



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

**Sistema de ensayos para la caracterización  
mecánica de materiales plásticos según la  
normativa ISO 527.**

**Autor:**

**García García, Javier**

**Tutor:**

**Mansilla Gallo, Alberto  
Dpto. Ciencia de los Materiales e  
Ingeniería Metalúrgica**

**Cotutor:**

**del Valle González, María Isabel  
Dpto. de Tecnología Electrónica**

**Valladolid, Octubre 2019**





## Resumen

En este Trabajo de Fin de Grado se ha diseñado un sistema de ensayos a tracción. Este sistema de ensayos a tracción, cuenta con una máquina de ensayos a la que se han adherido una cámara y un sensor de desplazamiento, con el objetivo de medir la deformación antes de rotura.

Para medir el desplazamiento, se usa un tratamiento de imágenes realizado a través, del software GOM Correlate 2018, la toma de datos del sensor de desplazamiento y del sensor de carga se realiza con el software, LabView de National Instruments, por último, los datos recogidos se tratan con Microsoft Excel.

## Palabras clave

- ISO 527
- Ensayos a tracción.
- LabView.
- Microsoft Excel.
- GOM.

## Abstract

In this project, a tensile test system has been designed. This tensile test system has a test machine to which a camera and a displacement sensor have been attached, in order to measure the deformation before breaking.

To measure the displacement, an image processing is used through the GOM Correlate 2018 software, LabView of National Instruments, finally, the collected data are treated with Microsoft Excel.

## Keywords

- ISO 527
- Tensile Test.
- LabView.
- Microsoft Excel.
- GOM.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## Índice

Resumen.....	1
Palabras clave .....	1
Abstract.....	1
Keywords .....	1
Introducción.....	7
Objetivos .....	8
1. Descripción de la Norma ISO 527 .....	9
1.1 ISO 527-1 .....	9
1.1.1 Principio .....	9
1.1.2 Método .....	9
1.1.3 Registro de datos .....	9
1.1.4 Probetas .....	10
1.1.5 Procedimiento de ensayo .....	12
1.1.6 Cálculo y expresión de los resultados .....	12
1.2 ISO 527-2 .....	15
1.2.1 Probetas .....	16
1.2.2 Anisotropía .....	17
2. Elementos Hardware.....	19
2.1 Mark-10 ES30 .....	19
2.2 Célula de carga .....	21
2.3 Sensor de desplazamiento.....	21
2.4 Bastidor .....	23
3. Elementos Software .....	27
3.1 GOM .....	27
3.1.1 GOM Snap 2D .....	27
3.1.2 GOM Correlate .....	28
3.2 LabView .....	30
3.3 Excel.....	32
4. Aplicación al ensayo en probetas de impresión en 3D .....	37
4.1 FDM.....	37
4.2 Probetas .....	38



4.3	Influencia del proceso.....	39
5.	Manual de uso .....	41
5.1	Procedimiento previo al ensayo .....	41
5.1.1	Probetas .....	41
5.1.2	Ajuste de la imagen .....	42
5.1.3	Ensayo .....	45
5.1.4	Procesado.....	46
6.	Conclusiones.....	57
	Bibliografía .....	58
	Anexos .....	59
	Anexo 1. Mark-10 ES30 .....	61
	Anexo 2. Bastidor.....	63
	Anexo 3. Fuerza-Desplazamiento LabView .....	67
	Anexo 4. NI 9237.....	69
	Anexo 5. HBM U93 .....	71
	Anexo 6. Cámara SVS exo250MU3.....	73
	Anexo 7. Macros Microsoft Excel.....	75
	Anexo 8. Sensor desplazamiento LDT.....	83

## Índice de Figuras

Figura 1.	Sistema realizado de ensayos a tracción (Realizada por Jorge Valentín Gamazo). .....	7
Figura 2.	Probeta en forma de haltera (Elaboración propia).....	11
Figura 3.	Probetas tipo 5A y 5B (Normativa ISO527) .....	16
Figura 4.	Mark-10 ES30 (Mark-10) .....	19
Figura 5.	Mordazas Mark-10 (Elaboración propia) .....	20
Figura 6.	Célula de Carga HBM U93 (Elaboración propia) .....	21
Figura 7.	Sensor desplazamiento LVDT en la máquina (Elaboración propia) .....	22
Figura 8.	Puente de Wheatstone con galga extensométrica (HBM) .....	23
Figura 9.	Planta bastidor (Elaboración propia).....	23
Figura 10.	Alzado bastidor (Elaboración propia) .....	24
Figura 11.	Bastidor en 3D (Elaboración propia).....	24
Figura 12.	Sistema completo de ensayos (Elaboración propia).....	25
Figura 13.	GOM Snap 2D (Elaboración propia) .....	28
Figura 14.	Principio del ensayo (Elaboración propia) .....	29



Figura 15. Final del ensayo (Elaboración propia) .....	29
Figura 16. Bloque de toma de datos y cálculo de la media (Elaboración propia).....	30
Figura 17. Bloque de taraje (Elaboración propia).....	31
Figura 18. Obtención de los datos de la célula de carga y sensor de desplazamiento (Elaboración propia) .....	31
Figura 19. Archivo Excel con datos de la deformación (Elaboración propia) .	32
Figura 20. Archivo Excel con datos de fuerza, desplazamiento y deformación (Elaboración propia).....	33
Figura 21. Archivo Excel creado para sacar el módulo de Young (Elaboración propia).....	33
Figura 22. Esquema impresión 3D, FDM (www.todo-3D.com) .....	38
Figura 23. Esquema de la probeta tipo 5A. (Normativa ISO527).....	39
Figura 24. Patrones de impresión. (Realizada por Jorge Valentín Gamazo)...	39
Figura 25. Dirección y orientación de impresión. (www.addi.ehu.es) .....	40
Figura 26. Probeta con moteado blanco (Elaboración propia).....	41
Figura 27. Ajuste de las mordazas (Elaboración propia) .....	42
Figura 28. Menú GOM Snap 2D (Elaboración propia) .....	42
Figura 29. Imagen en directo GOM Snap 2D (Elaboración propia) .....	43
Figura 30. Saturación de la imagen (Elaboración propia).....	44
Figura 31. Frecuencia y número de imágenes (Elaboración propia).....	45
Figura 32. Interfaz fuerza-deplazamiento.vi (Elaboración propia) .....	45
Figura 33. Inicio y tara de la célula de carga (Elaboración propia) .....	46
Figura 34. Gestionar Pasos (Elaboración propia) .....	46
Figura 35. Eliminar intervalo (Elaboración propia) .....	47
Figura 36. Intervalo de pasos (Elaboración propia).....	47
Figura 37. Selección del intervalo a estudiar (Elaboración propia).....	47
Figura 38. Hacer click derecho sobre "Deformación1" (Elaboración propia) .	48
Figura 39. Editar calibración y Definir escala (Elaboración propia) .....	48
Figura 40. Definir distancia real (Elaboración propia).....	49
Figura 41. Toma de superficie de estudio Snap 2D (Elaboración propia) .....	50
Figura 42. Superficie de estudio Snap 2D (Elaboración propia) .....	50
Figura 43. Selección de parámetros (Elaboración propia).....	51
Figura 44. Deformación en el inicio del ensayo (Elaboración propia).....	52
Figura 45. Deformación en el final del ensayo (Elaboración propia) .....	53
Figura 46. Archivo final (Elaboración propia) .....	54



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## Introducción

Desde el laboratorio de 4Inn, empresa ligada a la Universidad de Valladolid, se planteó el problema del desconocimiento de las características a tracción de algunos materiales habitualmente utilizados en los proyectos de 4Inn. Con la restricción de presupuesto y las necesidades que debería de cubrir el sistema de ensayos, se llegó a la conclusión, de que lo más adecuado era realizar un sistema de ensayos para probetas sujetas a la normativa ISO 527 con varios elementos que ya se encontraban en el laboratorio y, con un software que a través de imágenes de un ensayo mide la deformación y la elongación de la probeta ensayada.

Este TFG se centra en la creación de un sistema de ensayos a tracción lo más versátil posible, para poder añadir en el futuro diferentes elementos que mejoren el sistema. Este sistema ayudará a realizar el estudio del comportamiento de los materiales a ensayos de tracción. El resultado final de este sistema se muestra en la *Figura 1*.

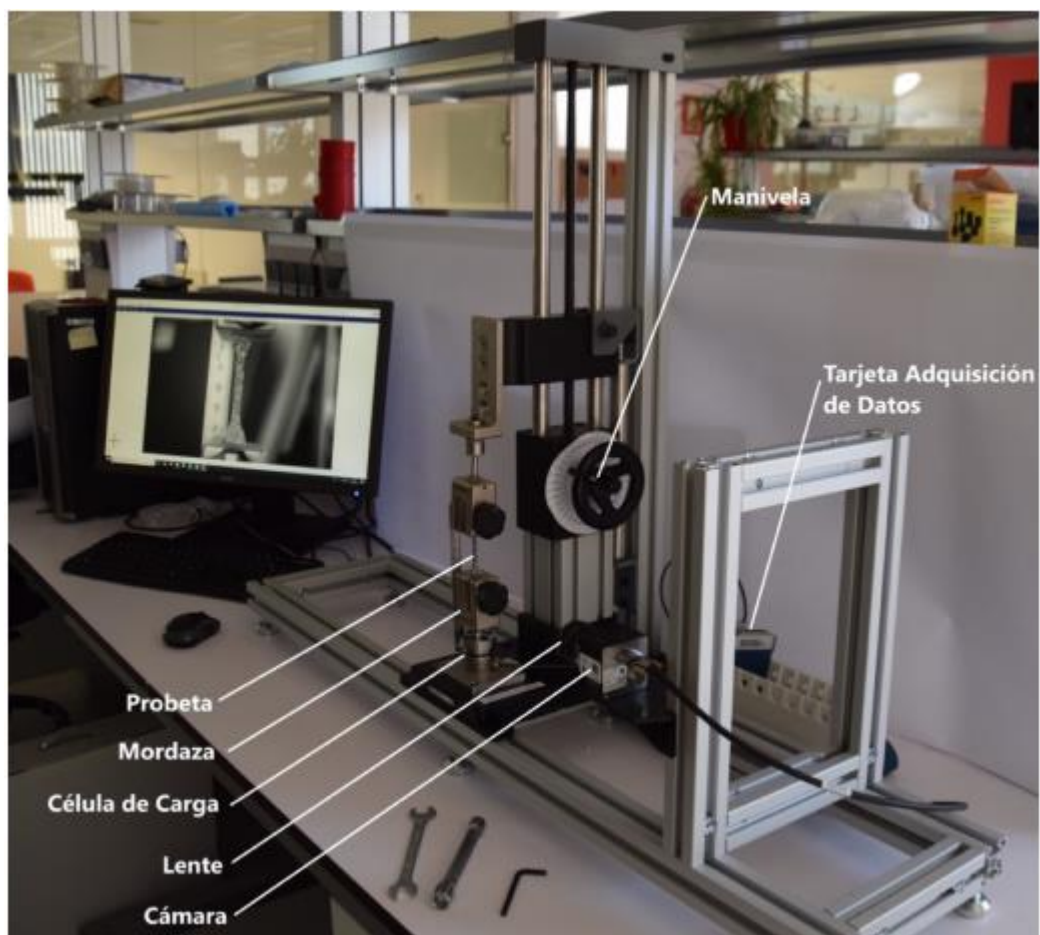


Figura 1. Sistema realizado de ensayos a tracción (Realizada por Jorge Valentín Gamazo).



## Objetivos

El objetivo principal de este proyecto de fin de grado es la realización de un sistema de ensayos a tracción, para facilitar el estudio y la caracterización de los materiales usados en el laboratorio de 4Inn:

- Adecuar un entorno donde poder realizar los ensayos.
- Puesta a punto de los softwares y sensores que hacen posibles medidas fiables.
- Realizar un manual de uso para cualquiera que en el futuro desee realizar ensayos.



## 1. Descripción de la Norma ISO 527

La Norma ISO 527 especifica los principios generales para la determinación de las propiedades en tracción de plásticos y compuestos plásticos. Este trabajo fin de grado, está directamente relacionado con la ISO 527-1 y la ISO 527-2.

Estas dos partes de la Norma se centran en los ensayos a tracción de materiales impresos mediante tecnología FMD.

### 1.1 ISO 527-1

Esta parte de la Norma ISO 527, especifica los principios generales de cómo se deben determinar las propiedades en ensayos a tracción de plásticos y compuestos plásticos.

Los métodos descritos en la norma se utilizan para investigar el comportamiento a tracción de las probetas, así como la resistencia a tracción, el módulo de elasticidad en tracción y otros aspectos de la relación esfuerzo/deformación en las probetas.

Estos métodos son adecuados para los materiales termoplásticos rígidos y semirrígidos para moldeo, extrusión y colado, incluidos los materiales compuestos cargados y reforzados.

#### 1.1.1 Principio

La probeta es sometida a un esfuerzo de tracción a una velocidad constante a lo largo de su eje longitudinal principal, hasta que alcanza la rotura o hasta que el esfuerzo o la deformación alcancen un valor predeterminado. En el proceso se mide la carga que soporta la probeta y el cambio de longitud va experimentando durante el ensayo.

#### 1.1.2 Método

Los métodos especifican las dimensiones de las probetas. Los ensayos que se realicen con probetas de dimensiones diferentes o con probetas preparadas en condiciones diferentes a las especificadas, pueden conducir a resultados que no sean comparables a los que fija esta Norma. También influyen en los resultados factores como la velocidad del ensayo o el acondicionamiento de las probetas. Por lo que, cuando se realicen ensayos se deben controlar y registrar cuidadosamente estos factores.

#### 1.1.3 Registro de datos

La frecuencia de adquisición de datos necesaria para el registro de datos debe de ser lo suficientemente elevada como para cumplir los requisitos de exactitud.



Esta frecuencia depende de:

- La velocidad del ensayo  $v$ , en mm/min.
- La relación entre la longitud de referencia y la separación inicial entre mordazas,  $L/L_0$ .
- La resolución mínima  $r$ , en mm, de la señal de deformación requerida para obtener datos exactos.

La frecuencia mínima de adquisición de datos,  $f_{min}$ , en hertzios, necesaria para la transmisión integral de los datos desde el sensor al indicador, puede calcularse como:

$$f_{min} = \frac{v}{60} \cdot \frac{L_0}{L \cdot r}$$

La frecuencia con la que se registran los datos debe de ser igual o superior a esta frecuencia de adquisición de datos.

❖ *Registro de los datos de fuerza.*

La velocidad de registro de los datos requerida depende de la velocidad del ensayo, del intervalo de deformación, de la exactitud y de la separación de las mordazas. El módulo, la velocidad de ensayo y la distancia entre las mordazas determinan la velocidad de incremento de la fuerza. La relación de la velocidad de incremento de la fuerza con la exactitud necesaria determina la frecuencia de registro, esta velocidad de incremento de la fuerza ( $\dot{F}$ ) viene dada por:

$$\dot{F} = \frac{E \cdot A \cdot v}{60 \cdot L}$$

Donde:

- **E**, es el módulo de Young o módulo elástico, expresado en Megapascales (MPa).
- **A**, es el área de la sección transversal de la probeta, expresada en milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>).
- **v**, es la velocidad del ensayo, expresada en milímetros por minuto (mm/min)
- **L**, es la distancia entre las mordazas expresada milímetros.

#### 1.1.4 Probetas

Las probetas a ensayo deben tener una forma y unas dimensiones determinadas por la Norma ISO 527-2, esta Norma se expone más adelante en este mismo documento.

Así mismo, la Norma 527-1 especifica que las posibles marcas de referencia que se añadan a las probetas, no deben arañarse, perforarse o imprimirse sobre la probeta en ningún caso en el que se dañe el material sometido a ensayo. Se debe asegurar que el medio utilizado para el marcado no tiene un efecto perjudicial sobre el material sometido a ensayo y que, en el caso de líneas paralelas, éstas sean lo más estrechas posibles.

La Norma contempla también el control al que se deben de estar sometidas las probetas. La Norma especifica que, las probetas deben de estar libres de torsión y deben de tener pares de superficies paralelas mutuamente perpendiculares, las superficies y los bordes deben de estar exentos de rayas, oquedades, rechupes y rebabas.

Las probetas se deben de inspeccionar conforme a estos requisitos mediante observación visual de rectitud de los bordes, la perpendicularidad y la planicidad, y con calibres micrométricos.

