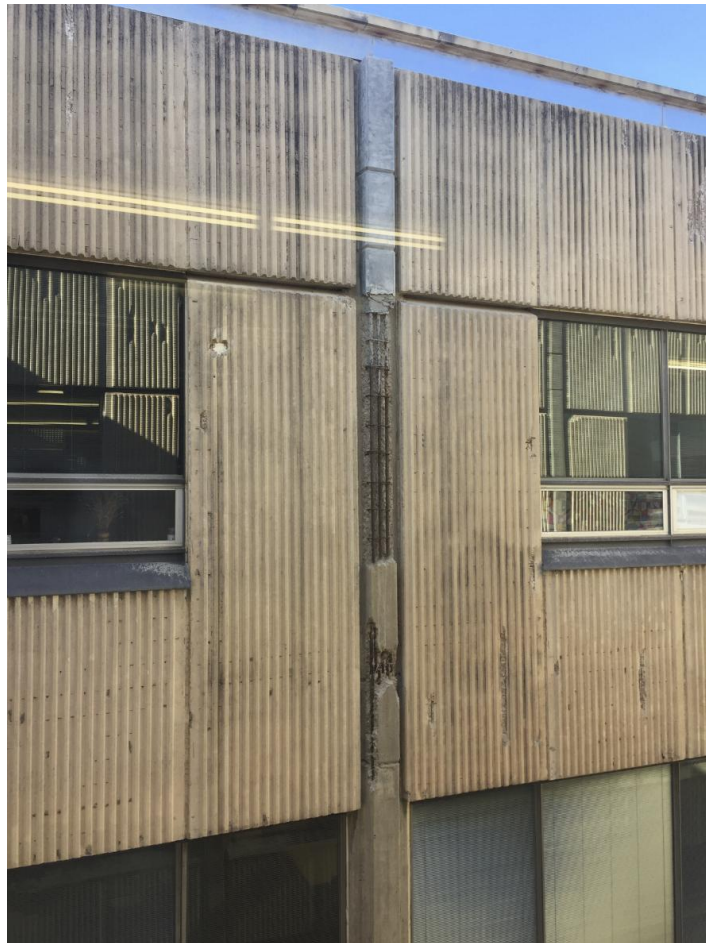
Una de las oportunidades que nos brinda nuestro tiempo es la posibilidad de la monitorización accesible y fiable de los edificios, posibilitando a la conservación del enorme patrimonio que nos legaron los arquitectos del siglo XX con sus construcciones en hormigón armado.

En los siguientes apartados se proponen y explican elementos para llevar a cabo el objetivo de conocer las deformaciones de los edificios. Así como ensayos para proporcionar detalles de como proceder a la colocación de los elementos en las estructuras.

Los ensayos no solo se centran en la colocación de los elementos sino también en su puesta en carga y mediciones con diferentes mecanismos. De esta forma se es conocedor de la posibilidad del estudio de como se comportan los diferentes aparatos actuales dependiendo de su procedencia.

### III. MOTIVACIÓN

La motivación para realizar este trabajo empieza con los problemas que sufrió la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia (ETSAV) en la conservación del edificio en el año 2017. Se puede observar en las diferentes partes de la fachada se produjo el agotamiento longitudinal del recubrimiento de hormigón con desprendimiento, *splitting*, el cual se produce cuando la adherencia del acero y el hormigón se deteriora. Esta patología se origina cuando el acero por contacto con el exterior o algún agente químico reacciona y se produce la corrosión de las barras, produciendo un aumento de volumen, que hace que el recubrimiento de hormigón se desprenda de la estructura.



**Ilustración III-1 Fotografía de daños de la fachada de la ETSAV**



La universidad acometió las obras de reparación que consistían en la retirada de los recubrimientos deteriorados, la limpieza de las armaduras y el recubrimiento con un mortero mono capa especializado para la reparación de este tipo de daños, de base geolificante que pasiviza las armaduras impidiendo la continuidad de la oxidación. El dejar las armaduras descubierto permitió que se pudiera plantear la monitorización de las barras de acero midiendo la variación de la deformación en diferentes puntos mediante la colocación de galgas extensométricas. Porque parte de los trabajos e impedimentos ya estaban hechos o se iban a realizar para el mantenimiento de las mismas.



**Ilustración III-2 Daños en los pilares de la ETSAV**

El ámbito de la intervención de la reparación de la ETSAV comprendía todos los edificios que forman dicha escuela. Sin embargo, se planteó solo realizar las pruebas en un número limitado de pilares.

El trabajo realizado en los pilares de la ETSAV se centra en los números 40 y 41. Estos pilares son los seleccionados por diferentes motivos. El principal es que existe una diferencia importante, el pilar 40 es de medianera y el pilar 41 es un pilar de esquina, aunque viendo la planta no da esa impresión. El segundo motivo es por la manera de acceder a ellos. Dichos pilares se encuentran muy cercanos a los Laboratorios de estructuras lo que los hace más accesibles para vigilados o para acceder al cableado los hacen más accesibles. Por último, está el factor tiempo. Se intentó coordinar de manera que mientras se adelantaran las tareas de rehabilitación de la fachada, se pudieran ir recopilando datos en el laboratorio. Lo que supuso que en el momento en que se ejecutaban dichos pilares ya se tuviese práctica en la colocación de galgas extensométricas.



**Ilustración III-3 Plano PB ETSAV Esc. 1:250**

Contribuyendo también a la idea de realizar un trabajo más práctico dentro de la parte teórica de la arquitectura, en la que se pueda ver lo aprendido en el transcurso de los años, relacionándolo con el Internet de las Cosas, Internet of Things (IoT). De esta forma, se da la posibilidad de unir de la arquitectura con una parte tecnológica.



**Ilustración III-4 Fotografía fachada de la ETSAV**

## IV. OBJETIVOS

Realizar un sistema de monitorización de la seguridad estructural de un edificio, en el que se tomen al menos los datos de los siguientes sensores: aceleración, deformación, deformación interna, *strain*, mediante galgas y su parametrización con la temperatura; debido a que la temperatura es la variable que más va a influir en todos los datos en circunstancias normales.

Dichos datos se subirán a servidores mediante Internet, nube, permitiendo su consulta en tiempo real y su posterior proceso.

Este objetivo se está realizando dentro de un equipo de investigación liderado por Dr. Enrique Gil Benso.

El objetivo específico a realizar por mí, dentro de este equipo, es la validación de los sensores de extensión, que miden la deformación unitaria interna de las barras de acero corrugado, que son el refuerzo de esta estructura de hormigón armado.

El segundo objetivo es el ensayo de métodos de colocación de las galgas dentro del laboratorio para validar tanto el equipo diseñado por el equipo como los procesos de colocación y metodología de la toma de datos, donde se recopilarán datos para su posterior uso en la monitorización de estructuras.

## V. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la validación de los datos conseguido a través de las galgas extensométricas se ha llevado a cabo en primer lugar el ensayo de métodos de colocación de la galga en una barra de acero. Primero para poder tener galgas en barras donde validar en un laboratorio los resultados que se obtenían y en segundo para tener un punto de partida para proceder a la colocación de galgas extensométricas en pilares de la ETSAV. En esta parte de los ensayos se han probado diferentes métodos de cómo proceder en la colocación de una galga en una barra de acero.

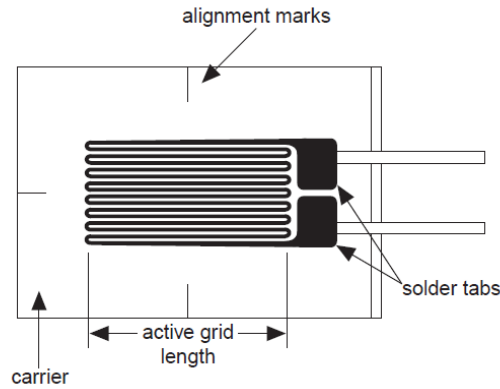
Para la validación de los datos se han realizado ensayos de tracción de barras en el Laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Edificación. En los ensayos la primera probeta por problemas en la colocación en la máquina no se obtuvo datos de las galgas sino solo de los procedimientos de la colocación de estas. Las siguientes probetas se pudieron ensayar con total normalidad en el laboratorio.

### A. EQUIPO

#### 1. FUNCIONAMIENTO GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

Se considera que la medición de micro deformaciones por variación de la resistencia empezó en el año 1938 por los Edward E. Simmons y Arthur Claude Ruge, pero no es hasta el año 1952 cuando se comenzó a construir la galga extensométrica como la encontramos hoy en día. Este esquema nos sirve como punto de partida para entender su funcionamiento, y conocer en primer lugar las diferentes partes de las que están compuestas.

Toda galga está impresa sobre un material de soporte, *carrier*, que sirve como base donde posteriormente colocar los demás elementos y como unión con las superficies de contacto donde se sitúan las galgas. El segundo componente es el filamento con el que se mide la deformación que se produce en el sensor.

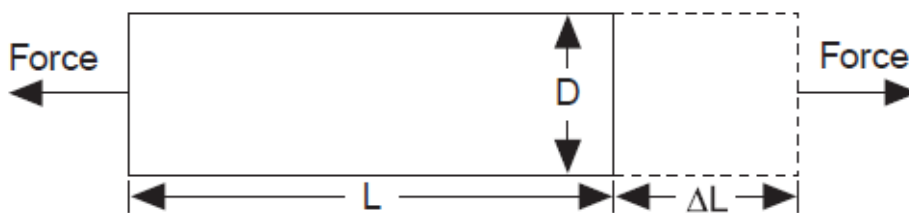


**Ilustración V-1 Diseño característico de una banda extensométrica con una lámina de metal impreso como rejilla de medición (National Instruments)**

El tercer componente es una zona delimitada dentro del soporte llamada longitud efectiva de la rejilla, *active grid length*, es la parte donde estará colocado el filamento en forma de zigzag. El último componente de una galga extensométrica son las conexiones, *solder tabs*, que serán las que conecten esta con un lector de deformaciones de manera externa.