Las probetas que presenten cualquier incumplimiento, observable o medible, de uno o varios de estos requisitos, deben de ser rechazadas. Si tienen que someterse a ensayo probetas con disconformidades, incluir los motivos en el informe del ensayo.

El número de probetas para cada dirección requerida fijada por la Norma es, de al menos cinco probetas. El número de ensayos puede ser superior a cinco si se requiere una precisión mayor sobre el valor medido.

Las probetas en forma de altera que rompen o se deslicen en el interior de las mordazas se deben descartar y se deben someter a ensayo probetas suplementarias.



*Figura 2. Probeta en forma de haltera (Elaboración propia)*

Por ninguna razón se deben excluir del análisis ningún resultado, incluso los dispersos, ya que la dispersión en dichos resultados puede ser función de la naturaleza del material que se está ensayando.

Cada probeta se debe acondicionar como especifica la norma apropiada a cada material. En ausencia de esta información, se debe seleccionar el conjunto de condiciones más adecuadas a la Norma ISO 291 y el tiempo de acondicionamiento debe de ser de al menos 16 horas, salvo en casos como ensayos a altas o bajas temperaturas.



La atmósfera de acondicionamiento recomendada es  $(23\pm 2)$  °C y  $(50\pm 10)$  % de humedad relativa, excepto cuando el material sea insensible a las condiciones de humedad, en cuyo caso el control de humedad no es necesario.

#### 1.1.5 Procedimiento de ensayo

El ensayo se realizará en la misma atmósfera que se ha utilizado para el acondicionamiento de la probeta, salvo en ensayos a altas o bajas temperaturas.

Se registran los valores mínimos y máximos para la anchura y el espesor de cada probeta en el centro de la misma y a menos de 5mm de cada extremo de la longitud de referencia. Se utilizan las medias de las anchuras y los espesores medidos para calcular la sección transversal de la probeta.

Se debe colocar la probeta en las mordazas, alineando el eje longitudinal de la probeta con el eje de la máquina de ensayo. Se aprietan las mordazas uniforme y fuertemente para evitar un posible deslizamiento de la probeta y el movimiento de las mordazas durante el ensayo. La presión de las mordazas no debe provocar fractura o aplastamiento del material.

Se ajustará la velocidad de ensayo de acuerdo con la norma correspondiente al material utilizado. Para la medición del módulo de elasticidad en tracción, la velocidad de ensayo seleccionada debe proporcionar un índice de deformación lo más próximo posible al 1% de la longitud de referencia por minuto.

Puede ser necesario o deseable adoptar diferentes velocidades para la determinación del módulo de elasticidad en tracción, del diagrama de esfuerzo/deformación hasta el punto de fluencia, y de las propiedades más allá del punto de fluencia. Después de determinar los esfuerzos para la determinación del módulo en tracción se puede utilizar la misma probeta para proseguir el ensayo.

Se registrará, preferiblemente, la fuerza y los valores correspondientes del incremento de la longitud de referencia y de la distancia entre mordazas durante el ensayo. Para la adquisición de datos se requieren tres canales de datos. Si sólo se dispone de dos canales, se registrará la señal de la fuerza y del extensómetro. Es preferible utilizar un sistema de registro automático a uno manual.

#### 1.1.6 Cálculo y expresión de los resultados

##### ❖ *Esfuerzo*

Se calculan todos los valores de los esfuerzos utilizando la siguiente expresión:



$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

- $\sigma$ , es el valor del esfuerzo en cuestión, expresado en MPa.
- $F$ , es la fuerza medida implicada, expresada en Newtons.
- $A$ , es el área inicial de la sección transversal de la probeta expresada en mm<sup>2</sup>.

Cuando se determina el esfuerzo al x% de deformación, x se debe determinar a partir de la norma del material correspondiente.

#### ❖ *Deformación*

Para materiales y/o condiciones de ensayos para los cuales, es predominante una distribución homogénea de las deformaciones en la sección paralela de la probeta, es decir, para deformaciones previas al punto de fluencia y en el punto de fluencia, se calculan todos los valores de las deformaciones, utilizando la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0}$$

Donde:

- $\varepsilon$ , es el valor de la deformación en cuestión, expresado como una relación adimensional, o en porcentaje.
- $L_0$ , es la longitud de referencia de la probeta, expresada en mm.
- $\Delta L_0$ , es el incremento de la longitud de la probeta entre las marcas de referencia expresado en mm.

La determinación de los valores de deformación utilizando un extensómetro, promedia las deformaciones sobre la longitud de referencia. Esto es correcto y útil siempre y cuando, la deformación de la probeta en la longitud de referencia sea homogénea. Si el material comienza a estrecharse, la distribución de la deformación se volverá no homogénea y las deformaciones determinadas con un extensómetro dependerán fuertemente de la posición y del tamaño de la zona del estrechamiento. En tales casos, se utiliza la deformación nominal para describir la evolución de la deformación tras el punto de fluencia.

La deformación nominal se utiliza cuando no se emplea un extensómetro. La deformación nominal se basa en el incremento de la distancia entre las mordazas respecto a la distancia inicial entre ellas. Se admite registrar el desplazamiento del cabezal en lugar de medir el desplazamiento entre

mordazas. El desplazamiento del cabezal debe corregirse para tener en cuenta los efectos de conformidad de la máquina.

#### ❖ *Módulo de elasticidad en tracción.*

El módulo de elasticidad en tracción se puede calcular utilizando diferentes alternativas.

- Pendiente secante:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Donde:

- $E_t$ , es el módulo de elasticidad en tracción, expresado en MPa.
  - $\sigma_1$ , es el esfuerzo, expresado en MPa, medido en el valor de deformación  $\varepsilon_1=0,05\%$ .
  - $\sigma_2$ , es el esfuerzo, expresado en MPa, medido en el valor de deformación  $\varepsilon_2=0,25\%$ .
- Pendiente de una recta de regresión.

Con un equipo asistido por ordenador, la determinación del módulo de elasticidad en tracción  $E_t$ , utilizando dos puntos de esfuerzo/deformación distintos se puede sustituir por un método de regresión lineal aplicado a la parte de la curva situada entre esos puntos mencionados.

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

Donde  $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$  es la pendiente de una recta de regresión ajustada por mínimos cuadrados a la parte de la curva esfuerzo/deformación en el intervalo de deformación  $0,0005 \leq \varepsilon \leq 0,0025$ ; expresado en MPa.

Este método será el empleado en la obtención del Módulo de Young en este trabajo fin de grado.

#### ❖ *Coefficiente de Poisson*

El Coeficiente de Poisson es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.

Se representa el espesor de la probeta en función de la longitud de la sección de referencia para la parte de la curva esfuerzo/deformación anterior al punto de fluencia, si la hubiera, y excluyendo aquellas secciones que puedan estar influenciadas por la variación en la velocidad del ensayo.





Se determina la pendiente  $\Delta n/\Delta L_0$  de la curva de la variación del espesor en función de la variación de la longitud de referencia. Esta pendiente debe calcularse mediante un análisis de regresión lineal de mínimos cuadrados entre dos límites, preferiblemente después de la zona del módulo y de una posterior variación en la velocidad, si procede, que se encuentra en una parte lineal de esta curva. El coeficiente de Poisson se determina a partir de la ecuación siguiente:

$$\mu = -\frac{\Delta \varepsilon_n}{\Delta \varepsilon_1} = -\frac{L_0}{n_0} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta L_0}$$

Donde:

- $\mu$ , es el coeficiente de Poisson, adimensional.
- $\Delta \varepsilon_n$ , es la disminución de la deformación en la dirección transversal seleccionada, mientras que la deformación longitudinal aumenta en  $\Delta \varepsilon_1$ , expresada como una relación adimensional o en porcentaje.
- $\Delta \varepsilon_1$ , es el aumento de la deformación en la dirección longitudinal, expresado como una relación adimensional o en porcentaje.
- $L_0$ ,  $n_0$ , son las longitudes de referencia iniciales en las direcciones longitudinal y transversal, respectivamente, expresadas en mm.
- $\Delta n$ , es la disminución de la longitud de referencia de la probeta en la dirección transversal:  $n=h$  (espesor), expresada en mm.
- $\Delta L_0$ , es el aumento de la longitud de referencia en la dirección longitudinal, expresada en mm.

El coeficiente de Poisson se determina de la pendiente de la parte lineal de la gráfica  $\Delta n$  en función de  $\Delta L_0$ , (variación de la dimensión en la dirección transversal en función de la variación de la dimensión en la dirección longitudinal).

## 1.2 ISO 527-2

Esta parte de la Norma ISO 527 especifica las condiciones de ensayo para la determinación de las propiedades en tracción de plásticos para moldeo y extrusión, basadas en los principios generales de la Norma ISO 527-1.

Los métodos no son adecuados normalmente, para su uso con materiales celulares rígidos o con estructuras tipo sándwich que contengan material celular. Tampoco son adecuados para películas e hijas flexibles, de espesor inferior a 1 mm.

Los métodos son aplicables a probetas que pueden ser o bien moldeadas a las dimensiones seleccionadas o mecanizadas, cortadas o troqueladas a partir de placas moldeadas por inyección o por compresión.

### 1.2.1 Probetas

Siempre que sea posible, las probetas deben de ser de tipo 5A y 5B en forma de altera de acuerdo a la *Figura 3*. La probeta del tipo 5A se debe utilizar para probetas de usos múltiples directamente moldeadas por inyección, las del tipo 5B para probetas mecanizadas. El tipo 5A también puede utilizarse para probetas moldeadas por compresión.

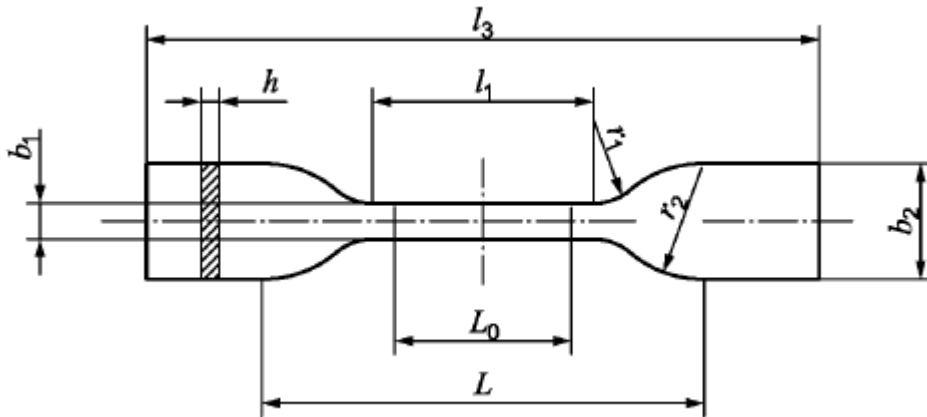


Figura 3. Probetas tipo 5A y 5B (Normativa ISO527)

	Tipo de probetas	5A	5B
$l_3$	Longitud total	$\geq 75$	$\geq 35$
$b_2$	Anchura en los extremos	$12,5 \pm 1$	$6 \pm 0,5$
$l_1$	Longitud de la parte estrecha de caras paralelas	$25 \pm 1$	$12 \pm 0,5$
$b_1$	Anchura de la parte estrecha	$4 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$
$r_1$	Radio pequeño	$8 \pm 0,5$	$3 \pm 0,1$
$r_2$	Radio grande	$12,5 \pm 1$	$3 \pm 0,1$
$L$	Distancia inicial entre las mordazas	$50 \pm 2$	$20 \pm 2$
$L_0$	Longitud de referencia	$20 \pm 0,5$	$10 \pm 0,2$
$h$	Espesor	$2 \pm 0,2$	$1 \pm 0,1$

Tabla 1. Dimensiones probetas 5ª y 5B (Normativa ISO527)

Las probetas deben moldearse directamente por compresión o por inyección del material. El control estricto de todas las condiciones de preparación de las probetas es esencial para garantizar que todas las probetas de un lote están realmente en el mismo estado.

Todas las superficies de la probeta deben estar libres de defectos visibles, arañazos y otras imperfecciones. Todas las rebabas existentes en las probetas moldeadas deben eliminarse, teniendo cuidado de no dañar la superficie moldeada.



Las probetas procedentes de productos elaborados deben tomarse de superficies planas o zonas que representen una curvatura mínima. Las probetas de plásticos reforzados no deberían mecanizarse para reducir su espesor a menos que sea absolutamente necesario. Los resultados obtenidos en probetas con superficies mecanizadas no son comparables a los obtenidos en probetas con superficies no mecanizadas.

Para la medición del módulo de elasticidad en tracción, la velocidad del ensayo debe de ser 1mm/min para las probetas tipo 1A y 1B. Esto corresponde a un índice de deformación de aproximadamente el 1%/min.

### **1.2.2 Anisotropía**

La anisotropía es la propiedad general de la materia según la cual cualidades como elasticidad, temperatura, conductividad y velocidad de propagación de la luz, varían según la dirección en la que son examinadas.

Las placas moldeadas por inyección y extruidas, así como los productos elaborados, muestran cierto grado de anisotropía como resultado de una orientación inducida por el flujo. La dependencia de las propiedades en tracción frente a la dirección del flujo puede evaluarse mediante el mecanizado de las probetas paralela y perpendicularmente a la dirección del flujo característico del proceso de moldeo. En ausencia de información sobre dichas direcciones, las probetas deben mecanizarse en las direcciones acordadas entre las partes interesadas.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

## 2.Elementos Hardware

Para realizar este trabajo fin de grado se han utilizado varios softwares informáticos, así como, una máquina de ensayos, una cámara y un sensor de fuerza. También se ha diseñado y construido un bastidor que alberga todos estos elementos. A continuación, se exponen todos estos elementos.

### 2.1 Mark-10 ES30

La Mark-10 y más en concreto el modelo ES30, modelo utilizado en este trabajo fin de grado, es una máquina de ensayos a tracción de la marca estadounidense Mark-10. Se utiliza esta máquina y no otra, debido a su reducido precio y su gran versatilidad a la hora de introducir nuevos elementos en el sistema de medida.

Como podemos observar en la *Figura 4*, la máquina consta de una parte fija, una parte móvil y una manivela que nos permite desplazar la parte móvil.



Figura 4. Mark-10 ES30 (Mark-10)

- La **Parte Fija o Base** consta de dos partes, la parte inferior que sirve como apoyo y fijación de la máquina a una superficie, en este caso se fijará al bastidor mostrada más adelante en este mismo documento.
- La **Manivela**, consta de un volante mediante el cual, se puede calcular cuánto se deforma el material a ensayar, debido a que, por cada vuelta completa la **Parte Móvil** se desplaza 1,27mm (1,27mm/rev). Esta es una de las partes más importantes del sistema, puesto que, a través de ella, se transmite la velocidad a la que se hace el ensayo, y como se ha visto en el apartado anterior ISO 527-1, la velocidad de ensayo tiene una alta repercusión en el resultado del ensayo.
- La **Parte Móvil**, es la parte que ejerce la tracción sobre la probeta. Se desplaza arriba y abajo a través de las **Guías**, e impulsada por un tornillo sin fin movido por la **Manivela**.

Para poder realizar los ensayos a tracción con probetas se le han colocado dos mordazas una en la parte móvil y otra en la base, como se aprecia en la *Figura 5*. De tal modo, cuando se realice el ensayo la mordaza inferior se mantendrá fija mientras la superior ejercerá una fuerza vertical y hacia arriba, que someterá a la probeta a un esfuerzo a tracción.