Todos estos elementos son usados para la medición de la variación de la deformación unitaria en el punto de contacto con la galga, y dado que conocemos su diagrama de tensión deformación podemos calcular las variaciones de las tensiones ( $\epsilon$ ) en ese punto. La variación de la deformación es obtenida en los lectores por la variación de la resistencia que se produce en el filamento de la galga extensométrica.

Siendo la tensión en un elemento:



**Ilustración V-2 Definición de tensión (National Instruments)**

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

**Ecuación 1 Deformación**

Aunque la deformación es lineal, en las galgas extensométricas hay que aplicarles un parámetro fundamental de calibración, el factor de Galga (GF)

sirve para corregir la sensibilidad del sensor a los cambios de longitud. El factor de galga se define como la relación de cambio fraccional en la resistencia eléctrica para el cambio fraccional en el soporte de la galga. (National Instruments, 1998).

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$$

#### **Ecuación 2 Factor de Galga**

Normalmente el GF está establecido sobre 2 para tensiones metálicas.

## 2. TIPOS DE GALGAS

La elección de la galga para cada trabajo es una decisión de gran importancia. La selección de la galga adecuada facilita la toma de datos. Sin embargo, se encuentra que dependiendo de las características del medio y del material todas las opciones no son adecuadas.

La historia nos indica que son herramientas descubiertas hace poco relativamente poco tiempo. Empezaron a usarse en la segunda mitad de los años treinta. Se puso la vista en *"la variación de la resistencia de un conductor eléctrico provoca por la acción de una tensión mecánica"* (Hoffmann, Karl, 2001).

Los diferentes tipos de galgas parten de los ensayos de Arthur Claude Ruge. Él fue el primero que *"tomó un fino hilo metálico, lo pepó en forma de meandro sobre un trozo de papel seda fino y terminó las puntas con conexiones más gruesas"* (Hoffmann, Karl, 2001). Siendo Ruge el que acabó inventando la Banda extensométrica de resistencia eléctrica.

Como se ha mencionado anteriormente hay un gran abanico de opciones:

- Bandas extensométricas semiconductoras
- Bandas extensométricas de deposición de vapor
- Bandas extensométricas capacitivas
- Bandas extensométricas piezoeléctricas
- Bandas extensométricas fotoelásticas
- Bandas extensométricas mecánicas

En nuestro caso se usan del tipo de Bandas metálicas que funcionan por la relación de la deformación/resistencia. Para estas bandas se cumple que *"todo conductor eléctrico varía su resistencia debido a la aplicación de tensiones mecánicas"*, (Hoffmann, Karl, 2001)

Aparte del tipo de bandas se encuentra la disparidad de formas y de tamaños de las mismas. *"Se distingue entre bandas lineales de disposición simple y doble (paralela), rosetas X con los ejes de medición cruzados a 90°, rosetas R con tres ejes de medición colocados en ciertos ángulos el uno del otro, cadenas de bandas extensométricas y muchos otros diseños especiales."* (Hoffmann, Karl, 2001)

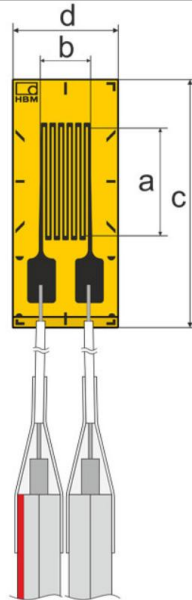
Tanto en el laboratorio como en la puesta en obra en las barras de los pilares de la ETSAV se han utilizado diferentes tipos de galgas. Las diferencias de estas no están en su composición si no en su forma.



# LISTADO DE GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

## Hottienger Baldwin Messtechnik

### K-CLY4x



Dimensions(mm)	-
Nominal Resistance	120 Ω
Tolerance of resistance	-
GF	-
GF Resistance	-
Fatigue life	-

### LY41-20



Dimensions(mm)	31,8X8,2
Nominal Resistance	120 Ω
Tolerance of resistance	±0,3 %
GF	2
GF Resistance	±1%
Fatigue life	>1 x10 <sup>7</sup>

Tabla 1 Galgas HBM

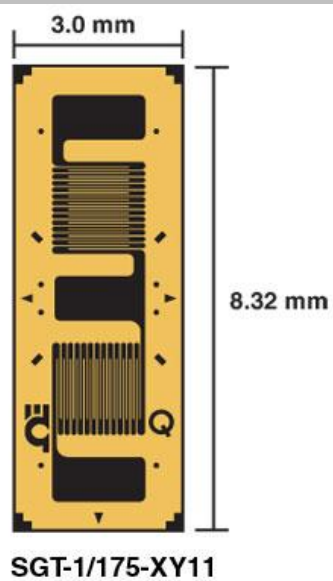
## OMEGA

### KFH-3-350



Dimensions(mm)	7,4x3.9
Nominal Resistance	350 Ω
Tolerance of resistance	±0,35%
GF	2
GF Resistance	±1%
Fatigue life	>1 x10 <sup>7</sup>

### SGT-3BH/350

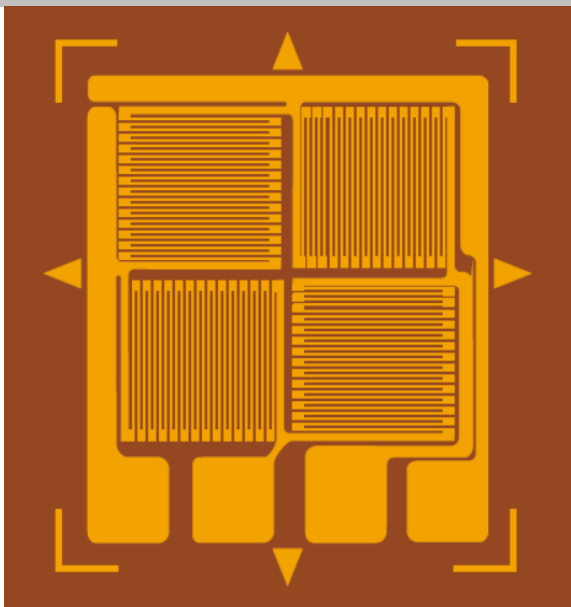


Dimensions(mm)	13X4,5
Nominal Resistance	350 Ω
Tolerance of resistance	±0,30%
GF	2,14
GF Resistance	-
Fatigue life	-

**Tabla 2 Galgas OMEGA**

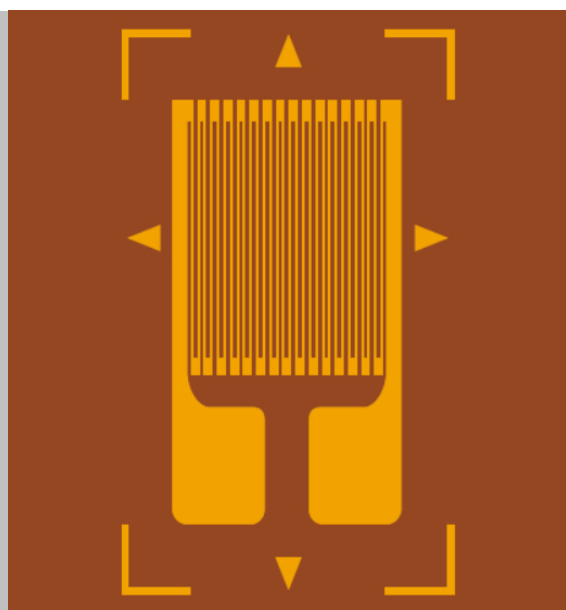
## HT SENSOR

### EB full bridge strain gages



Dimensions(mm)	-
Nominal Resistance	350 Ω
Tolerance resistance	of ±0,1%
GF	2
GF Resistance	±1
Fatigue life	>10 <sup>7</sup>

### AA linear strain gages



Dimensions(mm)	-
Nominal Resistance	350
Tolerance resistance	of ±0,1%
GF	2
GF Resistance	±1%
Fatigue life	>10 <sup>7</sup>

**Tabla 3 Galgas HT Sensor**

### 3. TIPOS DE PEGAMENTO

Los pegamentos son en la instalación de una galga extensométrica una de las partes más importantes a considerar. Una fallida colocación producirá que la galga no reciba deformaciones o que las que reciba sean erróneas.

Durante el proceso de experimentación en el laboratorio se usaron diferentes tipos de pegamentos. Las diferencias eran tanto de consistencia, preparación y precio. Este abanico de productos proporcionó una importante parte de la información de como proceder a la colocación en ambientes tanto controlados, como puede ser un laboratorio o todo lo contrario como es una obra, teniendo en cuenta que el paso final era colocar las galgas extensométricas en los pilares de la ETSAV.

Para la adherencia de las galgas en las barras, luego de ser tratadas para quitar posibles esmaltes, se usaron dos tipos de pegamentos diferentes. El primero fue un pegamento de cianocrilato de comercializan en cualquier tienda [Ilustración V.3]. El segundo se trata de un adhesivo rápido llamado Z70 de la empresa HBM [Ilustración V.4].



**Ilustración V-3 Imagen de adhesivo de cianocrilato**



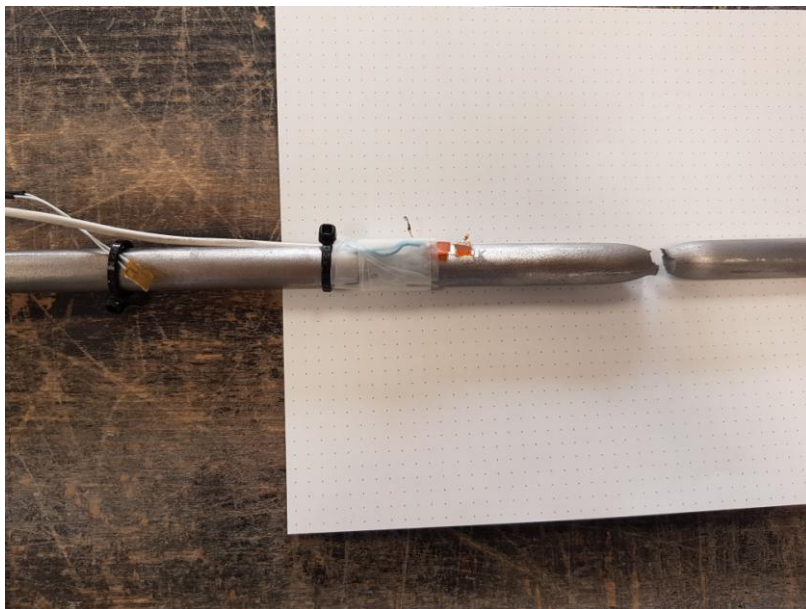
**Ilustración V-4 Adhesivo para galgas extensométricas Z70 (HBM)**

Los dos pegamentos son a base de cianocrilato el primero al ser de uso doméstico se comprobó que sus especificaciones no eran de gran calidad, aunque a simple vista cumplía su función. La segunda opción se trata de un adhesivo pensado para el montaje de sensores comercializado por Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM). El Z70 sí nos indica temperaturas, humedad y materiales de contacto para una correcta adherencia, en sus especificaciones.