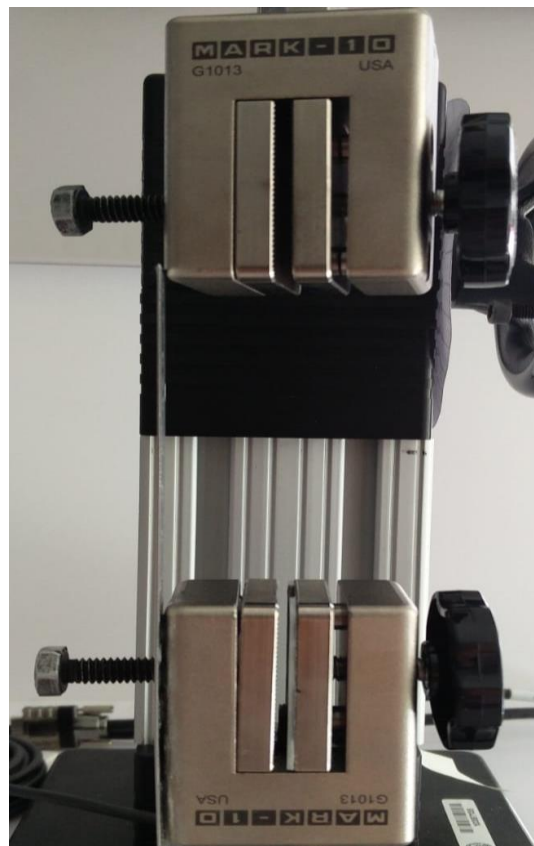
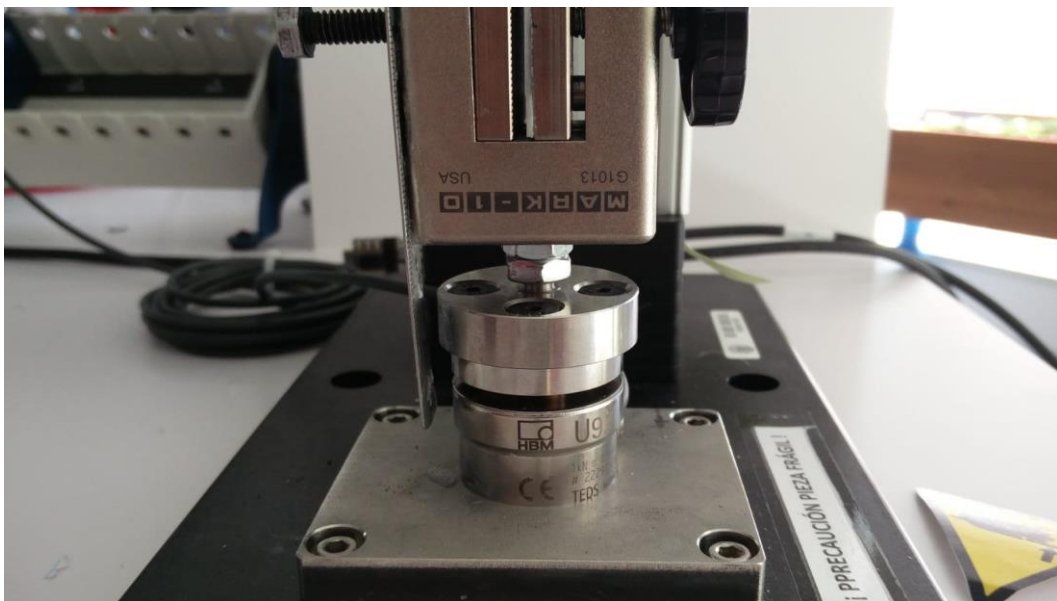


Figura 5. Mordazas Mark-10 (Elaboración propia)

Para conocer las dimensiones y las características de la máquina de ensayos, véase *Anexo 1. Mark-10 ES30*.

## 2.2 Célula de carga

Para medir la fuerza que se ejerce sobre la probeta, se ha colocado una célula de carga, véase *Anexo 5. HBM U3*, unida a la mordaza inferior de la Mark-10, como se aprecia en la *Figura 6*. La célula de carga U93 se basa en un principio de membrana, lo que significa que las galgas extensométricas están montadas en el interior del alojamiento de la célula. El diseño de la membrana de soporte del sensor de fuerza garantiza una alta estabilidad frente a las fuerzas transversales.



*Figura 6. Célula de Carga HBM U93 (Elaboración propia)*

Esta célula de carga está conectada a una tarjeta **NI 9237** (véase *Anexo 4. NI 9237*) encargada de leer la fuerza ejercida sobre la probeta. Esta, a su vez, está controlada mediante un programa realizado en LabView y diseñado para captar datos a una frecuencia que puede ser modificada para cada ensayo, véase *“Anexo 3. LoadCell LabView”*.

## 2.3 Sensor de desplazamiento

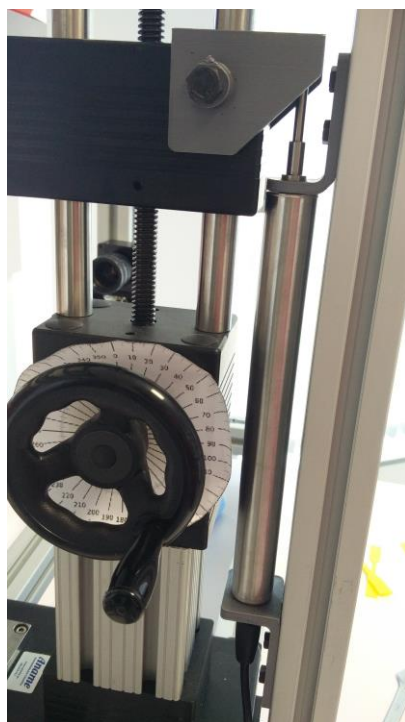
Para complementar el sistema, se ha instalado un sensor de desplazamiento, véase *Anexo 8*.

Este sensor es un palpador extensiométrico que permite la medida de rangos bajos, tiene una salida directa de puente de Wheatstone. El cuerpo del sensor cuenta con un vástago que está completamente extendido, debido a la fuerza de retorno del muelle interno. Para vencer esta fuerza hay que empujar

ligeramente el vástago hacia el interior del cuerpo, por lo tanto, actúa como un palpador.

Este sensor se podría asemejar a un LVDT en cuanto al formato, tipo palpador, salida analógica amplificada, etc., pero funciona de una manera completamente distinta, aunque consigue los mismos resultados, medidas de alta precisión.

Un LVDT es un elemento inductivo sin rozamiento, mientras que un LDT es un elemento extensométrico que mide la deformación de las bandas extensométricas internas, posee el mismo principio de funcionamiento que una célula de carga extensiométrica.



*Figura 7. Sensor desplazamiento LVDT en la máquina (Elaboración propia)*

Este principio de funcionamiento, es un puente de Wheatstone, en el cuál, se sustituye una de las resistencias por una galga extensométrica embebida en el interior del cuerpo del LDT, como se observa en la *Figura 8*.



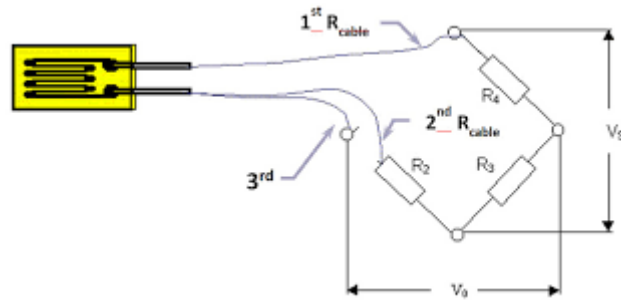


Figura 8. Puente de Wheatstone con galga extensométrica (HBM)

## 2.4 Bastidor

Para disponer de todos los anteriores elementos en un solo puesto de trabajo, se ha diseñado y montado un bastidor. Sobre el bastidor, se han colocado todos los elementos necesarios para la realización de los ensayos vistos anteriormente.

El bastidor consta de dos perfiles básicos de 40x40 unidos mediante tres travesaños, que soportan un pórtico donde va instalada la cámara. También, se ha instalado una viga vertical donde se ha colocado el sensor de desplazamiento.

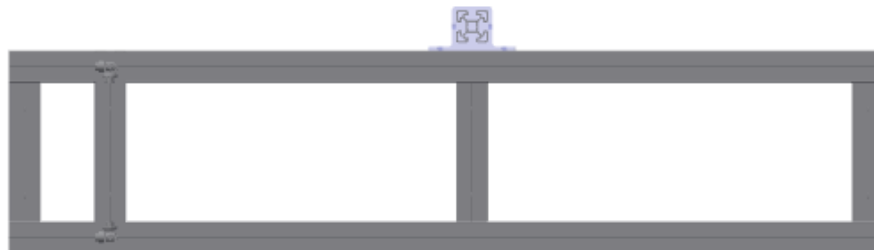


Figura 9. Planta bastidor (Elaboración propia)

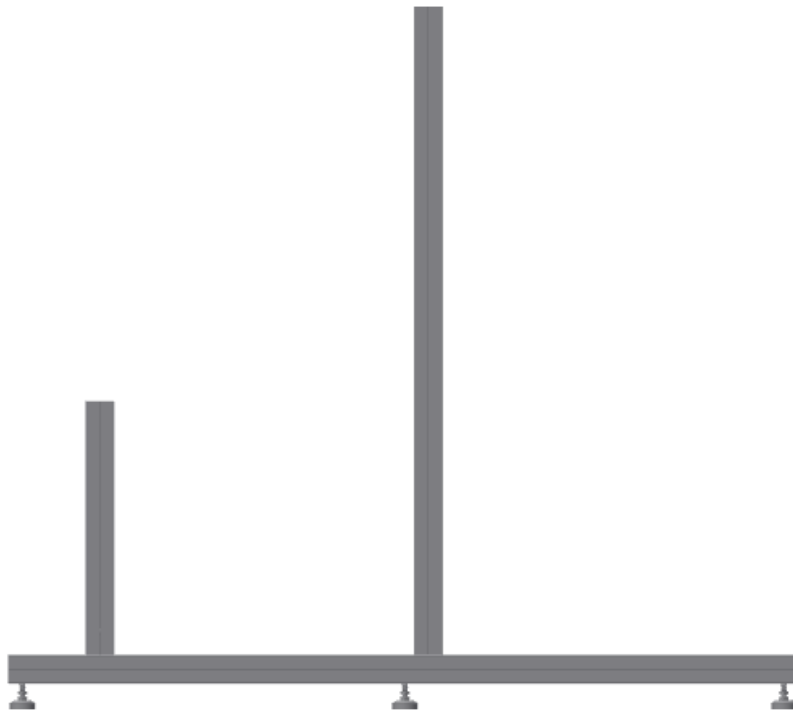


Figura 10. Alzado bastidor (Elaboración propia)



Figura 11. Bastidor en 3D (Elaboración propia)

En las figuras anteriores, se muestra el diseño del bastidor en planta, alzado y en una vista general en 3D.

El objetivo final del diseño de este bastidor es poder tener todos los elementos en un puesto fijo, donde poder hacer todo tipo de ensayos a tracción. Por lo que, el puesto quedaría como se muestra en la *Figura 12*.

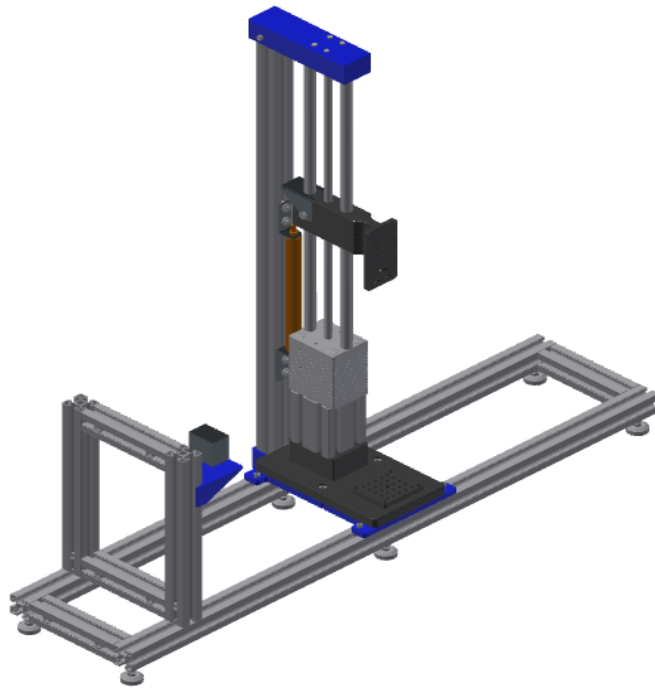


Figura 12. Sistema completo de ensayos (Elaboración propia)



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 3.Elementos Software

### 3.1 GOM

GOM es un software de tratamiento y procesado de imágenes, a través de la Correlación de Imágenes Digitales (DIC). La correlación de imagen digital (DIC) es un método óptico sin contacto para medir coordenadas 3D para la evaluación de superficies 3D, movimiento 3D y deformación. Se utilizan patrones estocásticos y / o marcadores de puntos para describir áreas de imagen discretas, que se pueden determinar con una precisión de subpíxel mediante el análisis de la información de la imagen. Con este principio, los resultados de medición de campo completo y puntuales se crean y se utilizan para una amplia gama de aplicaciones en la investigación de materiales y pruebas de componentes para determinar el comportamiento estático y dinámico de las muestras, como el desplazamiento o la deformación. Por lo tanto, DIC permite una investigación analítica del comportamiento complejo de cualquier objeto de prueba. Consta de dos programas: GOM Snap 2D y GOM Correlate. Cada uno de ellos, con una función concreta en el ensayo a tracción.

Se ha utilizado este software porque consta de una versión gratuita para estudiantes en la que, es factible realizar todo lo necesario para nuestra aplicación en ensayos a tracción.

#### 3.1.1 GOM Snap 2D

GOM Snap 2D es el encargado de tomar una secuencia de imágenes, a través de una cámara, cuyas características podemos ver en el “Anexo 6. Cámara SVS exo250MU3”.

El programa consta de una interfaz donde se puede apreciar la toma de imágenes en directo, en la parte superior izquierda de la *Figura 13* y donde de fondo se aprecia una medida que se ha tomado como referencia de fondo.

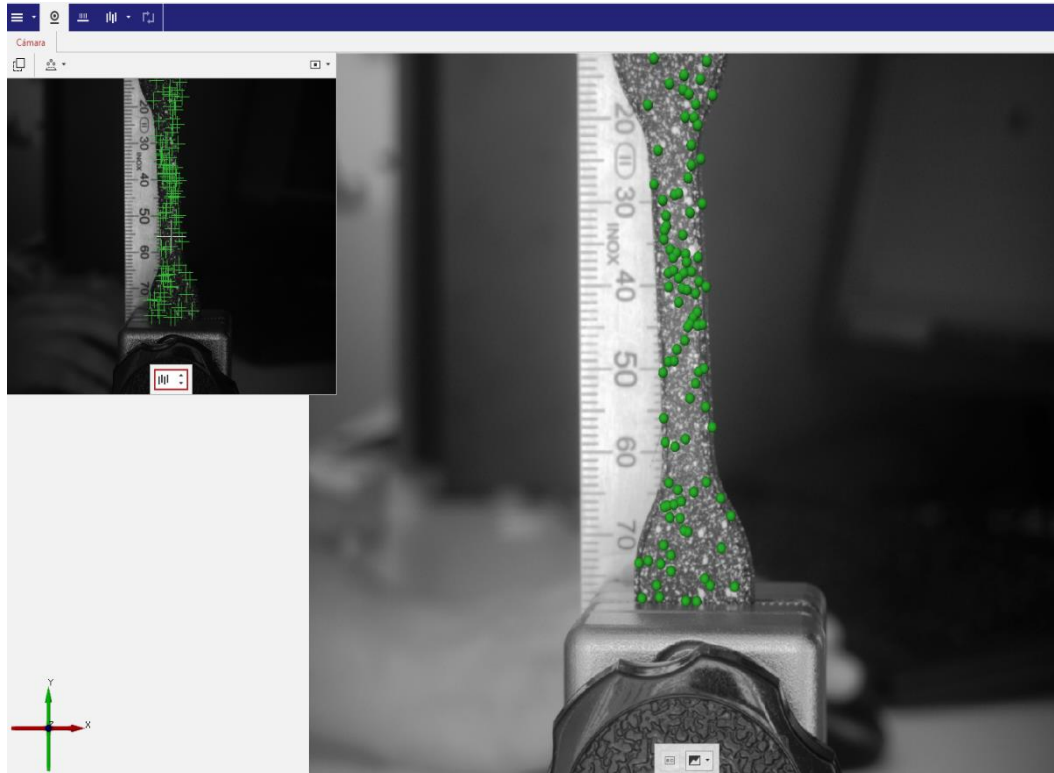


Figura 13. GOM Snap 2D (Elaboración propia)

La interfaz de este programa es fácil de usar, ya que, dispone de diferentes opciones de disparo de la cámara, esto nos ayuda a tomar una imagen de referencia, y así verificar que se ha realizado un enfoque adecuado a la luz del entorno y a la distancia entre la probeta y el objetivo de la cámara.

### 3.1.2 GOM Correlate

El GOM Correlate parte de la secuencia de imágenes tomada en el GOM Snap 2D. Este programa tiene la tarea de medir la deformación que sufre la probeta del ensayo, para ello, primero se debe elegir un área de estudio y seleccionar el tipo de medición que se desea realizar sobre ella. Como se observa en la *Figura 14*, correspondiente a la primera imagen del ensayo, en la que aún no se sometido la probeta a carga alguna.

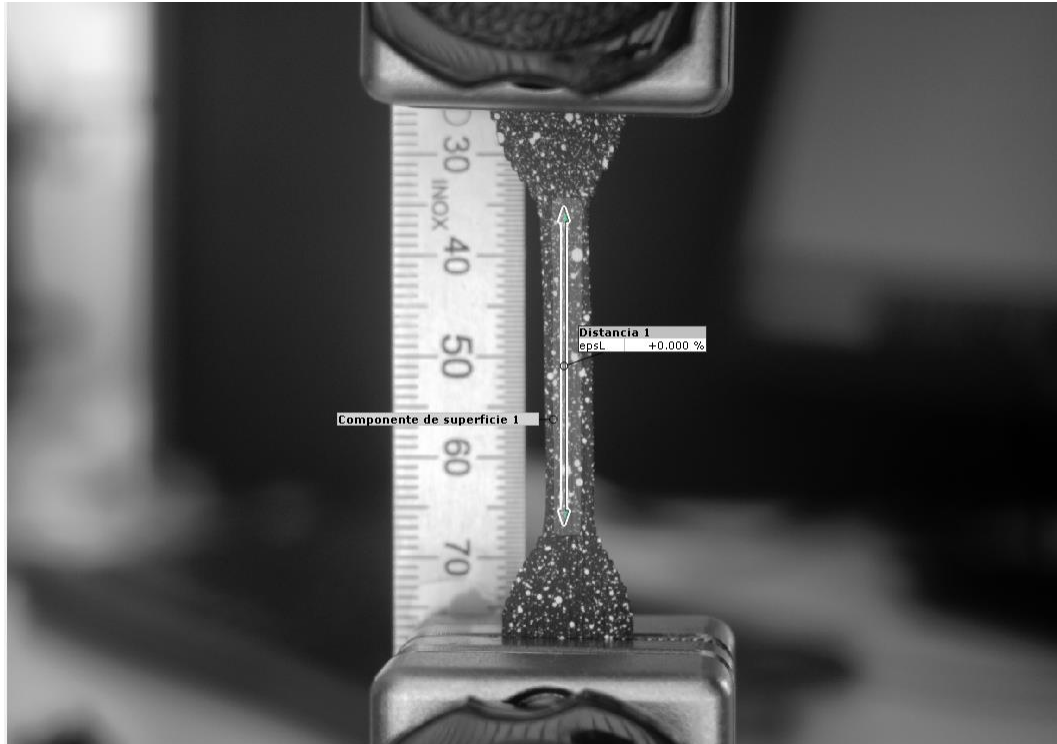


Figura 14. Principio del ensayo (Elaboración propia)

En la Figura 15, se observa el instante antes de que suceda la rotura de la probeta, por lo tanto, es la imagen donde aparece la mayor deformación en la probeta.

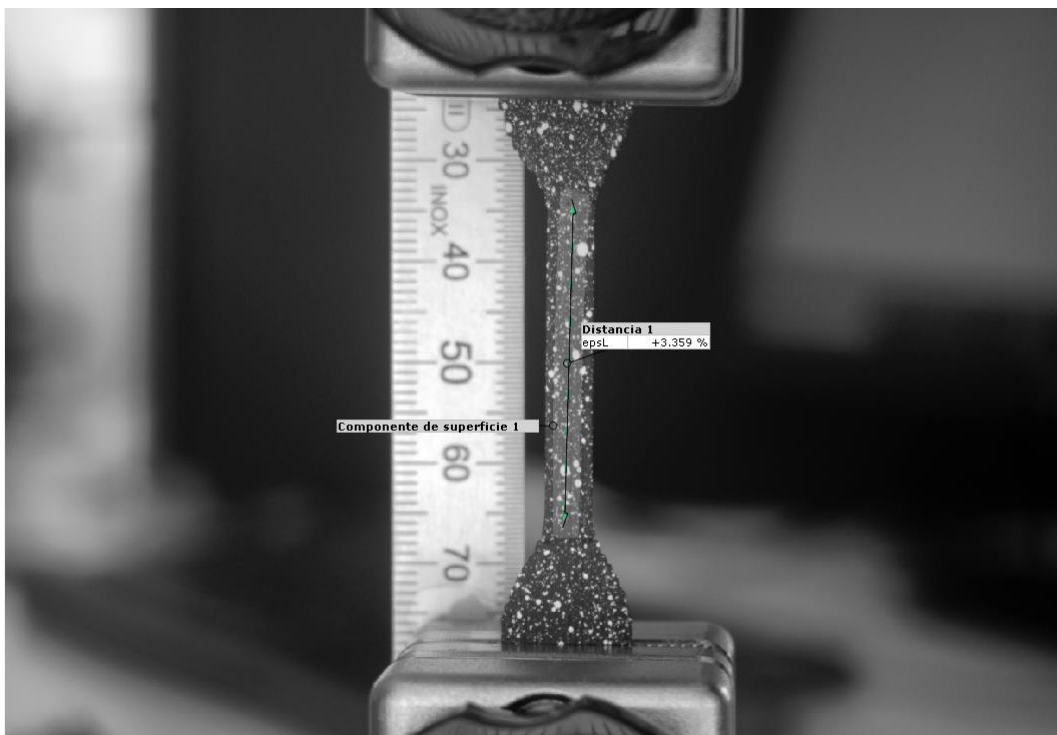


Figura 15. Final del ensayo (Elaboración propia)

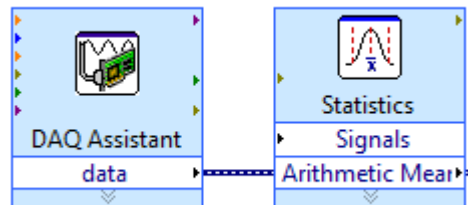
En las *Figuras 14 y 15*, se puede ver como se realiza la medición de la deformación entre dos puntos de la probeta, además de en el display del programa, se puede ver también la deformación sufrida por la probeta fijándose en la regla que aparece en dos imágenes y que está sujeta a la mordaza inferior.

### 3.2 LabView

Con el fin de recoger los datos de fuerza, dados por la célula de carga se ha diseñado un programa a través del software LabView. LabView, es un software creado por National Instruments para controlar los autómatas de la misma marca, aunque se pueden controlar sensores de otras marcas compatibles.

Este programa realizado en LabView consta de 3 partes:

- **Toma de Datos**, los dos bloques de la *Figura 16* tienen la finalidad de leer los datos, del sensor de carga y del sensor de desplazamiento, y hacer la media en cada iteración de los datos leídos. El bloque de la izquierda está programado para tomar 500 muestras cada 0,05 segundos, el bloque de la derecha calcula de esas 500 muestras el valor medio y lo envía al siguiente bloque, por lo que se obtiene un dato cada 0,05 segundos.



*Figura 16. Bloque de toma de datos y cálculo de la media (Elaboración propia)*

- **Tara**, el bloque encargado del taraje o puesta a 0, es el mostrado en la *Figura 17*. Este bloque recoge los datos del bloque que calcula la media aritmética (*Figura 16*), los almacena en un vector y en caso de estar activo el botón "TARA" se resta el vector a los datos, haciendo que el resultado sea 0.



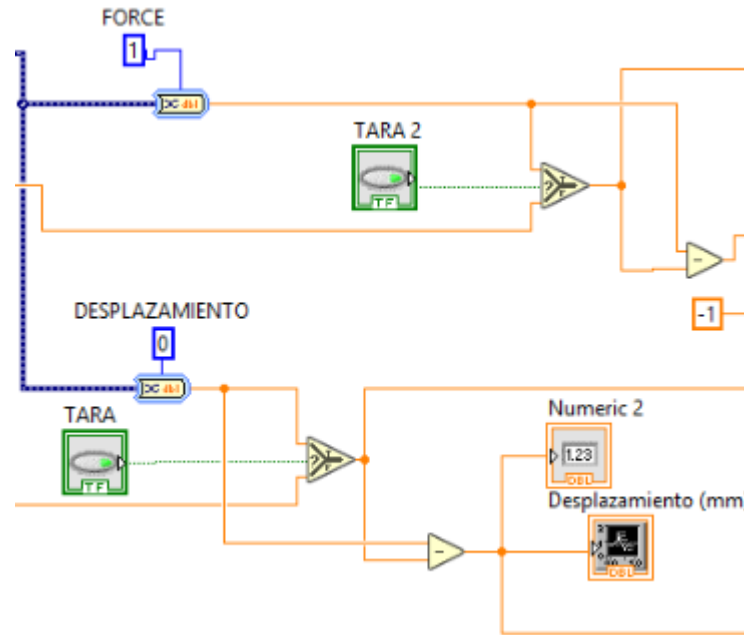


Figura 17. Bloque de taraje (Elaboración propia)

- **Obtención de los datos**, por último se envían los datos a una interfaz gráfica y al bloque de abajo a la derecha, este escribe los datos en un archivo de texto “.tdms”.

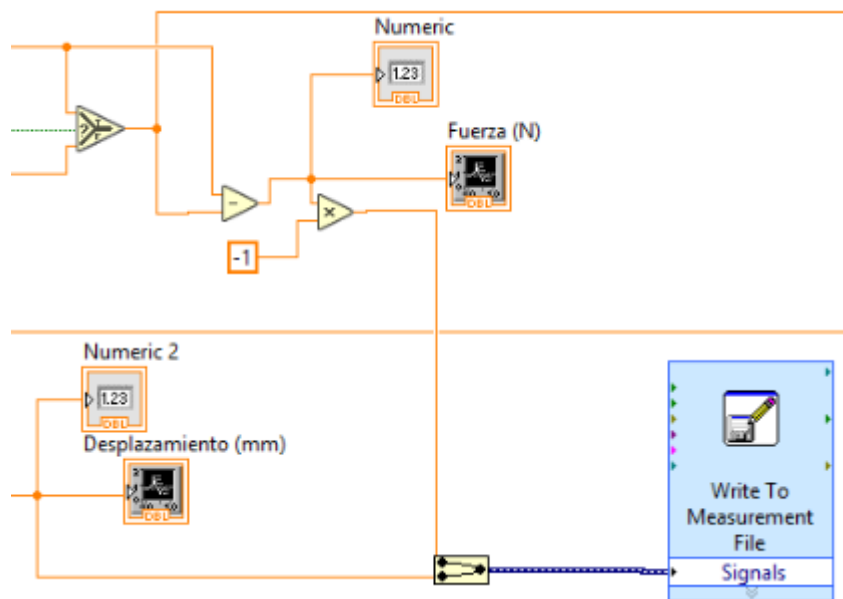


Figura 18. Obtención de los datos de la célula de carga y sensor de desplazamiento (Elaboración propia)

El programa diseñado para el control y la toma de datos de la célula de carga (*fuerza-desplazamiento.vi*), genera un archivo de texto que incluye los valores de tiempo y fuerza. Este archivo de texto puede ser leído mediante Microsoft Excel como veremos más adelante.

### 3.3 Excel

Como ayuda al procesamiento de los datos recibidos desde el GOM Correlate y el LabView, se ha diseñado un programa en Microsoft Excel capaz del procesado de datos de una forma semiautomática.

En primer lugar, se recogen los datos de tiempo y desplazamiento que proporcionados por GOM Correlate, a través de una macro que cambia la nomenclatura de los mismos de anglosajona a internacional. Esto es necesario, debido a que, el archivo de Excel en el que se trabaja, utiliza la nomenclatura internacional y los datos que obtenemos de GOM Correlate utilizan nomenclatura anglosajona.

El objetivo es que los números decimales se delimiten mediante comas (,) y los millares se delimiten por puntos (.). En la *Figura 19* se muestra el resultado de esta operación.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Tiempo [s]	Deformación Eps [%]	Tiempo Rel.				
2	0	0	0				
3	0,051	0,007995	0,051				
4	0,1	0,031938	0,1				
5	0,15	0,06363	0,15				
6	0,201001	0,093567	0,201001				
7	0,251	0,115689	0,251				
8	0,302	0,143262	0,302				
9	0,353	0,170517	0,353				
10	0,404	0,200383	0,404				
11	0,456	0,222736	0,456				
12	0,505	0,241174	0,505				
13	0,556	0,270064	0,556				
14	0,606001	0,280412	0,606001				
15	0,656	0,301945	0,656				
16	0,707	0,324828	0,707				
17	0,757001	0,349005	0,757001				
18	0,808	0,383752	0,808				
19	0,859001	0,418234	0,859001				
20	0,91	0,441004	0,91				
21	0,961001	0,473995	0,961001				
22	1,012	0,501179	1,012				
23	1,063001	0,530465	1,063001				
24	1,113	0,559785	1,113				
25	1,163	0,58121	1,163				
26	1,214	0,596247	1,214				
27	1,266	0,617123	1,266				
28	1,315	0,63809	1,315				
29	1,365	0,667032	1,365				
30	1,416	0,699984	1,416				
31	1,466	0,733475	1,466				
32	1,517001	0,759222	1,517001				

**Datos GOM**

**Datos célula**

**Copiar**

Botón que importa los datos guardados en un archivo llamado "Nuevo Proyecto.csv", el cual procede del software GOM Correlate 2018 (Cambia la nomenclatura anglosajona por la

Figura 19. Archivo Excel con datos de la deformación (Elaboración propia)

Más tarde, se utiliza una segunda macro que recoge los datos del ensayo producidos por la célula de carga, y almacenados por LabView. A su vez, se realiza la conversión del tiempo absoluto a relativo y se obtienen los datos de tensión en Megapascales, al dividir la fuerza (en Newtons) entre el área de la

sección transversal de la probeta (en mm<sup>2</sup>). Y así obtenemos los datos mostrados en la *Figura 20*.

Timepo [s]	Deformación Eps [%]	Timepo Rel.	Time	Time*	Force[N]	Desplazamien	Tensión [MPa]
154,925001	0	0	27/09/2019 10:28:53,390 AM	0	0	0	0
154,975001	0,002531	0,05	27/09/2019 10:28:53,440 AM	0,04986583	0,00377573	0,033580386	0,000457332
155,026001	0,004954	0,101	27/09/2019 10:28:53,490 AM	0,10000449	0,012452751	0,064430484	0,001508327
155,076001	0,005804	0,151	27/09/2019 10:28:53,541 AM	0,15113263	0,011205222	0,094080558	0,001357222
155,126001	0,007326	0,201	27/09/2019 10:28:53,592 AM	0,20122665	0,000672154	0,118573123	8,1414E-05
155,177001	0,008202	0,252	27/09/2019 10:28:53,640 AM	0,24999424	0,011258252	0,147214567	0,001363645
155,228001	0,006192	0,303	27/09/2019 10:28:53,692 AM	0,30119279	0,01699874	0,173473877	0,002058956
155,279001	0,007378	0,354	27/09/2019 10:28:53,741 AM	0,3503338	0,010832687	0,195573858	0,001312099
155,329001	0,009509	0,404	27/09/2019 10:28:53,791 AM	0,4006491	0,008891792	0,211400209	0,001077701
155,379001	0,013638	0,454	27/09/2019 10:28:53,840 AM	0,44941606	0,014951786	0,228110679	0,001811021
155,429001	0,069049	0,504	27/09/2019 10:28:53,891 AM	0,50077932	0,007880246	0,2503501	0,000954487
155,479001	0,144044	0,554001	27/09/2019 10:28:53,940 AM	0,54979082	0,01736067	0,278663396	0,002102794
155,531001	0,171797	0,606	27/09/2019 10:28:53,990 AM	0,59965728	0,002453959	0,316119154	0,000297233
155,581002	0,215477	0,656001	27/09/2019 10:28:54,040 AM	0,64965889	0,015935491	0,346062441	0,001930171
155,630002	0,258814	0,705001	27/09/2019 10:28:54,090 AM	0,69954484	0,020229588	0,371024088	0,002450289
155,682001	0,29739	0,757	27/09/2019 10:28:54,141 AM	0,7505089	0,01648435	0,398545529	0,001996651
155,732002	0,331802	0,807001	27/09/2019 10:28:54,190 AM	0,79940662	0,021904008	0,426408255	0,002653102
155,785002	0,361565	0,860001	27/09/2019 10:28:54,240 AM	0,84947676	0,032924951	0,447796403	0,003988003
155,834002	0,397507	0,909001	27/09/2019 10:28:54,291 AM	0,9006049	0,298938933	0,474923708	0,036208689
155,885001	0,429154	0,96	27/09/2019 10:28:54,340 AM	0,94936118	0,580507915	0,50059898	0,070313459
155,935001	0,464542	1,01	27/09/2019 10:28:54,392 AM	1,00118397	0,768798596	0,526480874	0,093119985
155,985001	0,508217	1,06	27/09/2019 10:28:54,440 AM	1,04999242	1,028317739	0,551442223	0,12455399
156,035002	0,542634	1,110001	27/09/2019 10:28:54,491 AM	1,1008295	1,54466343	0,575837449	0,187055861
156,085001	0,585423	1,16	27/09/2019 10:28:54,540 AM	1,14970019	2,031977891	0,596620956	0,246121353
156,136001	0,626363	1,211	27/09/2019 10:28:54,591 AM	1,20098738	2,516786889	0,613975778	0,304843349
156,185001	0,66107	1,26	27/09/2019 10:28:54,641 AM	1,25097013	2,982288619	0,635274349	0,361226819

Figura 20. Archivo Excel con datos de fuerza, desplazamiento y deformación (Elaboración propia)

Por último, mediante la última macro se abre un nuevo archivo de Excel en el cual de forma automática se copian los datos de tiempo deformación y Tensión, para después representar la gráfica Tensión-Deformación.