Así se comprueba que HBM recomienda su uso entre un 40% y un 70% de humedad relativa teniendo en cuenta que su gran velocidad de actuación es solo con el ambiente. La temperatura se recomienda que sea de

aproximadamente 20 °C ambiente y que la superficie de colocación no sea ácida. En cuanto a la cantidad que hay que aplicar de dicho pegamento se indica que no debe ser una gran cantidad puesto que trabaja con una fina película sobre las superficies. (HBM.com)

En una parte inicial del proceso las dos opciones parecían ser adecuadas para el montaje de la galga extensométrica en las diferentes barras. Sin embargo, a la hora de la puesta en carga en el laboratorio de las diferentes probetas se observó que el adhesivo comercial no conseguía tener una adherencia correcta y la aplicación de una carga daba como resultado que la galga y la probeta se separaran. Esto llevó a que en varias probetas se perdieran datos a partir de cierto punto de carga. Por otro lado, utilizando el Z70 se comprobó que estos problemas no sucedían consiguiendo una consistencia de gran calidad dependiendo de la colocación a simple vista en el laboratorio se observó la diferencia entre cada pegamento. (HBM.com)



#### **Ilustración V-5 Galgas extensométricas saltadas luego del ensayo de carga**

Siendo la elección lógica el Z70 para las diferentes pruebas y puesta en obra. No obstante, con el paso del tiempo se comprobó que el adhesivo tiene una fecha de caducidad muy exacta, la cual una vez sobrepasada, iguala su adherencia al adhesivo de uso doméstico, llegando a ser incluso inferior.

De manera excepcional se usó otro adhesivo. Este fue el X60 de la compañía HBM. El X60 es un pegamento "a base de metilmetacrilato, es ideal para instalar galgas extensométricas destinadas a aplicaciones experimentales típicas. Se puede emplear tanto sobre materiales porosos (hormigón, fundición, madera y cerámica, entre otros) como sobre superficies más lisas." (hbm.com)

Pero en vez de usarse para adherir galgas a las barras de acero se usó para protegerlas ya que su resistencia y fácil colocación era una opción para que no se rompieran las conexiones de las galgas con el cableado. También fue una opción pensando en la siguiente fase de la puesta en obra donde la galga extensométrica sería recubierta por un cemento o GeoLite de reparación.

No se optó por el uso de este pegamento como adhesivo principal por la razón de que al ser la base una barra de acero, no tenía un poro que ayudara al agarre de las diferentes partes.



**Ilustración V-6 Adhesivo para galgas extensométricas X60 (HBM)**

## 4. ELEMENTOS

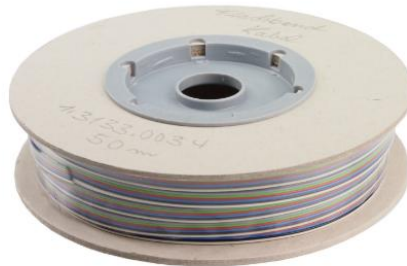
En la monitorización de las barras no solo son importantes las galgas como sensores y los aparatos receptores de la señal. Todo forma parte de un sistema con diferentes partes y elementos. En su conjunto hacen que su montaje y funcionamiento sea el esperado y nos lleve a la obtención de datos de la estructura.

### Cable

Uno de los elementos más importantes son los cables que conectan las galgas extensométricas con los terminales. Se busca el uso de unos cables uniformes tanto en su diámetro(s), longitud (L) y el material del cual está formado, coeficiente de resistividad ( $\rho$ ). Porque todos estos pequeños factores hacen que varíe la resistencia (R), esto puede ocasionar un pequeño error en las lecturas al quedar el puente de Wheatstone (apartado V.A.6) condicionado.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

**Ecuación 3 Resistencia de un cable**



**Ilustración V-7 Cable plano (HBM)**

En un primer momento se utilizó un cableado normal sin tener muy en cuenta los factores anteriores mencionados. Posteriormente se acabó usando en casi todas las pruebas de laboratorio y en toda la puesta en obra un cable homogéneo en características para no tener que tener en cuenta un posible error por este elemento.

El cableado usado es un "cable plano de PVC es resistente a los efectos de la práctica totalidad de los agentes químicos, excepto el flúor elemental, el

*trifluoruro de cloro y los metales alcalinos fundidos.” (hbm.com)* caracterizada por tener un diámetro de 0,14 mm<sup>2</sup> y una resistencia de 0,131 Ω/m.

## **Recubrimiento Protector**

Para las diferentes pruebas se probaron diferentes maneras de proteger las galgas pensando en su posterior puesta en obra. Como se ha nombrado en el apartado V.a.3 se acabó utilizando el pegamento X60. Pero con anterioridad se analizaron otros productos.

El fabricante HBM recomienda un producto llamado AK22. Este producto se trata de una pasta que se deposita sobre la galga extensométrica y tiende a su protección



**Ilustración V-8 Masilla Plástica AK22 (HBM)**

Pero nos encontramos con varios problemas con el AK22 a la hora de su colocación en una obra con tan poco espacio de trabajo. A la hora de su colocación al tener que manejarlo con las manos puede ocurrir que rompamos las uniones de galga con el cable, haciendo inservible esta. En caso de que la galga extensométrica lleve los cables ya incorporados sí que sería una opción a tener en cuenta, dependiendo de la situación. Aunque, si la galga tiene que ser manipulada para la incorporación de todos los diferentes componentes la dificultad añadida al riesgo hacen que este producto entre en entredicho para nuestro fin.

## **Activador de soldadura**

En el caso de este ensayo se utilizó el activador Flux. Este componente es una resina que se utiliza como fundente para mejorar o ayudar en la soldadura con estaño y otro metal.



El principal uso de este producto es ayudar "eliminando el óxido de las superficies a soldar." (Blog de the lions technology S.A.S)



**Ilustración V-9 Flux (blog de the lions technology S.A.S)**

## Estaño

El estaño será el metal que usemos para unir las galgas extensométricas con los cables mediante una unión por soldadura.

El estaño que encontramos comercializado hay que tener en cuenta su proporción con otros componentes. La relación de componentes en el estaño "influyen directamente en la facilidad de hacer una buena soldadura. Hay varios tipos de estaño para soldar electrónica, pero una proporción de 60% de estaño y 40% de plomo con núcleo de resina o flux". (Tutorialdrones)

## Alcohol



**Ilustración V-10 Botella de alcohol isopropílico**

Se ha usado de alcohol isopropílico para la limpieza de las superficies y de la galga extensométrica a la hora de su manipulación. Una de las ventajas

que presenta su uso es la rápida evaporación , haciendo que no deje restos en la galga ni en las superficies de montaje. ( [geindepo.com](http://geindepo.com))

## **Lijas**

El papel de lija es una herramienta que está hecha con un papel al que se le incorpora otro material que haga de abrasivo. Los tipos de lijas dependen del tipo de grano que tengan adherido por lo tanto podemos encontrar lija de 60, 150 o 400, entre otras. Cuando la superficie está húmeda, es para rematar un acabado o en caso de metales se puede usar lija al agua en las que el grano es de un tamaño muy reducido.

Las lijas no solo se encuentran en soporte de papel también las podemos encontrar en esponjas o usarlas montadas en una lijadora eléctrica.

## 5. HERRAMIENTAS

Las herramientas que vamos a nombrar en este apartado son los utensilios para unir la galga, el pegamento y los otros elementos. Si anteriormente se nombró la importancia de los elementos secundarios, sin una herramienta correcta para su uso o manipulación los datos y aplicaciones se verían afectados.

### **Soldador**

Es una herramienta que funciona mediante electricidad y cuyo funcionamiento es que su resistencia interna genere calor para poder derretir metales (estaño) para poder generar uniones.



**Ilustración V-11 Cautín (blog de the lions technology S.A.S)**

Podemos encontrar diferentes tipos, o mejor dicho variaciones en un soldador. Por un lado, están las puntas de estos que pueden tener diferentes formas, estas pueden ser planas o en punta. Por otro lado, está la potencia, encontramos algunos con una potencia fija y otros que puede ser variada según el trabajo o el ambiente.

Las diferentes variaciones de máquinas nos sirven para poder manejar correctamente las uniones de la galga extensométrica y el cable. Teniendo en mente que se puede dar el caso que en medio de la puesta en obra se tenga que usar para retocar o incluso unir una vez fijada la galga a la barra de acero.

### **Amoladora**

Es una herramienta que usa un pequeño motor para poder realizar diferentes acciones. Los posibles usos de una amoladora son lijar, pulir y

cortar, para dependiendo del material encontramos diferentes discos que varían sus propiedades para ser más eficientes.



**Ilustración V-12 Amoladora**

En la barra de acero será una herramienta importante ya que tanto o su tamaño como por su versatilidad nos ayudará a poder modificar o tratar las barras en un primer momento. Se hará siempre uso de los Elementos de Protección Individual necesarios para la protección durante las tareas a realizar.