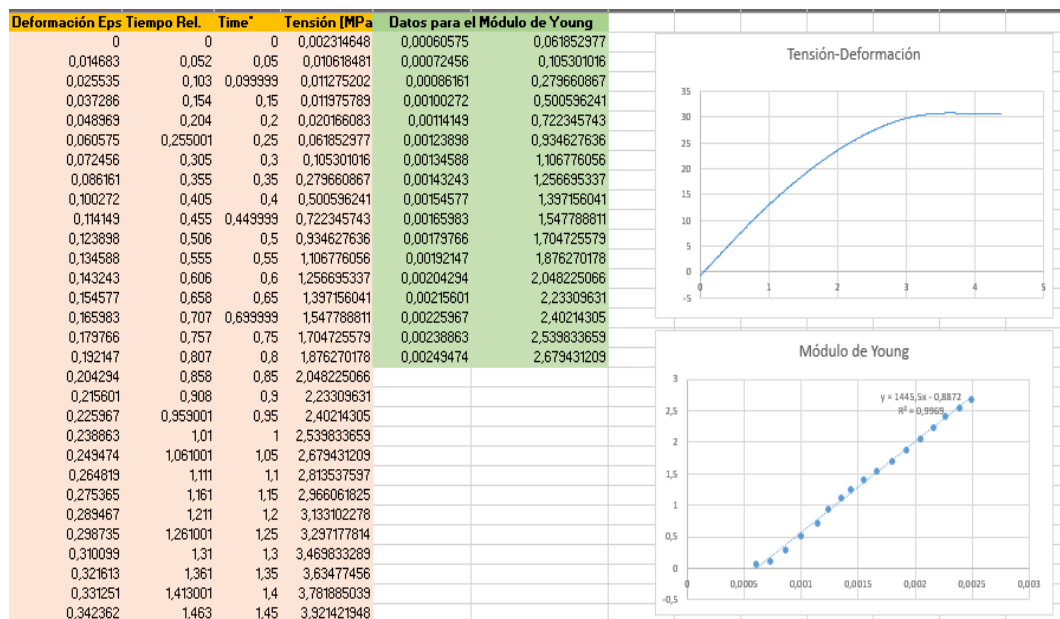
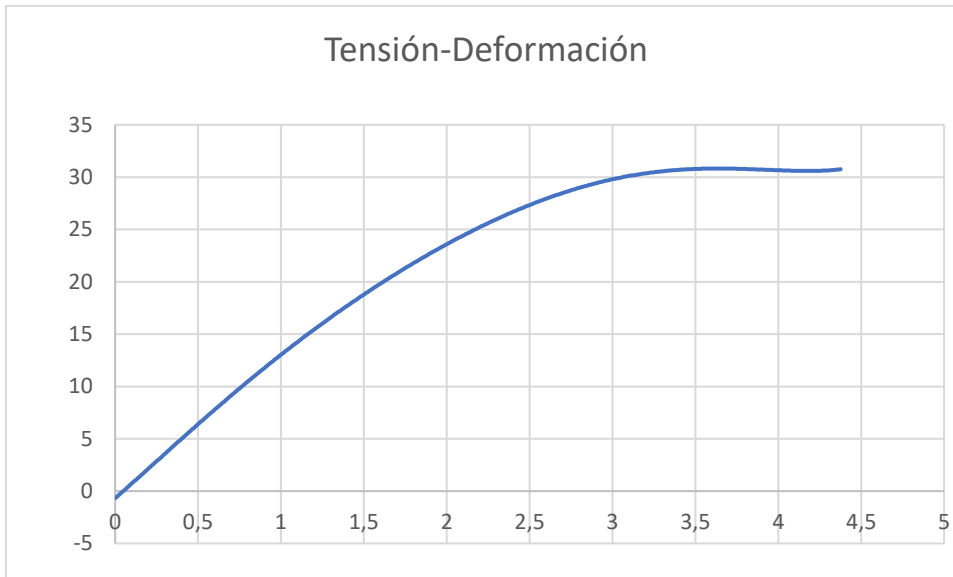
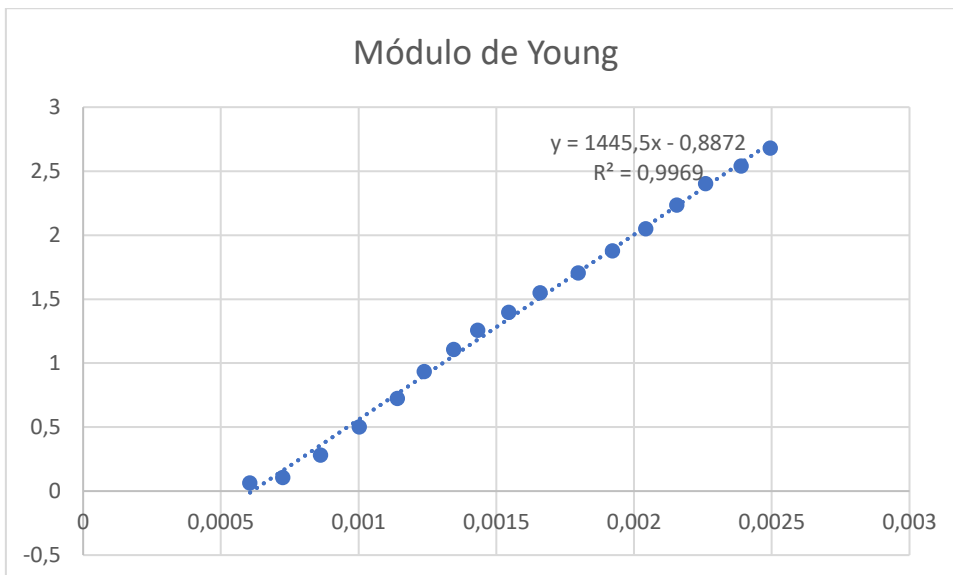


Figura 21. Archivo Excel creado para sacar el módulo de Young (Elaboración propia)

También, a través de la recta de regresión se obtiene el módulo de elasticidad o módulo de Young, Como se muestra en la *Figura 21*. En las siguientes gráficas se aprecia la curva Tensión-Deformación y la recta de regresión ajustada por mínimos cuadrados cuya pendiente es el módulo de Young.

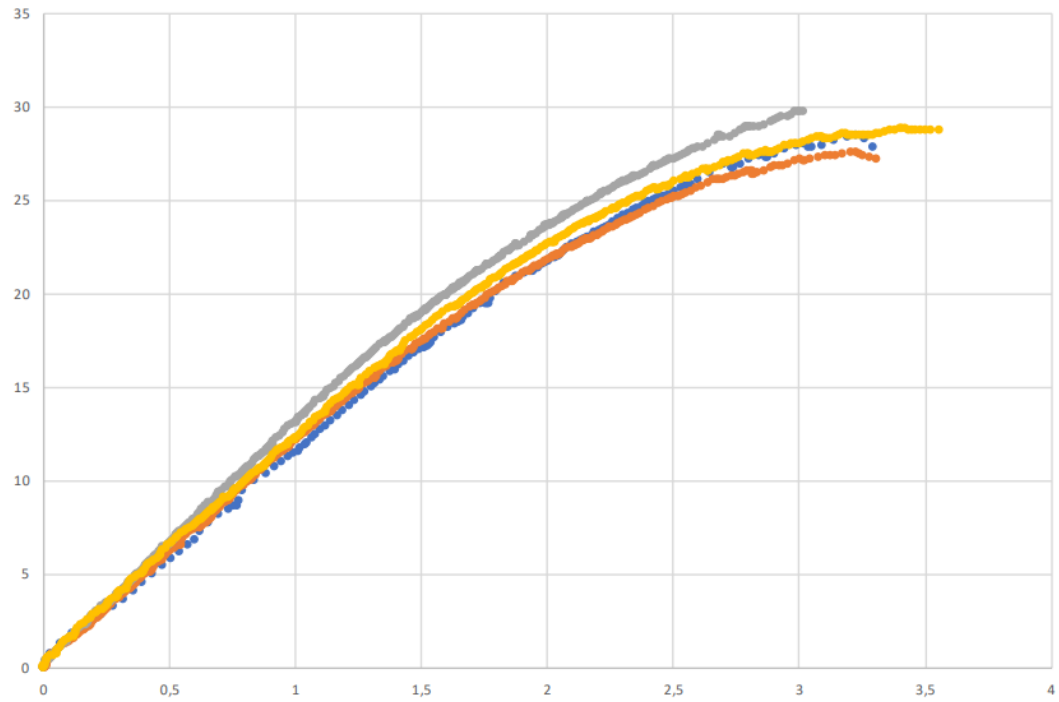


Gráfica 1. Tensión-Deformación



Gráfica 2. Módulo de Young

Con estos datos se obtendrían las características de una probeta. Como la Norma exige un mínimo de cinco ensayos para obtener datos fiables. Se debe al menos de realizar cuatro ensayos más y sacar la media, como se muestra a continuación.



Gráfica 3. Media del comportamiento de 5 probetas

Con la media del comportamiento reflejada en la *Gráfica 3* (línea amarilla) se obtiene el comportamiento del material frente a un ensayo a tracción.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 4. Aplicación al ensayo en probetas de impresión en 3D

Uno de los últimos sistemas de fabricación en auge es la impresión 3D. Se define impresión 3D como el grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material. Las máquinas diseñadas para realizar la impresión se conocen como impresoras 3D, estas impresoras convierten un modelo creado de manera digital en un objeto real con volumen gracias a lo que llamamos fabricación aditiva.

En este caso, la tecnología utilizada para la fabricación de probetas es el modulado por deposición fundida o FDM.

La popularización de la impresión aditiva, ha ocasionado el estudio de las características finales de los objetos creados a partir de la impresión 3D. Por este motivo, este TFG se centra en el estudio del comportamiento de los materiales de impresión, a ensayos de tracción.

### 4.1 FDM

La tecnología FDM cuya terminología procede de las siglas en inglés **Fused Deposition Modeling**, fue desarrollada por S. Scott Crump a finales de 1980 y comercializada en 1990 por **Stratasys®** (EE.UU.).

. La tecnología FDM se basa en 3 elementos básicos:

- Una **placa/cama de impresión** en la que se imprime la pieza.
- Una **bobina de filamento** que sirve como material de impresión, en el caso del FDM se utilizan termoplásticos.
- Una cabeza de extrusión o **extrusor**.

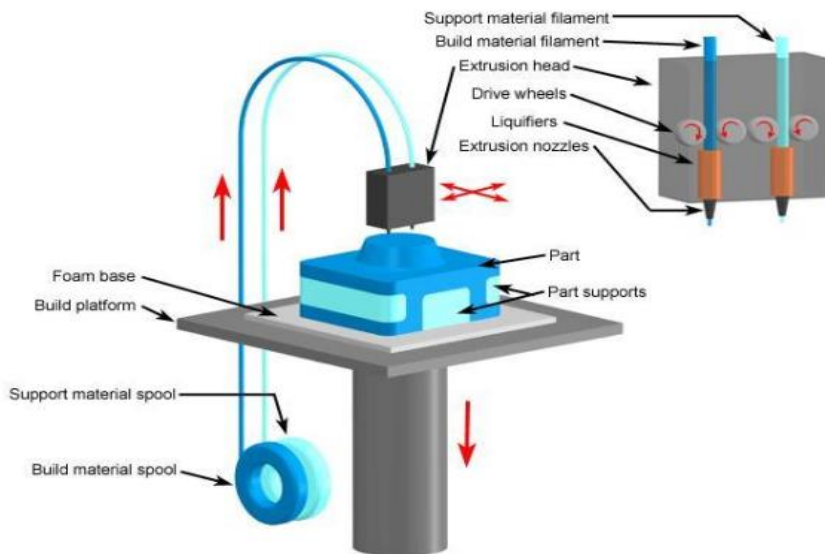


Figura 22. Esquema impresión 3D, FDM ([www.todo-3D.com](http://www.todo-3D.com))

Para realizar la impresión, el filamento es succionado y fundido por el extrusor de la impresora 3D, que deposita el material de forma precisa capa por capa sobre la cama de impresión. Es común utilizar una segunda bobina de filamento de material soporte que sea fácil de retirar (normalmente este material es soluble en agua y biodegradable).

El FDM permite crear prácticamente cualquier geometría, este es el principal motivo por el que se pueden encontrar piezas fabricadas mediante esta tecnología en muy diferentes campos.

#### 4.2 Probetas

Las probetas que se han ensayado están sujetas a la Normativa ISO 527-2, son del tipo 5A y se han impreso utilizando diferentes configuraciones con el fin de caracterizar todas las posibles variantes de impresión.



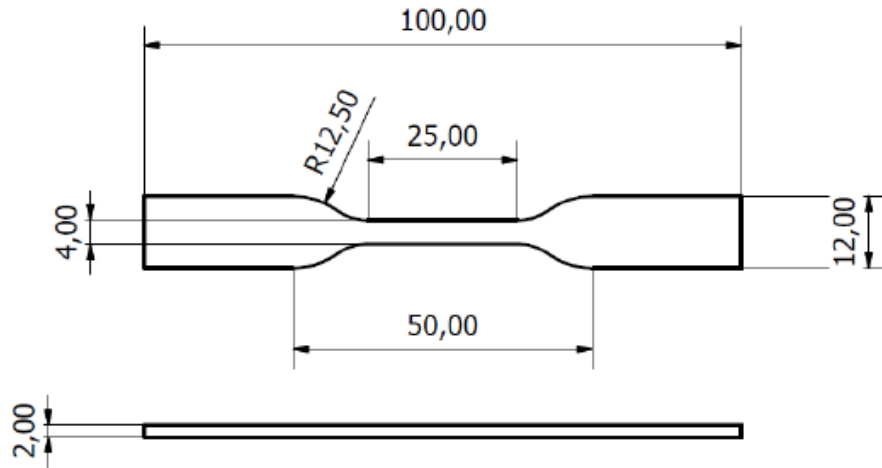


Figura 23. Esquema de la probeta tipo 5A. (Normativa ISO527)

Se ha elegido este tipo de probetas debido a que su tamaño es el más adecuado a la hora de generar una gran cantidad de muestras. Además, debido a su tamaño ofrece una alta simplicidad de fabricación, ya que las piezas impresas en FDM se hacen más inestables cuanto mayor es su altura.

#### 4.3 Influencia del proceso

Las características mecánicas de las piezas realizadas con FDM, se ven seriamente influenciadas por el patrón seguido a la hora de su fabricación.

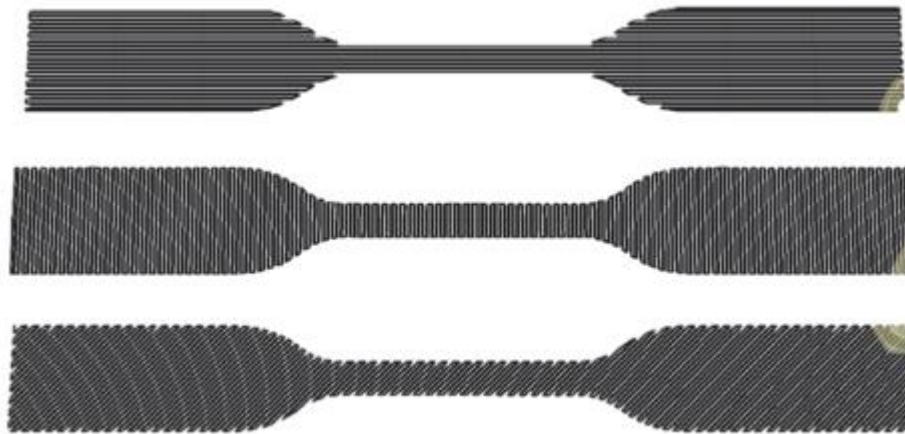


Figura 24. Patrones de impresión. (Realizada por Jorge Valentín Gamazo)

La resistencia varía significativamente en función de la combinación de las orientaciones de fibra.