### **Pinzas de Precisión**

Son unas pinzas que se caracterizan por tener unas puntas más finas de lo normal. Al trabajar con galgas y cables esta herramienta se convierte en fundamental ya que una persona no puede manipular con las manos desnudas los objetos, tanto por su tamaño como por la limpieza que estos requieren.

El uso de las pinzas está pensado para poder manipular y mover los diferentes elementos y así poder manipular y unir todos los componentes.



**Ilustración V-13 kit de pinzas de precisión**

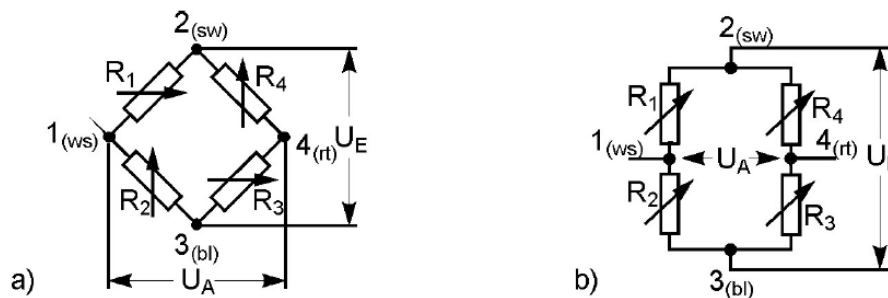
## 6. PUENTE DE WHEATSTONE

La configuración de resistencias, conocida como puente de Wheatstone descrito en el año 1843 por Sir Charles Wheatstone (1802-1875) permite medir con precisión las resistencias al encontrar un punto de equilibrio de voltajes que desde siempre se ha podido medir con mucha precisión. Las resistencias que no son conocidas se comparan con unas que han sido definidas de manera conveniente. El puente también es usado para la medición de pequeños cambios en resistencias, lo que nos lleva a su aplicación para poder calcular/medir deformaciones.

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

“El factor  $k$ , también conocido como el factor de banda, es una característica de la banda extensométrica y ha sido comprobado experimentalmente.” (Hoffmann, Karl) este valor de las galgas sirve para corregir según el material.

El circuito del puente se empieza utilizar con la aplicación de la técnica de las galgas extensométrica el cual tiene dos representaciones.



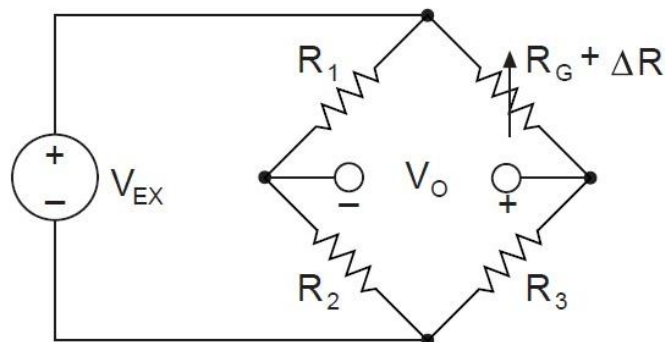
**Ilustración V-14 Puente de Wheatstone (Hoffmann, Karl)**

Cada rama del puente de Wheatstone está compuesta por una resistencia que van de  $R_1$  a  $R_4$  y en las esquinas de unión encontramos los nodos. Los nodos 2 y 3 están en la llamada excitación diagonal que se conectan con una tensión  $U_E$  y en la dirección de 1 y 4 está la medición diagonal con una tensión  $U_A$ . Todo valor de la resistencia depende de la relación entre  $R_1:R_2$  Y  $R_3:R_4$  (Hoffmann, Karl)

En función del caso en el que se trabaje, se usan un número distinto de galgas extensométricas. Designamos diferentes puentes según el número usado como son cuarto de puente, medio puente o puente completo dependiendo de las resistencias activas, galgas, que se usen, "Quarter Bridge", "Half bridge" y "Full Bridge". Sin embargo, todos son puentes completos ya que están completados con las resistencias de los instrumentos. (Hoffmann, Karl)

La temperatura es un factor importante en la galga extensométrica por que produce una variación de la resistencia de la galga. Este efecto puede ser despreciado siempre y cuando se usen 2 galgas para poder compensar las deformaciones o incluso usando galgas térmicas.

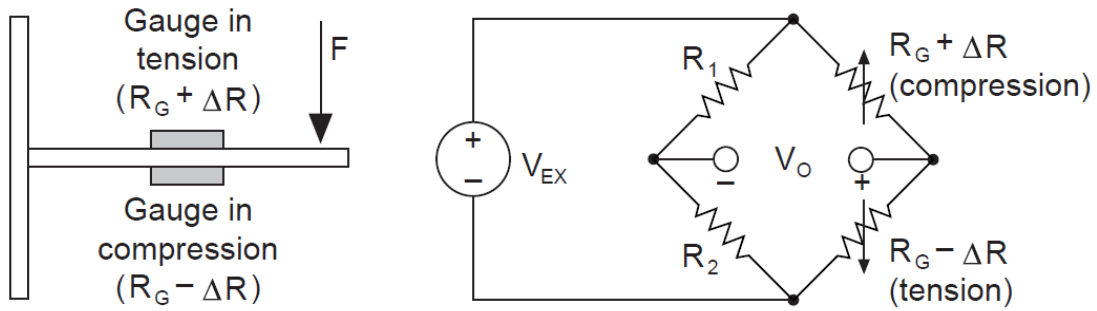
### QUARTER BRIDGE



$$\frac{V_O}{V_{EX}} = -\frac{GF \cdot \epsilon}{4} \left( \frac{1}{1 + GF \cdot \frac{\epsilon}{2}} \right)$$

**Ilustración V-15 Puente de Wheatstone Quarter Bridge y formula (National Instrument )**

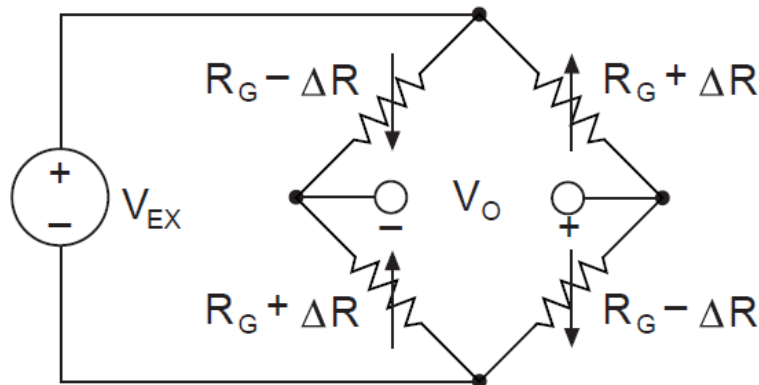
## HALF BRIDGE



$$\frac{V_O}{V_{EX}} = -\frac{GF \cdot \epsilon}{2}$$

**Ilustración V-16 Puente de Wheatstone Quarter Bridge y formula ( National Instrument )**

## FULL BRIDGE



$$\frac{V_O}{V_{EX}} = -GF \cdot \epsilon$$

**Ilustración V-17 Puente de Wheatstone Quarter Bridge y formula ( National Instrument )**

Las ecuaciones anteriores se pueden simplificar y así tener en cuenta los puentes que no están equilibrados se introduce una relación  $V_r$ .

$$V_r = \frac{V_{O(STRAINED)} - V_{O(UNSTRAINED)}}{V_{EX}}$$

Donde  $V_{O(STRAINED)}$  la lectura en la salida cuando el puente esta en carga, y  $V_{O(UNSTRAINED)}$  es el voltaje de salida inicial, sin que las resistencias estén siendo usadas. Por último, para referirse al voltaje de excitación lo representamos con  $V_{EX}$ . (National Instrument)

*“Además, la designación (+ε) y (-ε) indica galgas extensométricas activas montadas en tensión y compresión, respectivamente. La designación (-νε) indica que la galga extensométrica está montada en la dirección transversal, por lo que su cambio de resistencia se debe principalmente a la deformación de Poisson, cuya magnitud se da como -νε”<sup>1</sup> (National Instruments)*

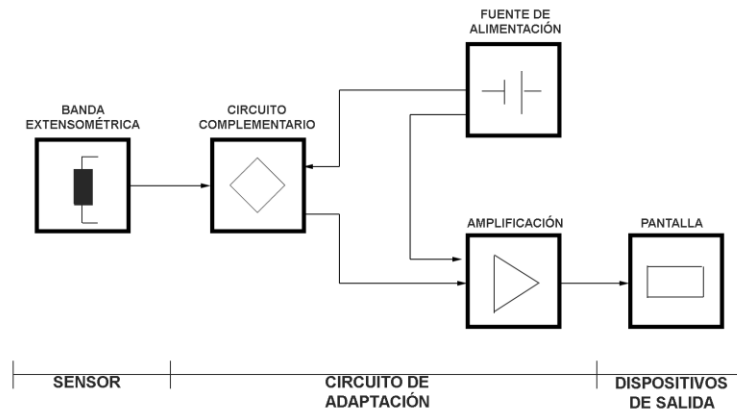
---

<sup>1</sup> Also, the designation (+ε) and (-ε) indicates active strain gauges mounted in tension and compression, respectively. The designation (-νε) indicates that the strain gauge is mounted in the transversal direction, so that its resistance change is primarily due to the Poisson's Strain, whose magnitude is given as -νε.



## 7. MECANISMOS DE LECTURA

La galga extensométrica como ya se ha explicado es una resistencia que mide deformaciones. Las deformaciones que registra suelen ser de un tamaño muy pequeño lo que lleva que la salida de voltaje del puente de Wheatstone también es muy baja. Para poder interpretar las mediciones se usa una cadena de medida. La cadena de medida amplifica la señal y la muestra en una pantalla o registrar la en Internet, nube.



**Ilustración V-18 Esquema de una cadena de medición de deformaciones con galga extensométrica**

En los posteriores ensayos aparte de galgas se probaron sus resultados con dos opciones diferentes de amplificador de puente. Los aparatos usados son un Vishay, Model P3 y por otro lado un AVIA HX 711.