También, la orientación según la cual se imprimen las probetas, en algunos casos dictamina la dirección de la fibra además de otros factores como el tiempo dedicado a la fabricación, el grosor de cada capa de material o la adhesión entre capas.

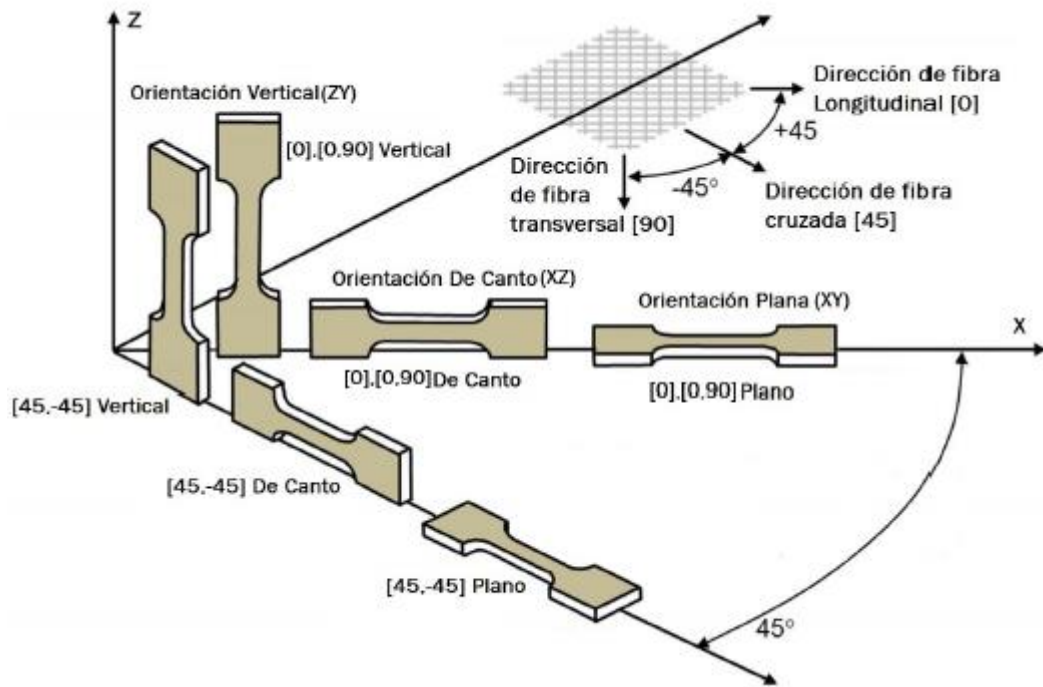


Figura 25. Dirección y orientación de impresión. ([www.addi.ehu.es](http://www.addi.ehu.es))

Los estudios realizados con la máquina de ensayos protagonista en este TFG, dirán con qué parámetros se obtienen las mejores características mecánicas para cada tipo de material.

## 5. Manual de uso

Este manual de uso se ha realizado, con el objetivo de agilizar el aprendizaje a la hora de ensayar probetas a tracción. El ensayo se realizará con la tecnología disponible en el laboratorio **4Inn®**.

En primer lugar, debemos disponer de:

- Programa LabView “*fuera-desplazamiento.vi*” (Anexo 3).
- GOM Correlate.
- Máquina de ensayos Mark-10 ES30 (Anexo 1).
- Cámara SVS exo250MU3 (Anexo 6).
- Microsoft Excel.

### 5.1 Procedimiento previo al ensayo

Antes de empezar a ensayar se deben preparar todos los elementos que se usarán a lo largo del ensayo. A continuación, se explican estos procedimientos.

#### 5.1.1 Probetas

Una vez impresa la probeta, se debe pintar con spray de color negro, al ser un método rápido y que no genera daños significativos. Primero, se le aplica una capa de color negro. Una vez que la capa de negro se ha secado, con el spray de color blanco pintar la probeta con cuidado y presionando ligeramente la boquilla para que solo se adhieran a la probeta pequeñas motas de color blanco, como aparece en la *Figura 26*.



*Figura 26. Probeta con moteado blanco (Elaboración propia)*

Con la ayuda de un micrómetro, medir y anotar la sección de la probeta en la zona en la que previsiblemente, aparecerá la rotura.

#### ❖ Sujeción

Se debe colocar la probeta en las mordazas de la máquina de ensayos. La mordaza inferior tiene una guía en la cual se debe colocar la probeta hasta tocar el fondo de la guía. Una vez colocada la probeta, apretar los cierres para sujetar bien la probeta, para ello, primero se aprieta a mano y después con la ayuda de una llave de métrica 11 ajustar lo máximo el cierre con cuidado de no

dañar la probeta, para que, a la hora de ensayar no se suelte, como se aprecia en la *Figura 27*.



*Figura 27. Ajuste de las mordazas (Elaboración propia)*

### 5.1.2 Ajuste de la imagen

Abrir GOM Snap 2D, crear un nuevo proyecto e iniciar el sensor (a partir de ahora cámara) clicando en:



*Figura 28. Menú GOM Snap 2D (Elaboración propia)*

Aparecerá una ventana donde el programa busca la cámara y la deberá de encontrar automáticamente, después aparecerá una ventana con la imagen captada por la cámara en directo.

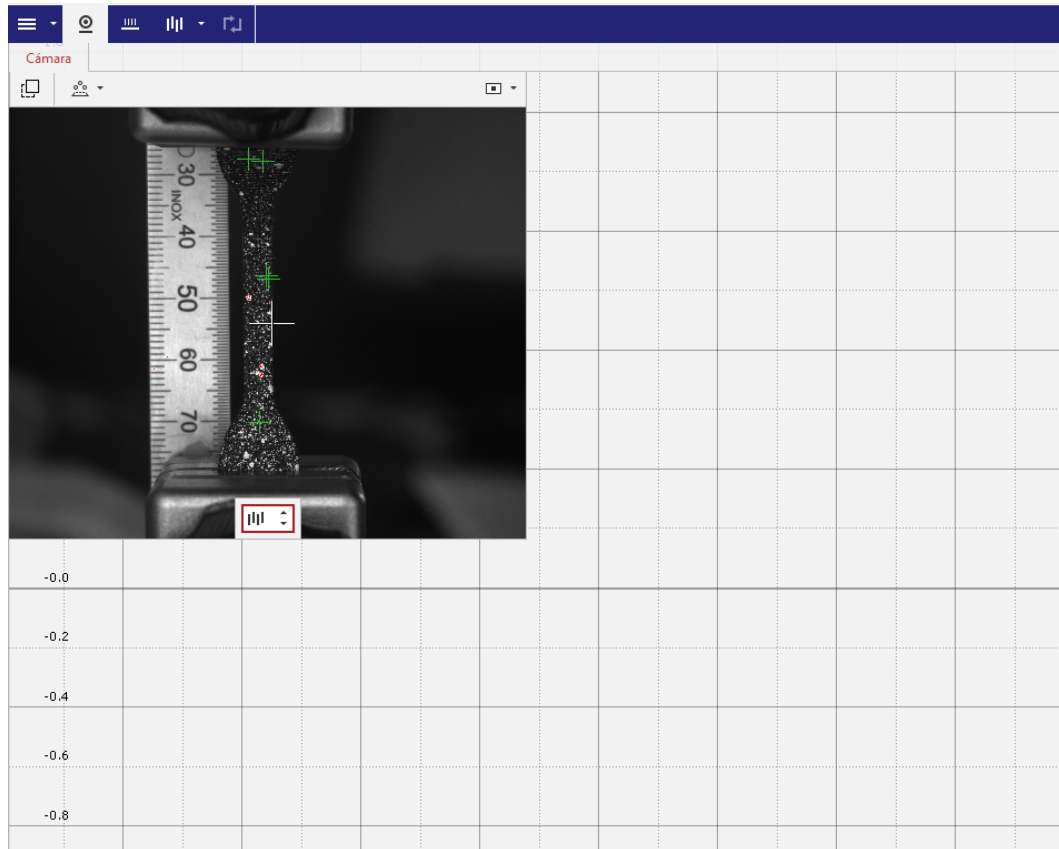


Figura 29. Imagen en directo GOM Snap 2D (Elaboración propia)

Tomando como referencia la imagen en directo, enfocar lo máximo posible la cámara evitando la saturación de la imagen, aparecerán en rojo las partes blancas de la imagen, *Figura 30*. Es conveniente, hacer zoom sobre la zona de interés de la probeta y verificar que se ha enfocado correctamente. Es recomendable, realizar una medición de referencia para verificar que se están tomando correctamente las imágenes. Una vez que se ha asegurado de que las imágenes van a ser claras, y que se dispone de un área de puntos lo suficientemente grande para obtener datos fiables, realizar el ensayo.

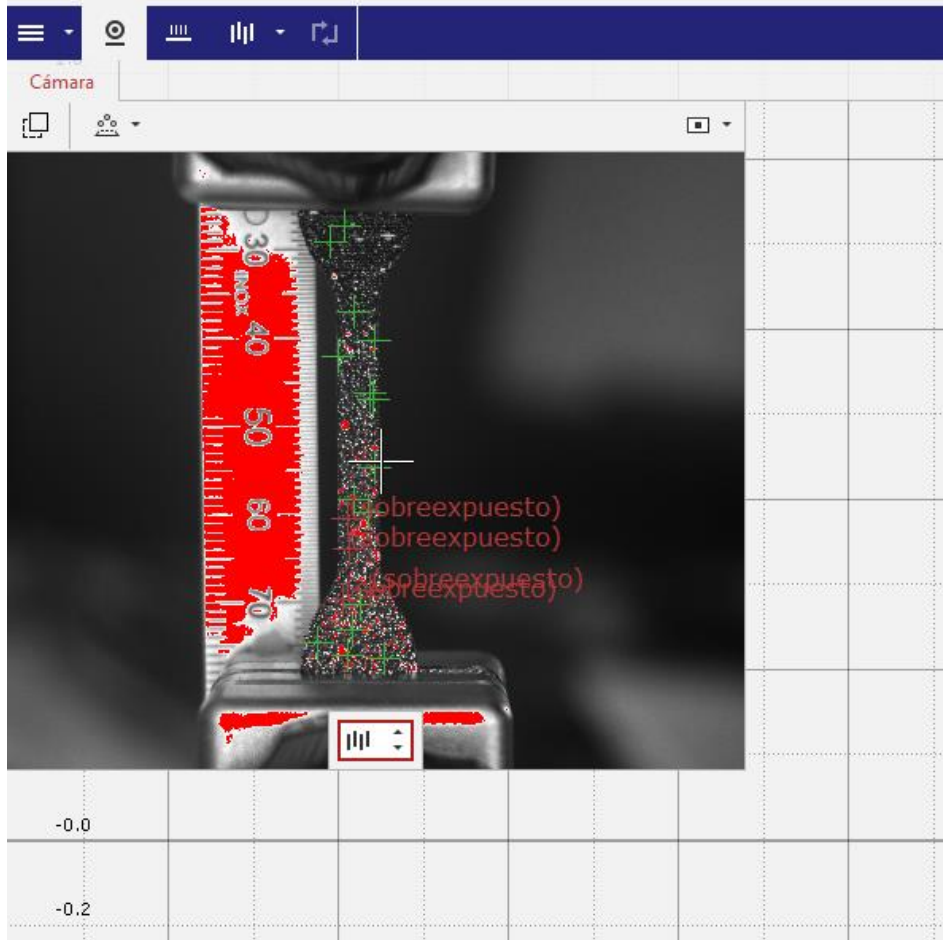


Figura 30. Saturación de la imagen (Elaboración propia)

Para realizar el ensayo, primero se debe elegir la frecuencia de toma de imágenes. Esta frecuencia se calcula según la Norma ISO 527-1, vista anteriormente. En el caso de la cámara, se debe seleccionar también el número de imágenes que se desea tomar, se recomienda si se desconoce el comportamiento de la probeta tomar un número alto de imágenes, para no perder información, *Figura 31*.

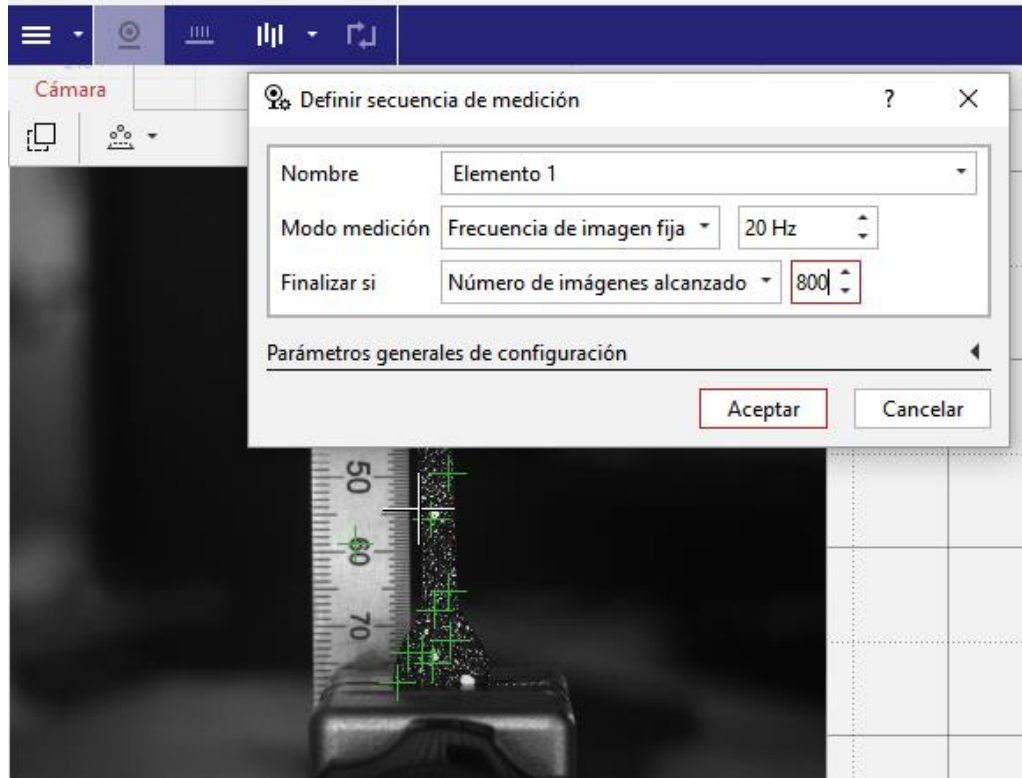


Figura 31. Frecuencia y número de imágenes (Elaboración propia)

### 5.1.3 Ensayo

Antes de comenzar la toma de imágenes desde GOM Snap 2D, se debe de iniciar la captura de los datos de la célula de carga (↵). Para ello, abrir el programa de lectura (*fuerza-desplazamiento.vi*) Figura 32, arrancar la toma de datos y tarar el sistema. Al tarar la toma de datos, se elimina la posible carga debida al peso de la mordaza inferior, como se observa en la gráfica de la Figura 33.