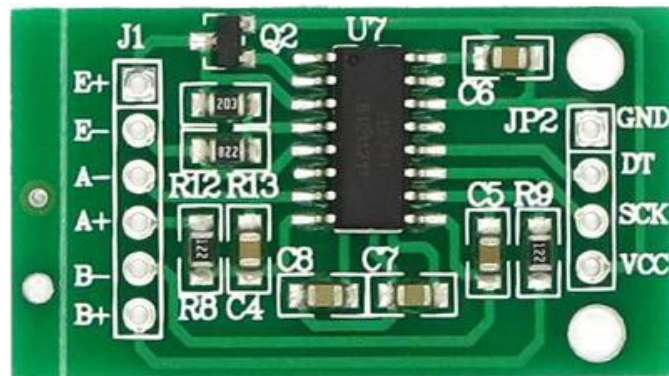


**Ilustración V-19 Vishay The Model P3**

El Vishay P3 tiene como función amplificar la señal del puente de Wheatstone, además también es un indicador de tensión estática y registrador de datos digital. El propio aparato ya tiene incorporada una pantalla LCD lo que permite que con solo él se pueda tanto amplificar como

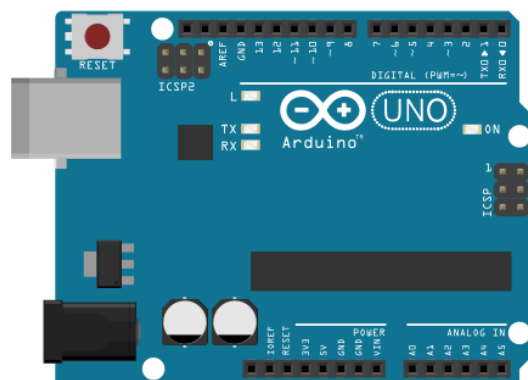
obtener los datos salientes. En cuanto a las posibilidades que ofrece, el model P3 es "capaz de hacerte simultáneamente cuatro entradas de circuitos de galgas extensométricas de cuarto, medio o puente completo." (Micro- Measurements, 2011)

El Avia HX-711 es un convertidor analógico-digital que trabaja a una precisión de 24bits. Está compuesto por dos canales diferentes. El canal A trabaja con ganancia de 128 o 64 mientras que el canal B lo hace con una ganancia fija de 32. (Avia Semiconductor)



**Ilustración V-20 HX-711**

Como diferencia este convertidor por sí solo no nos muestra los datos. Por lo que se conectará a un Arduino. El Arduino es una plataforma que está basada en placas de *hardware* libre que están equipadas con micro controladores re-programables y pines de entrada y salida de voltajes, que dan la posibilidad de utilizar nuevas conexiones y más sensores. La placa de circuito impreso, *Printed Circuit Board*, (PCB), "es la forma más compacta y estable de construir un circuito electrónico" ([arduino.cl](http://arduino.cl))



**Ilustración V-21 Placa de Arduino**

## B. PROBETAS

Los ensayos realizados para la toma de datos fueron hechos a partir de 4 probetas. Los datos de los ensayos corresponden solamente a 3 probetas.

Nombramos las probetas con los nombres de "Barra 0", "Barra 1", Barra 2" y "Barra 3". La Barra 0 fue utilizada para comprobar diferentes métodos y medidas para la eliminación de las corrugas en las barras de acero corrugado para la colocación en ellas de galgas extensométricas. Las barras 1, 2 y 3 fueron ensayadas posteriormente en el laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación donde se consiguieron con las máquinas de precisión del laboratorio diferentes datos característicos de cada probeta.



**Ilustración V-22 Probeta Barra 0**



**Ilustración V-23 Probeta Barra 2**

Como datos de partida se tenía constancia de que todas las barras tenían una Longitud inicial de 500 mm, con la precaución de que todas ellas habían perdido un poco de masa en diferentes secciones para conseguir superficies de trabajo. Las barras 0 y 1 estaban tomadas de barras de acero corrugado mientras que las barras 2 y 3 de acero con un acabado liso.

---

**Barra 1**

	Valor	Unidad
<b>Fuerza Máxima (Fm)</b>	67,96	KN
<b>Deformación máxima Lon.</b>	83.585	Mm
<b>Resistencia máxima</b>	600,9	MPa
<b>Límite inferior de cedencia (ReL)</b>	493	MPa
<b>Límite superior de cedencia (ReH)</b>	501,5	MPa
<b>Límite elástico convencional (Rp)</b>	538,9	MPa
<b>Alargamiento porcentual total a Fm (agt)</b>	18.198	%
<b>Módulo de elasticidad(E)</b>	247029	MPa

**Tabla 4 Características Barra 1**

---

**Barra 2**

	Valor	Unidad
<b>Fuerza Máxima(Fm)</b>	64,23	KN
<b>Deformación máxima Lon.</b>	92.588	Mm
<b>Resistencia máxima</b>	567,9	MPa
<b>Límite inferior de cedencia (ReL)</b>	438,3	MPa
<b>Límite superior de cedencia (ReH)</b>	441,9	MPa
<b>Límite elástico convencional (Rp)</b>	527,5	MPa
<b>Alargamiento porcentual total a Fm (agt)</b>	18.004	%
<b>Módulo de elasticidad(E)</b>	208703,5	MPa

**Tabla 5 Características Barra 2**

<b>Barra 3</b>		
	Valor	Unidad
<b>Fuerza Máxima (Fm)</b>	64,85	KN
<b>Deformación máxima Lon.</b>	11.481	Mm
<b>Resistencia máxima</b>	573,4	MPa
<b>Límite inferior de cedencia (ReL)</b>	278,5	MPa
<b>Límite superior de cedencia (ReH)</b>	282,2	MPa
<b>Límite elástico convencional (Rp)</b>	533,2	MPa
<b>Alargamiento porcentual total a Fm (agt)</b>	18.627	%
<b>Módulo de elasticidad(E)</b>	206363,3	MPa

**Tabla 6 Características Barra 3**

## C. ENSAYOS

Los ensayos de tracción realizados en el laboratorio fueron diseñados para la validación de los sistemas en monitorización. Para estos ensayos se utilizó la prensa ibertest del laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, el equipo de extensometría Vishay - modelo P3 - del Departamento de Mecánica de los medios continuos y estructuras por su precisión, así como las lecturas obtenidas por nuestro equipo basado en los microcontroladores de código libre de la plataforma Arduino.



**Ilustración V-24 Prensa Ibertest**

Los datos de la lectura de las galgas se tomaron en un ambiente controlado con una temperatura constante, por ello se decidió no utilizar una galga de corrección térmica en estos ensayos. En los ensayos de campo la temperatura será la variable predominante que en los casos de no producirse una variación de carga será la que influya en la lectura de datos.

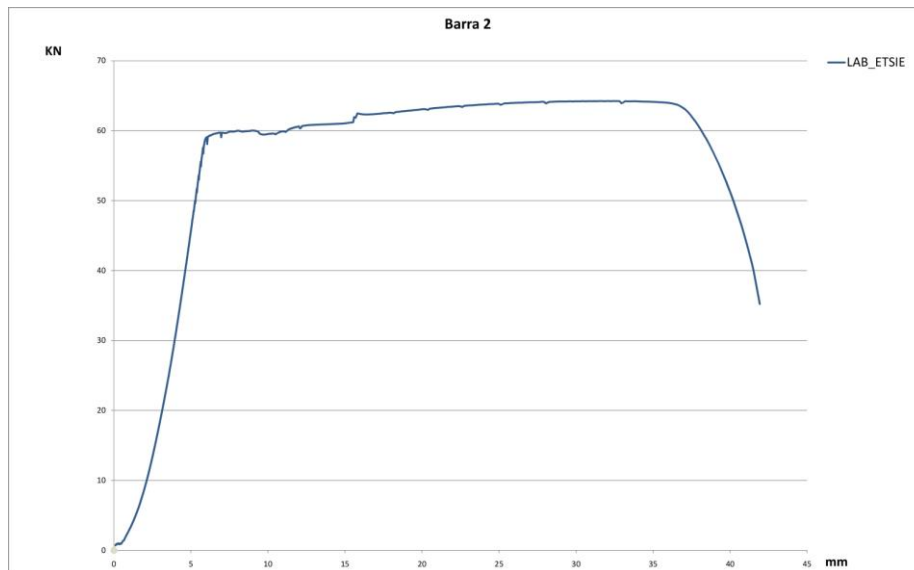
### **Barra 1**

El primer ensayo fue el de la barra 1. Se Trata de una barra de acero corrugado para poner a punto los métodos de pegado y los procesos de ensayo. Dicha barra sirvió para comprobar lo que suponía la utilización de los diferentes pegamentos usados. Se tomó la decisión de usar el Z70.

### **Barra 2**

En el ensayo de la barra 2 se trata de una barra lisa de longitud 500mm. En ella, se ensayó una galga conectada en el Vishay P3 y el desplazamiento de la prensa ibertest en el final de la carrera de las mordazas.

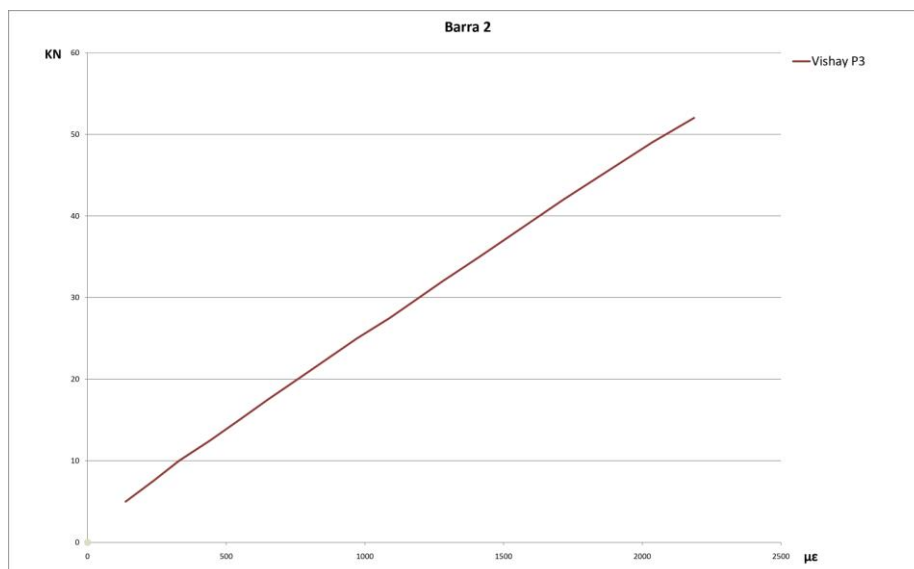
Estos datos están presentados en la ilustración 24 en donde vemos la gráfica fuerza de la prensa respecto al desplazamiento total de las mordazas en mm. La gráfica muestra una carga máxima de 64,23 KN, el punto de fluencia se alcanza sobre los 58 KN, así como el tramo inicial de ajuste de mordazas que se produce al principio del ensayo.



**Ilustración V-25 Gráfica ensayo Barra 2 Ibertest**

En la ilustración 25 se puede observar la gráfica de cargas respecto microdeformaciones. Medidas en el aparato de alta precisión Vishay como valor de referencia para su contraste a la que se le conectó una galga extensométrica de la compañía OMEGA montada en posición de Quarter Bridge.

Los datos mostrados al seguir una recta creciente lineal nos indica que la lectura corresponde a la zona elástica de la barra sin llegar al punto de fluencia.

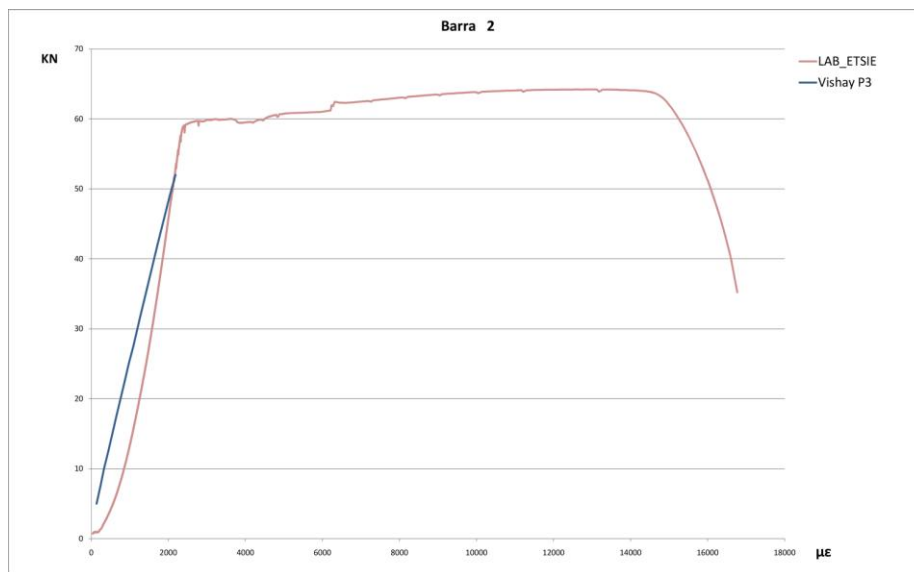


**Ilustración V-26 Gráfica ensayo Barra 2 Vishay**

En la ilustración 26 tenemos la fuerza de la prensa, que nos da un coeficiente proporcional a las tensiones en la barra respecto de la deformación unitaria interior. Con color rojo tenemos la gráfica obtenida en

función de los desplazamientos de final de carrera de las mordazas que representan no la deformación en un punto, sino la media de deformaciones en toda la zona de ensayo. Con color azul tenemos las deformaciones unitarias en el punto de aplicación de la galga leídos con el equipo de extensometría de Vishay.

En esta gráfica se puede observar como los datos del Vishay P3 tienen un desfase respecto a la gráfica del Iberstest. El desfase se entiende que hay que tener en cuenta factores como el agarre de la mordaza que puede producir en en los primeros instante de carga la deformación no sean tan exactos.



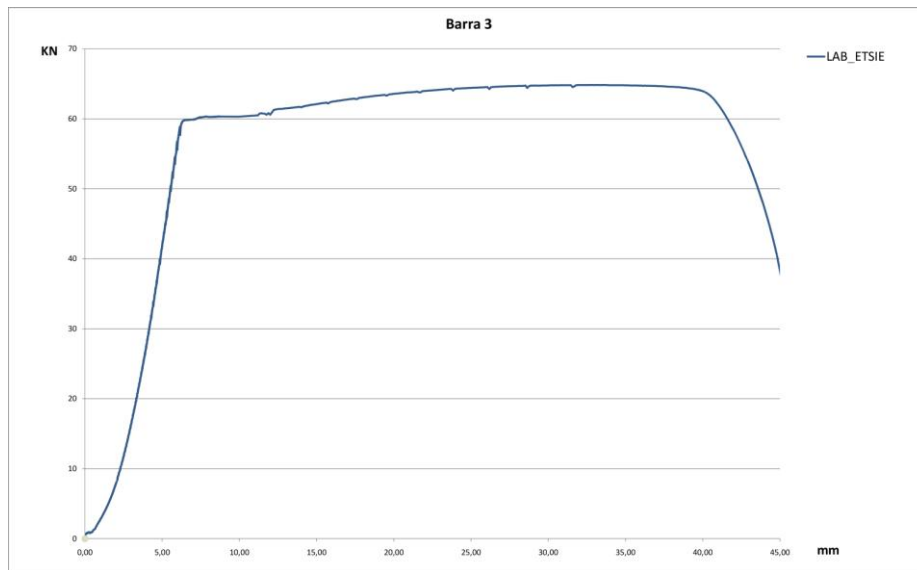
**Ilustración V-27 Gráfica Comparación 1**

### **Barra 3**

El ensayo de la barra 3 trata de una barra de acero lisa de una longitud de 500mm. Se tomaron datos con la prensa Iberstest del Laboratorio de la ETSIE , con el vishay P3 y el Arduino. Las galgas montadas en la barra eran un OMEGA conectada al P3 y un HT Sensor con el Arduino.

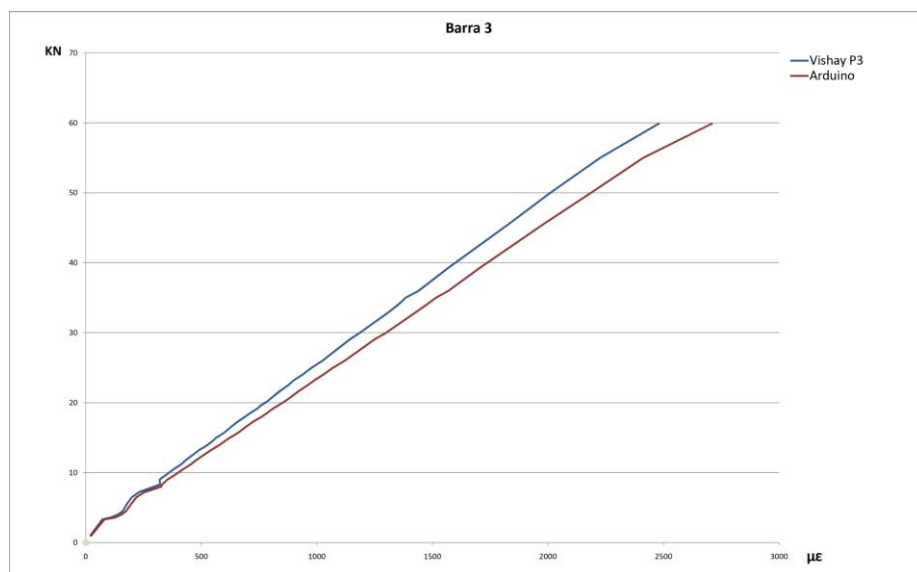
La lectura con el laboratorio nos da una información idéntica a la Barra 2 con la misma máquina de lectura. En la ilustración 27 donde vemos la gráfica fuerza de la prensa respecto al desplazamiento total de las mordazas en mm. La gráfica muestra una carga máxima de 64,85 KN y que el punto de fluencia empieza sobre los 60 KN.





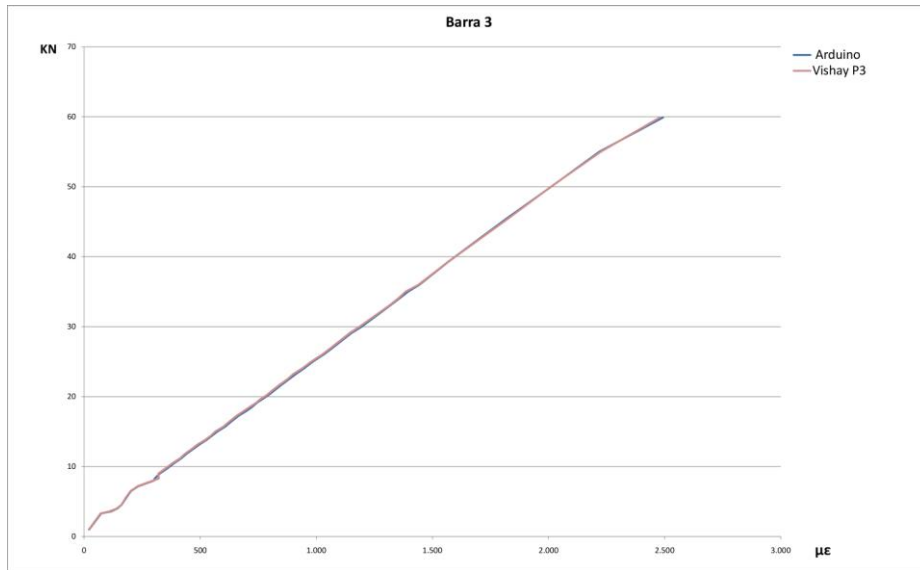
**Ilustración V-28 Gráfica ensayo Barra 3 Ibertest**

Los datos de la ilustración 28 nos muestran la comparación de las lecturas tomadas de las galgas. Se observa una menor deformación en la lectura del vishay P3, sin embargo la diferencia en 50KN de carga es de 150 microdeformaciones. Este error es asumible tanto por la diferencia de conversor como por los GF.