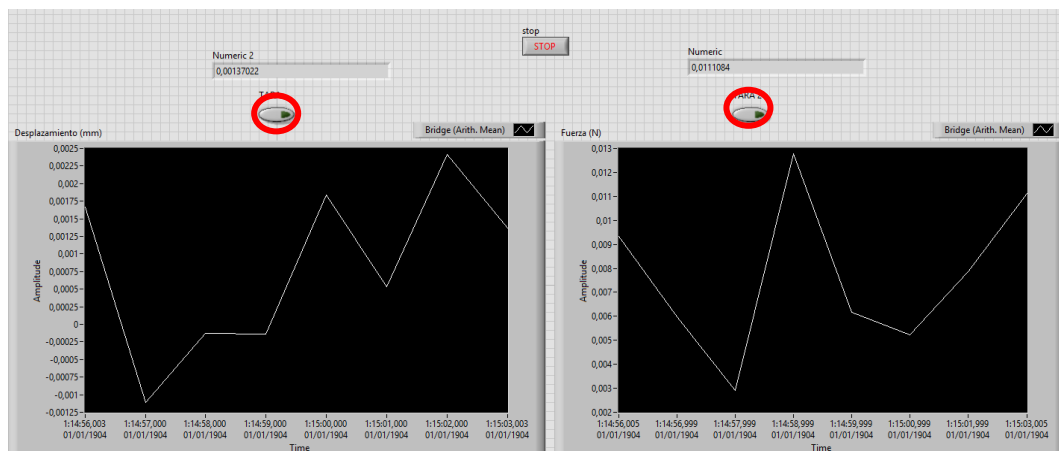


Figura 32. Interfaz fuerza-deplazamiento.vi (Elaboración propia)

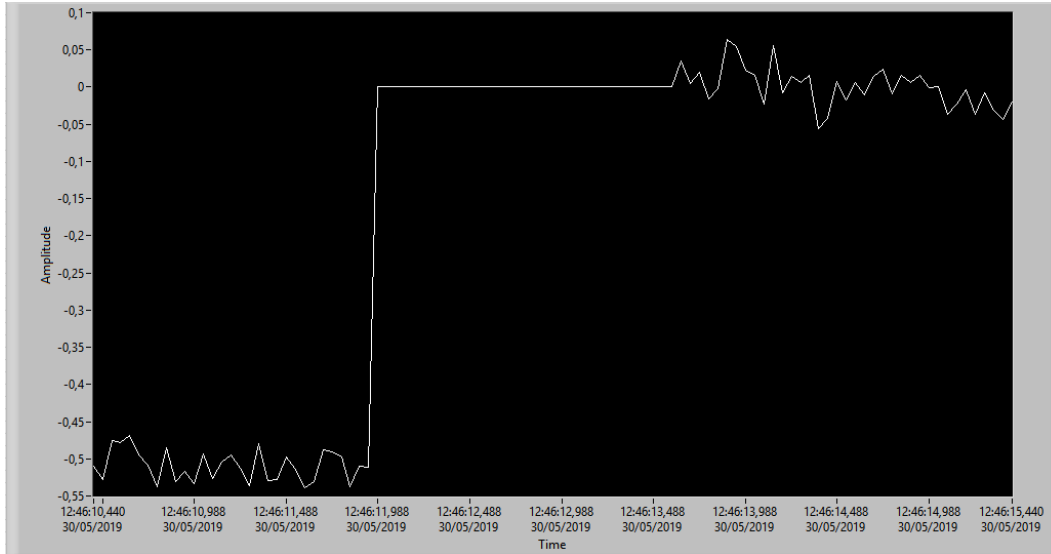



Figura 33. Inicio y tara de la célula de carga (Elaboración propia)

Una vez se haya tarado la toma de datos, arrancar la toma de imágenes clicando en “Aceptar” en el GOM Snap 2D, y a la vez ir aplicando tracción haciendo girar la manivela de la Mark-10 ES30.

Una vez haya roto la probeta, detener la captura de datos de LabView (STOP). Sobre la línea de tiempo del Snap 2D, clicar con el botón derecho y dar a “Gestionar pasos”, eliminar todas aquellas imágenes de la probeta rota, Figura 34. Para eliminar las imágenes no deseadas, seleccionar dichas imágenes y pulsar  (Consejo: dejar alguna imagen con la probeta rota para más adelante ver por donde parte), guardar el archivo de GOM Snap 2D y arrancar GOM Correlate.

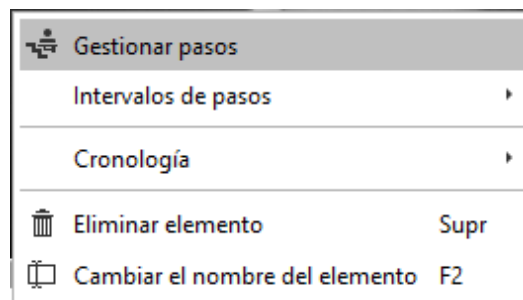


Figura 34. Gestionar Pasos (Elaboración propia)

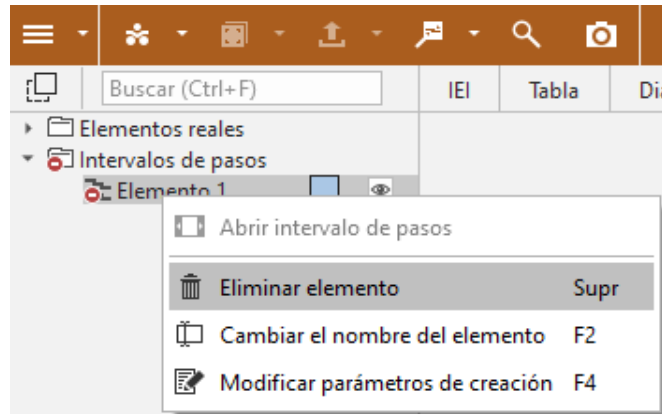
#### 5.1.4 Procesado

##### ❖ Procesado de imágenes

GOM Correlate será el encargado de medir la deformación de la probeta a partir de las imágenes tomadas.

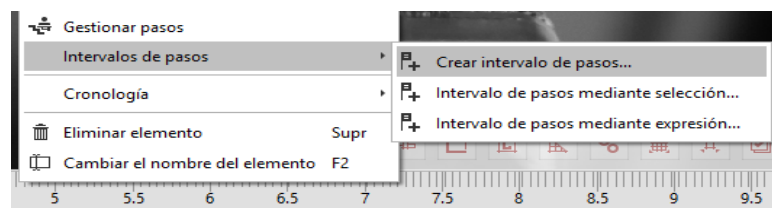


Para trabajar sobre las imágenes, desde el Correlate, abrir el archivo de Snap 2D guardado previamente. Una vez abierto, eliminar el intervalo que crea por defecto el Correlate, clicando con el botón derecho sobre “Elemento 1”, como se muestra en las *Figura 35*.



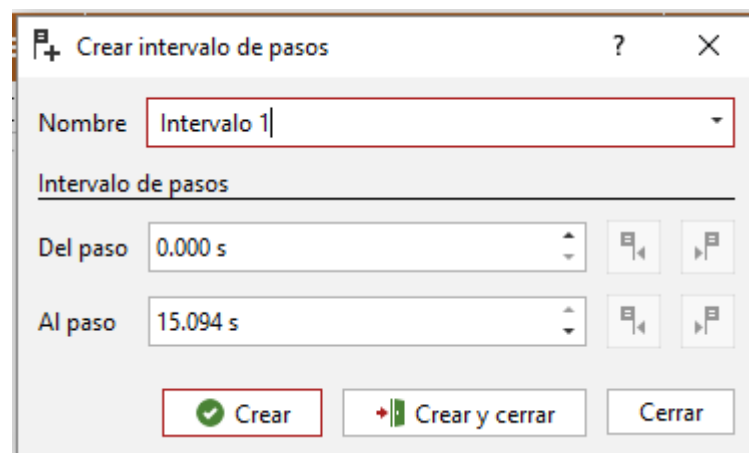
*Figura 35. Eliminar intervalo (Elaboración propia)*

Una vez eliminado el intervalo, se crea un nuevo intervalo con todas las imágenes disponibles. Para ello clicar sobre el eje temporal con el botón derecho del ratón, “Intervalo de pasos” → “Crear intervalo de pasos...”, *Figura 36*.



*Figura 36. Intervalo de pasos (Elaboración propia)*

Seleccionar el intervalo total, realizando la operación mostrada en la *Figura 37*.



*Figura 37. Selección del intervalo a estudiar (Elaboración propia)*

Se debe de tomar una distancia de referencia, para ello seguir los pasos mostrados en las Figuras 38, 39 y 40.

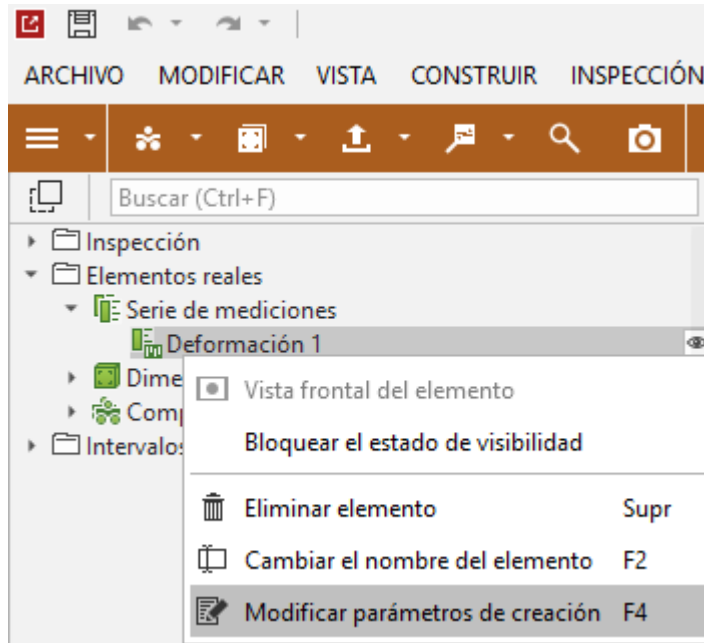


Figura 38. Hacer click derecho sobre "Deformación1" (Elaboración propia)

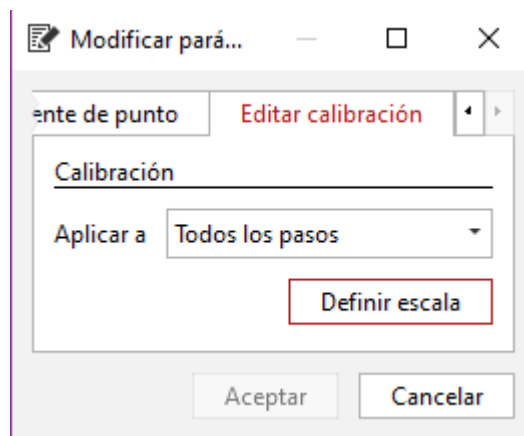


Figura 39. Editar calibración y Definir escala (Elaboración propia)

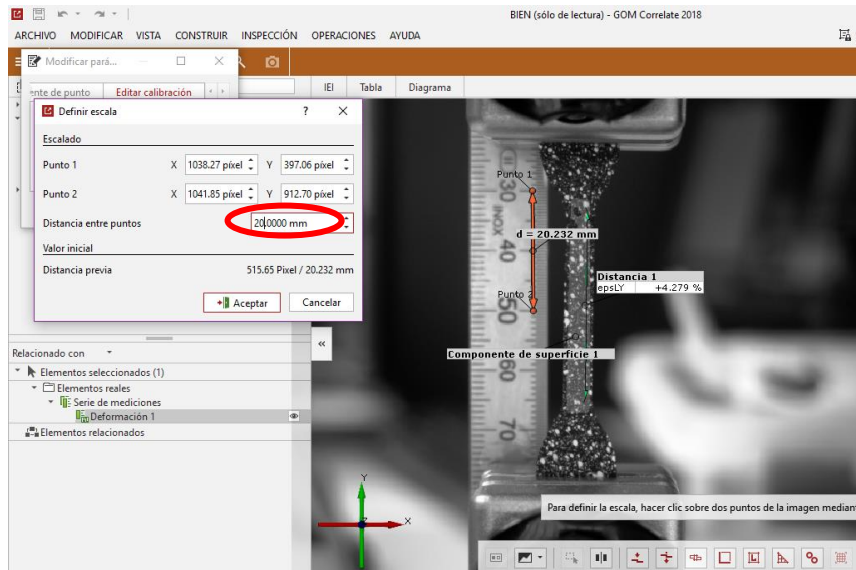



Figura 40. Definir distancia real (Elaboración propia)

En la *Figura 40* se aprecia que la medida captada por el GOM Correlate es similar a la medida real. La función de la regla adherida al sistema no es otra que, definir la distancia real entre puntos como se hace en la *Figura 40*, donde fijamos que la distancia entre los dos puntos tomados es 20 mm.

Seleccionar un área de estudio representativo de la probeta, para ello pulsar



en el icono , y clicando en cada arista del polígono que se desea tomar como superficie, se dibuja la superficie y cuando se desee terminar el polígono pulsar “Ctrl + clic derecho del ratón”, se obtiene la *Figura 41*.

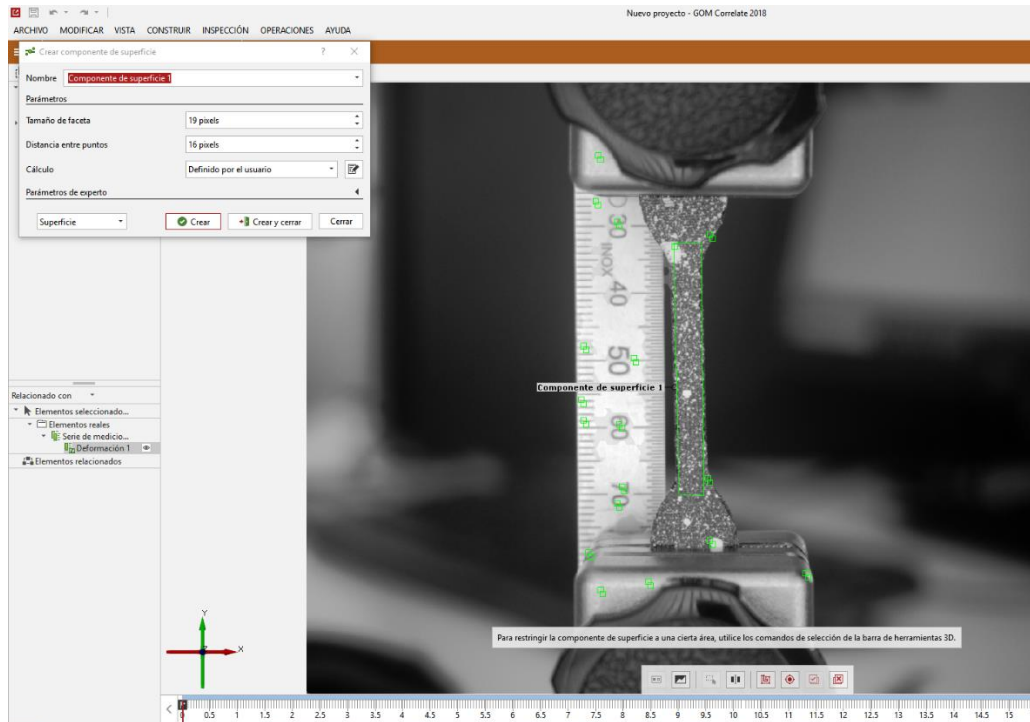


Figura 41. Toma de superficie de estudio Snap 2D (Elaboración propia)

Una vez seleccionada la superficie deseada, crearla. Aparecerá la superficie seccionada en un tono más claro que el resto de la imagen como se observa en la Figura 42.

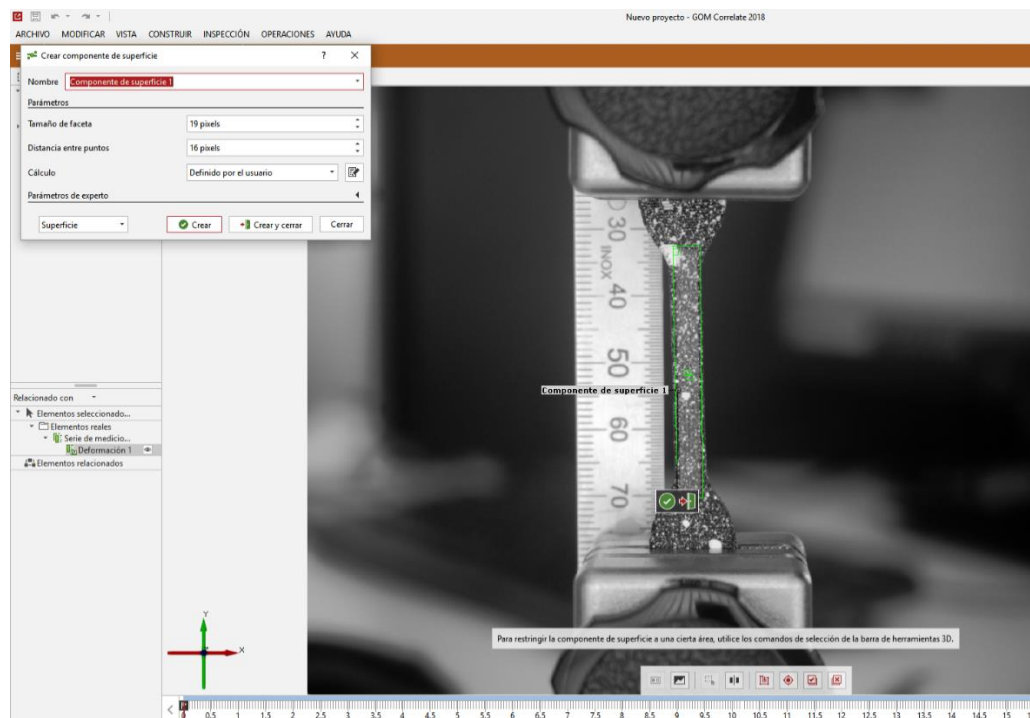


Figura 42. Superficie de estudio Snap 2D (Elaboración propia)

Una vez tomada el área, se elegirá la deformación que se desea medir, en este caso se ha seleccionado deformación en el eje Y (la tracción se aplica en ese eje), para ello clicar sobre “Construir” → “Distancia” → “Distancia de dos puntos”. Seleccionando dos puntos en el eje longitudinal de la probeta, colocar el display de medida porcentual como se ve en la *Figura 44*, para ello, seleccionar el icono de la *Figura 43*.