**Ilustración V-29 Gráfica ensayo Barra 3 Vishay y Arduino**

En la ilustración 29 trata la gráfica de las medidas del Vishay y Arduino al que se le han aplicado un coeficiente de correlación de 0.92 debido a los diferentes coeficientes de galga. Con la aplicación del coeficiente se han ajustado las gráficas siendo coincidentes.



**Ilustración V-30 Gráfica ensayo Barra 3 Vishay y Arduino Coeficiente de correlación**

En la ilustración 30 encontramos la comparación de las tres lecturas y se encuentra con una coincidencia casi completa. Se registran menores deformaciones por debajo de los 37 KN en las galgas respecto al laboratorio y por encima de los 50 KN éstas dan una deformación mayor.



**Ilustración V-31 Gráfica Comparación 1**

## D. PREPARACIÓN DEL ENSAYO

En el proceso de colocación al tratarse de elementos tan frágiles se cogió como referencia el video llamado "Tutorial: Strain Gage Installation Procedure". El cual se fue comprobando y ajustando según se montaba la galga extensométrica en la barra. Para realizar el montaje se han usado todos los elementos que se han nombrado en los puntos anteriores: pegamento, activador, alcohol, ...

Como se utilizaron dos tipos de barras diferentes, una corrugada y otra lisa, cogeremos el punto de partida de una barra corrugada. Este planteamiento de debe al hecho que hay que realizar más pasos para su preparación

Lo primero en este tipo de trabajos es la seguridad, se aconseja no olvidar gafas protectoras y guantes cuando sea necesario, ya que se usan herramientas peligrosas.

En primer lugar, se sujetará la barra de acero corrugado con una longitud de 0,50 m en un tornillo de banco, para evitar el movimiento de la barra mientras se manipula. Una vez asegurada la barra se procederá a la eliminación de las aletas de la barra de acero corrugado, se buscará en el proceso una superficie de entre 5 a 8 cm donde poder colocar la galga extensométrica.



**Ilustración V-32 Eliminación de aletas**

Para la eliminación de las aletas montaremos en la amoladora un disco para pulir la superficie y no uno de corte. Hay que tener la precaución a la hora de quitar parte de la sección circular de no dañar en exceso la barra ya que comprometería el ensayo al debilitar una amplia sección de la barra. Es

aconsejable encontrarse en una posición de trabajo cómoda para poder mantener de manera constante tanto la fuerza aplicada como la dirección de trabajo con la máquina.



**Ilustración V-33 Limpieza de la Barra**

Una vez con una zona de trabajo se procederá a eliminar tanto como se pueda la suciedad y los aceites que pueda tener en la superficie. Esto se hará con un desengrasante específico o con alcohol. Esta acción se repetirá de manera constante durante el proceso de colocación.

El proceso de limpiado se complementará con el uso de lijas de diferente grano pasando de un grano fino para terminar con un grano de 400 o 500 acompañado de agua. Como se ha comentado luego de estas acciones se volverá a proceder a la limpiar con alcohol la superficie.



**Ilustración V-34 Lijado de la Barra**

Una vez terminada la preparación de la zona de colocación de la galga se procederá a su montaje. Para ello no trabajaremos directamente sobre la barra o la superficie si no en la superficie de un vidrio. Esta superficie nos permite ver con claridad la galga que estamos manipulando además de permitir una rápida limpieza con alcohol. Colocáremos una galga sobre el vidrio para ello la manipularemos con las pinzas de precisión en vez de los dedos., tanto por su tamaño como para evitar ensuciar con el aceite de las manos. Las galga extensométrica tiene un tratamiento diferente en cada una de sus caras. Apoyaremos la galga por la superficie no mate la cual tiene preparada zonas de unión con cables a través de soldadura con estaño. En el caso que la galga extensométrica tenga los cables ya montados de serie se apoyara sobre la parte lisa en el vidrio.

Cortamos un trozo de celo y lo tensamos en él pegaremos la galga para poder moverla desde el vidrio a la barra. En ocasiones en vez de proceder a este paso, será aconsejable adelantar la unión con el cableado y posteriormente proceder a mover la galga.

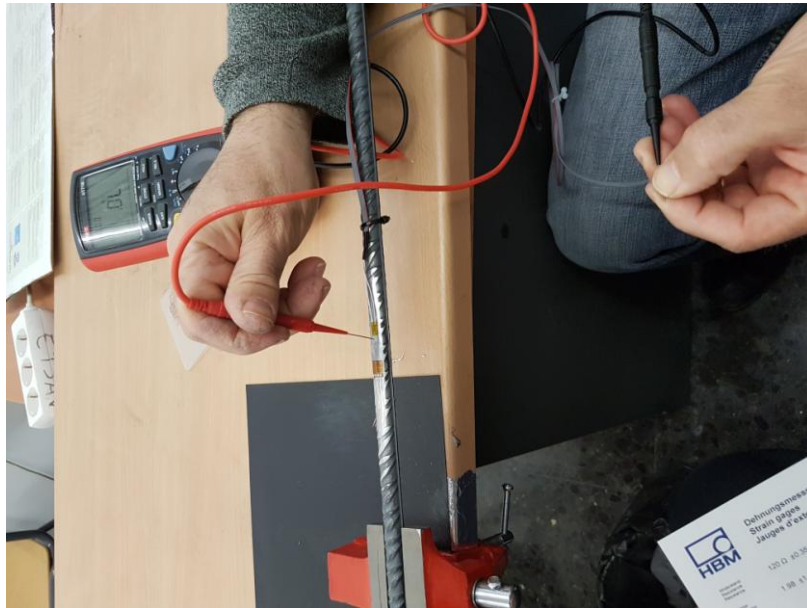


### **Ilustración V-35 Colocación de una galga**

Una vez en el cielo, la colocaremos en la posición deseada y levantamos una parte del cielo donde está la galga dejando un pequeño pliegue de unión de cielo con barra. En la barra situado donde se colocará la galga se procede a colocar el pegamento elegido, en nuestro caso el idóneo es el Z70, y colocamos de manera inmediata la galga con el cielo encima. Sin perder tiempo con el dedo pulgar aplicamos presión sobre la galga durante 1 min aproximadamente. Al finalizar retiraremos el cielo y comprobaremos que la galga está en su sitio bien adherida.

Ahora procederemos a la unión de las conexiones, para ellos dejaremos cubierto con otro cielo la galga menos la parte de unión. Los cables se cubrirán antes de nada de estaño para facilitar tanto su manipulación como soldadura. En la galga será el momento de aplicar un activador, en los ensayos se so Flux, y para finalizar aplicaremos la soldadura entre los cables y la galga. es aconsejable si la galga es de tamaño reducido ayudarse de otra persona usando pinzas.

Se comprobará la resistencia de la galga para asegurarse que la conexión se produjo de manera correcta y no hay una continuidad ni este los puntos de soldadura, ni entre la galga y la barra. Puede ocurrir que del proceso de soldado se acabe dañando la galga, esto suele pasar por la insistencia aplicando calor o por qué no se queda adherida una gota de estaño.



### **Ilustración V-36 Comprobación del funcionamiento de la galga**

Una vez esta todo conectado es procederá a la sujeción del cableado con bridas u otro método, con el dato importante de que no esté en una posición de tensión. Ya que si fuera el caso la soldadura podría romper la galga.

Como se ha mencionado se puede proceder primero al soldado esto no cambia en nada el proceder del paso.

Para terminar, se aplicará en cada caso el protector elegido, puede ser como en nuestro caso e, X60, una resina o la masilla plástica ak22, aunque con la experiencia con esta última no es una buena opción para la zona de unión.

## E. PUESTA EN OBRA

Una vez concluido tanto la puesta de las galgas en probetas como su análisis, se procedió en este caso a la colocación de un par de galgas extensométricas en los pilares 40 y 41 de la ETSAV.



**Ilustración V-37 Pilar con barras corrugas al descubierto**

Este procedimiento en sus fundamentos es igual que lo explicado en el apartado D. preparación del ensayo por lo que se incidirá las partes que varían en algún punto por su manera de proceder o por presentar un impedimento o dificultad añadido.

Primero que nada, decir que para la colocación en una obra en todo momento será conveniente el trabajo de dos personas. Una, manejando las herramientas y la galga y la otra de apoyo a esta.

Como primer paso se procede a la eliminación del óxido y de las aletas de la barra, tener en cuenta que en el caso de una rehabilitación también nos encontraremos restos de hormigón que tendremos que eliminar.





**Ilustración V-38 Barras con zona de trabajo**

Las galgas se deberán de preparar con antelación en otro recinto. En este caso sí que es aconsejable en el laboratorio o lugar de trabajo como mínimo dejar puesto en la galga los puntos de soldadura de estaño. Si está dentro de las posibilidades en obras es mejor optar por una galga extensométrica que tenga colocado el cable preinstalado.



**Ilustración V-39 Barra con galgas extensométricas**

En el exterior asumimos la premisa de que no podemos estar trabajando en un ambiente libre de polvo y aceite. Se procuró antes de la colocación de la galga en el espacio designado que este estuviera lo más limpio posible para que se adhiriera correctamente el pegamento con las partes.

Una vez se ha colocado la galga en la barra, en caso que sea necesario, se procederá a la soldadura de las conexiones. Al estar en el exterior será necesario un soldador de potencia variable. Esta recomendación es debida a que perderemos temperatura tanto por estar en el exterior como por transferencia a la barra corrugada de acero.

Una vez esta establecidas todas las conexiones se asegurarán y protegerán tanto las galgas extensométricas como los cables. Hay que tener en cuenta que posteriormente serán recubiertas por hormigón u otro tipo de mortero, en caso de no tomar esa preocupación se podrían perder las conexiones y ser dañadas las galgas.



**Ilustración V-40 Galgas protegidas con X60**

Para finalizar se realizarán anotaciones en el cableado y esquemas de colocación para la posterior conexión de la galga con la cadena de medición preparada.

## VI. CONCLUSIONES

Nuestro equipo de investigación, dirigido por el Dr. Enrique Gil Benso, ha diseñado y realizado un sistema de adquisición de datos en tiempo real para la monitorización de las estructuras de los edificios. Mediante el uso tanto de *hardware* como de herramientas de código abierto, que comunica los datos a través de Internet, permite su visualización y análisis posterior.

Dentro del equipo de trabajo, mis tareas se han centrado en el diseño y específicamente en la validación de un sistema de medición de deformaciones usando galgas extensométricas de precisión en las varillas de las armaduras. Para llevar a cabo la validación se han realizado ensayos de tracción para evaluar y comprobar que tanto el montaje de la galga como los resultados eran precisos, encontrando una correlación casi perfecta de los datos obtenidos.

Los ensayos se realizaron con probetas de acero, unas de acero corrugado y otras de acero liso, con una longitud de 500 mm.

En la colocación de las galgas extensométricas en las probetas, se usó una de ellas solo como prueba para la obtención de superficies y comprobación del método de montaje de galgas. La segunda barra no se pudo obtener datos de todos los sensores. Sin embargo, el ensayo proporcionó otros datos que no se esperaban como son el comportamiento de los pegamentos usados en el montaje.

Los posteriores ensayos dieron resultados que se muestran en las gráficas con una similitud entre los diferentes instrumentos de medición. Por un lado, los de gran precisión y coste (Vishay) y, por otro lado, por el sistema que se diseñó con motivo de este TFG basado en la plataforma Arduino.

Aprovechando las obras de rehabilitación de la ETSAV se procedió a la puesta en obra de varias galgas extensométricas en las barras de acero corrugado de dos pilares: un pilar de esquina y de medianera, poniendo en práctica los métodos de colocación ensayados en el laboratorio y corregidos con el comportamiento de las barras durante el ensayo.

El sistema de medición de deformaciones unitarias mediante extensometría diseñado por el equipo para la monitorización de edificios ha sido validado, demostrando en los ensayos de laboratorio una perfecta correlación entre los datos tomados con Arduino y los datos de equipo calibrado, Vishay, que han servido de referencia para obtener un valor de 0,92 en el valor de correlación. Esto es debido a los diferentes coeficientes de galgas y que es ajustado para sucesivas mediciones dentro de la monitorización de las estructuras.

## VII. APLICACIÓN

Este tipo de monitorización aplicada a las estructuras da la posibilidad de conocer mejor el estado de las edificaciones. En la actualidad, con el IoT tenemos la posibilidad con estas herramientas de hacer un seguimiento de varios aspectos y edificios de manera simultánea.

Si hacemos una diferenciación entre edificios de nueva planta y los ya construidos encontramos dos aplicaciones diferentes. En los nuevos edificios podemos controlar como se comportan las flechas activas y su repercusión en el aspecto estético de éste. Para los edificios que sufran una rehabilitación o con una importancia monumental, la aplicación de medidas más específicas, según los datos de deformación que arrojen las galgas, puede ayudar a no dañar otros aspectos de la edificación a causa de no conocer con exactitud el punto.

Ya sean edificios nuevos o con varios años, una de las aplicaciones en la que se mejoraría la seguridad de las personas que habitan dichas construcciones es la monitorización en zonas de alto riesgo sísmico. Esta aplicación arrojaría luz en todo momento sobre el estado de fatiga de la estructura y sería un método de alarma en caso de que la estructura sufriera daños mayores.

## VIII. FIGURAS

<i>Ilustración III-1 Fotografía de daños de la fachada de la ETSAV</i>	7
<i>Ilustración III-2 Daños en los pilares de la ETSAV</i>	8
<i>Ilustración III-3 Plano PB ETSAV Esc. 1:250</i>	9
<i>Ilustración III-4 Fotografía fachada de la ETSAV</i>	10
<i>Ilustración V-1 Diseño característico de una banda extensométrica con una lámina de metal impreso como rejilla de medición (National Instruments)</i>	13
<i>Ilustración V-2 Definición de tensión (National Instruments)</i>	13
<i>Ilustración V-3 Imagen de adhesivo de cianocrilato</i>	19
<i>Ilustración V-4 Adhesivo para galgas extensométricas Z70 (HBM)</i>	19
<i>Ilustración V-5 Galgas extensométricas saltadas luego del ensayo de carga</i>	20
<i>Ilustración V-6 Adhesivo para galgas extensométricas X60 (HBM)</i>	21
<i>Ilustración V-7 Cable plano (HBM)</i>	22
<i>Ilustración V-8 Masilla Plástica AK22 (HBM)</i>	23
<i>Ilustración V-9 Flux (blog de the lions technology S.A.S)</i>	24
<i>Ilustración V-10 Botella de alcohol isopropílico</i>	24
<i>Ilustración V-11 Cautín (blog de the lions technology S.A.S)</i>	26
<i>Ilustración V-12 Amoladora</i>	27
<i>Ilustración V-13 kit de pinzas de precisión</i>	27
<i>Ilustración V-14 Puente de Wheatstone (Hoffmann, Karl)</i>	28
<i>Ilustración V-15 Puente de Wheatstone Quarter Bridge y formula (National Instrument)</i>	29
<i>Ilustración V-16 Puente de Wheatstone Quarter Bridge y formula (National Instrument)</i>	30
<i>Ilustración V-17 Puente de Wheatstone Quarter Bridge y formula (National Instrument)</i>	30
<i>Ilustración V-18 Esquema de una cadena de medición de deformaciones con galga extensométrica</i>	32
<i>Ilustración V-19 Vishay The Model P3</i>	32
<i>Ilustración V-20 HX-711</i>	33
<i>Ilustración V-21 Placa de Arduino</i>	33
<i>Ilustración V-22 Probeta Barra 0</i>	34
<i>Ilustración V-23 Probeta Barra 2</i>	34
<i>Ilustración V-24 Prensa Ibertest</i>	37
<i>Ilustración V-25 Grafica ensayo Barra 2 Ibertest</i>	38
<i>Ilustración V-26 Grafica ensayo Barra 2 Vishay</i>	38
<i>Ilustración V-27 Grafica Comparación 1</i>	39

<i>Ilustración V-28 Grafica ensayo Barra 3 Ibertest .....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración V-29 Grafica ensayo Barra 3 Vishay y Arduino .....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración V-30 Grafica ensayo Barra 3 Vishay y Arduino Coeficiente de correlación .....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración V-31 Grafica Comparación 1.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración V-32 Eliminación de aletas .....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración V-33 Limpieza de la Barra.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración V-34 Lijado de la Barra.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración V-35 Colocación de una galga.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración V-36 Comprobación del funcionamiento de la galga.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración V-37 Pilar con barras corrugas al descubierto .....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración V-38 Barras con zona de trabajo.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración V-39 Barra con galgas extensométricas .....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración V-40 Galgas protegidas con X60 .....</i>	<i>49</i>

## IX. TABLAS

<i>Tabla 1 Galgas HBM</i> .....	16
<i>Tabla 2 Galgas OMEGA</i> .....	17
<i>Tabla 3 Galgas HT Sensor</i> .....	18
<i>Tabla 4 Características Barra 1</i> .....	35
<i>Tabla 5 Características Barra 2</i> .....	35
<i>Tabla 6 Características Barra 3</i> .....	36

## X. BIBLIOGRAFÍA

### Libros

**AVIA Semiconductor.** "24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales"

**Hoffmann, Karl.** 2001. "Una introducción a la medición mediante bandas extensométricas". Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.

**Hoffmann, Karl.** "Applying the Wheatstone Bridge Circuit". Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.

**National Instruments.** 1998. "Strain Gauge Measurement – A tutorial "

**Vishay precision Group.** 2011."Strain Indicator and Recorder". Micro-Measurements

### Trabajos Académicos

D.Montero Echeverría, Walter Esteban. Tesis Doctoral."Efecto de la curvatura Superficial sobre la Exactitud en el Cálculo de la Tension a partir de la Deformación Medida con Galgas Extensometricas Resistivas". Universidad Carlos III de Madrid. 2011

López Pérez, Jorge, Trabajo Final de Grado. "Diseño de un sistema de extensometría y su Calibración", Riunet", Universitat Politècnica de València, 2016-2017

Navarro Barat Xavier. Trabajo Final de Grado." Aplicación de microcontroladores para el control de estructuras mediante galgas extensométricas", Universitat Politècnica de València, 2017-2018



## Web

Arduino.cc. <https://www.arduino.cc/>

Geindepo. <https://geindepo.com/usos-del-alcohol-de-limpieza/>

HBM. <https://www.hbm.com/es/>

HT SENSOR TECHNOLOGY. <http://www.htc-sensor.com/index.html>

OMEGA. <https://es.omega.com/>

Prometec. <https://store.prometec.net/>

Thelionstecnologysas. <http://thelionstecnologysas.blogdiario.com/>

Tutorialdedrones. <https://www.tutorialdedrones.com>

## Videos

**Micro-Measurements,**” Tutorial: Strain Gage Installation

Procedure@, en YouTube

<<https://www.youtube.com/watch?v=tTax9pEO8CQ>> [Consultado el 8 de Septiembre de 2019]

## XI. LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Ecuación 1 Deformación .....</i>	<i>13</i>
<i>Ecuación 2 Factor de Galga.....</i>	<i>14</i>
<i>Ecuación 3 Resistencia de un cable .....</i>	<i>22</i>

<b><math>\epsilon</math></b>	<b>Tensión</b>
<b>GF</b>	Gauge Factor(Factor de galga)
<b>L</b>	Longitud
<b>S</b>	Diámetro
<b>R</b>	Resistencia
<b><math>\rho</math></b>	Coeficiente de resistividad o resistencia especifica del material
<b><math>V_{EX}</math></b>	Voltaje de excitación
<b><math>V_0</math></b>	Voltaje inicial