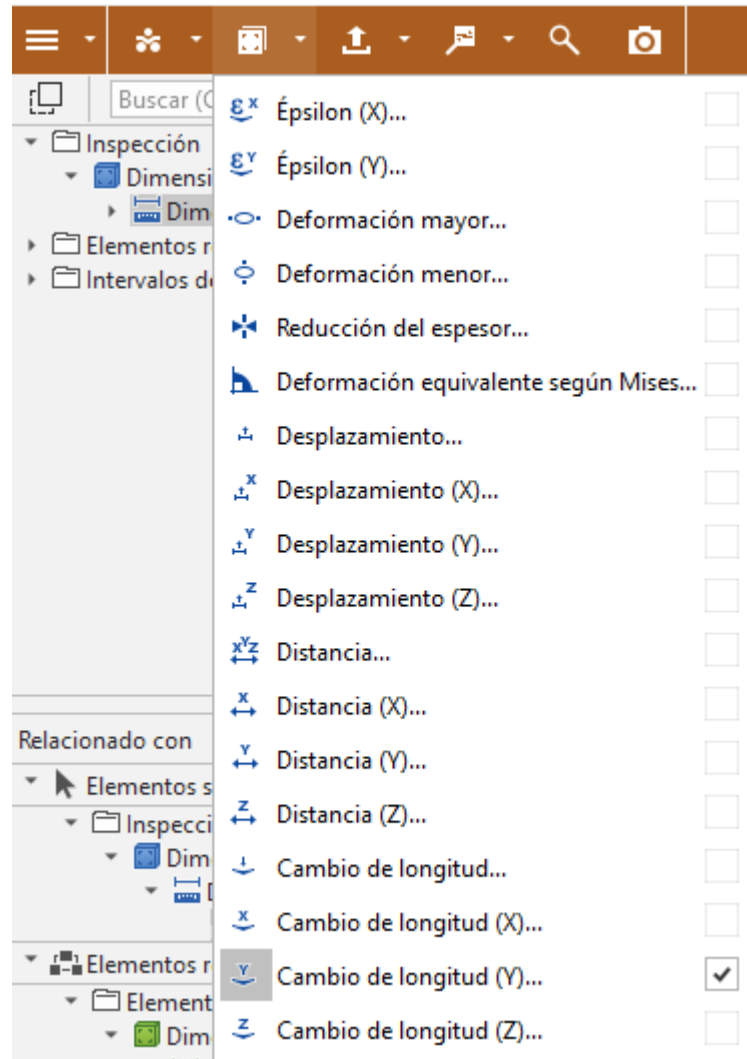


Figura 43. Selección de parámetros (Elaboración propia)

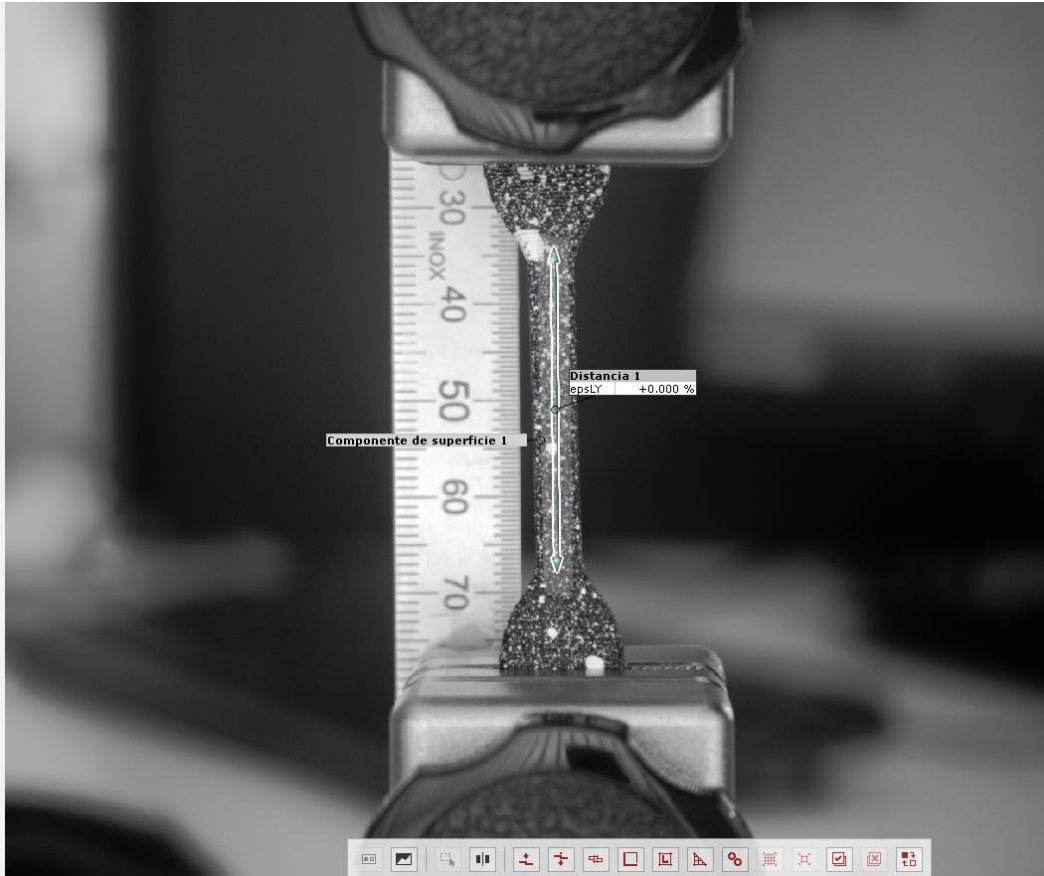


Figura 44. Deformación en el inicio del ensayo (Elaboración propia)

Si se mueve el cursor por el eje temporal, el cual se encuentra en la parte inferior de la pantalla de GOM Correlate (ver Figura 45), se llega a la última imagen antes de la rotura del material, y se aprecia el porcentaje de deformación que ha sufrido la probeta antes de romperse, Figura 45.

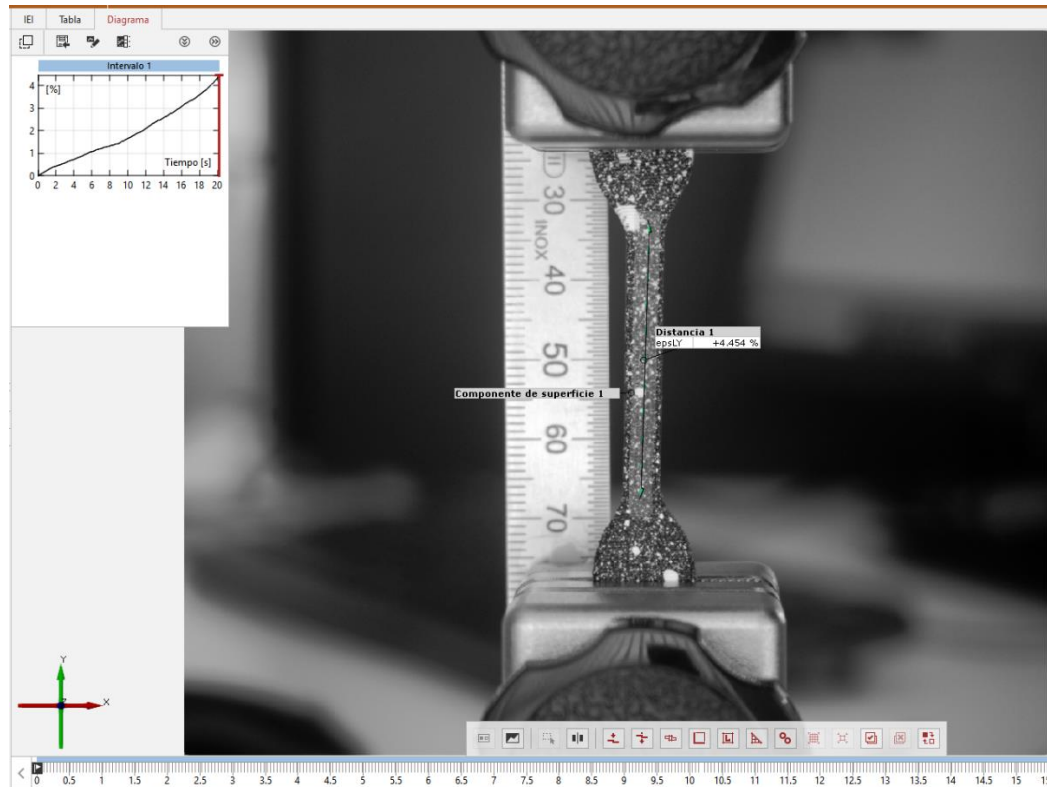



Figura 45. Deformación en el final del ensayo (Elaboración propia)

En la figura anterior también se muestra un gráfico en el cual, desplazando el cursor, se observa cómo avanza la deformación en función del tiempo. Exportar los datos a un archivo “.csv”, manipulable a través de Microsoft Excel, mediante el icono  .

#### ❖ Procesado de datos

Lo primero de todo es, abrir el archivo creado por LabView “1.tdms” y en la pestaña “Untitled” guardar el archivo en : “C/Escritorio/LoadCell 2013/Guardar Excel celula de carga”, con el nombre “p1.xlsx.” (directorio correspondiente al ordenador fijado al lado de la máquina de ensayos).

Con todos los datos manipulables mediante Microsoft Excel, para que resulte más fácil y sencillo el procesamiento de los datos, se ha realizado un programa en Microsoft Excel capaz de realizar diferentes funciones.

Antes de hacer nada poner el área de la sección transversal medida anteriormente en la casilla específica del archivo Excel. Ejemplo:

**Sección**  
**8,2821**

Este programa realiza diferentes funciones programadas en lenguaje VBA y vinculadas a 3 botones. Cada uno de ellos tiene una función específica:

- **Datos GOM** Este botón copia los datos de deformación obtenidos del GOM Correlate. Previamente, cambia la nomenclatura de los datos de anglosajona a internacional para poder trabajar más adelante con ellos.
- **Datos célula** Copia los datos obtenidos desde la célula de carga, el sensor de desplazamiento, calcula el tiempo relativo del ensayo y pasa de fuerza aplicada a tensión aplicada, multiplica la fuerza en cada instante con el área de la sección transversal previamente medida.
- **Cálculos** Al clicar en este botón se abre un nuevo archivo de Excel. A su vez se crean dos gráficos, el primero en crearse es la gráfica Tensión-Deformación, donde se puede apreciar el comportamiento elástico de la probeta. Y el segundo, es un gráfico mediante el cual obtenemos el módulo de Young del material utilizando el ajuste por mínimos cuadrados y calculando la pendiente obtenemos el módulo de Young:

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

Esta ecuación solo es válida para valores de deformación del 0,05% al 0,25%.

Por lo que el archivo con los datos finales del ensayo quedaría como la *Figura 46*. En la cual, se puede ver cómo han sido seleccionados, para hallar el módulo de Young, únicamente los valores de deformación comprendidos entre el 0,05 y el 0,25 %.

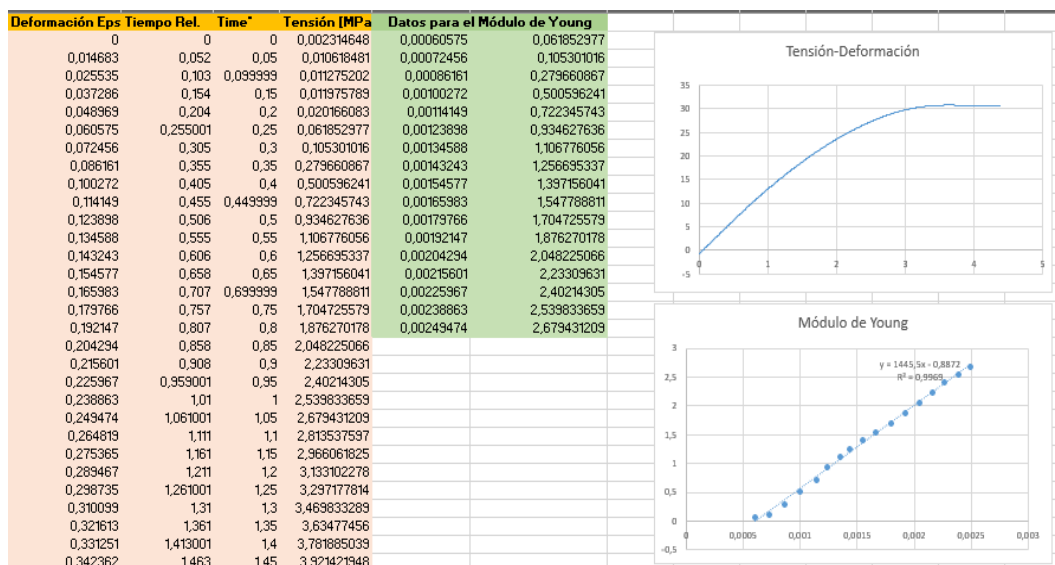
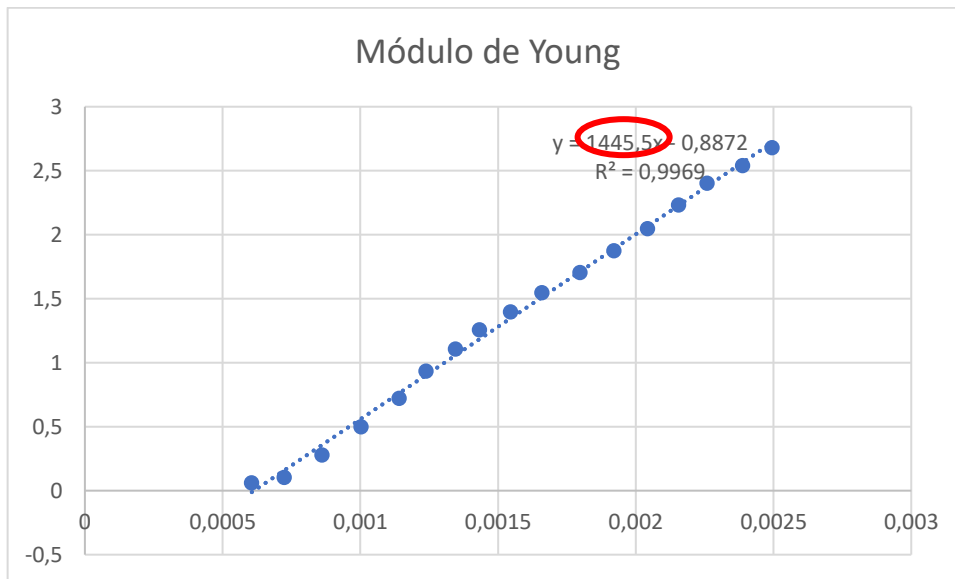


Figura 46. Archivo final (Elaboración propia)



Y el módulo de Young que aparece como la pendiente de la recta ajustada por mínimos cuadrados reflejada en la *Gráfica 4 "Módulo de Young"*, por lo tanto, en el ejemplo sería 1445,5 MPa:



Gráfica 4. Resultado final del ensayo

Con la obtención de estos datos concluiría el ensayo. Para seguir ensayando probetas, volver al principio del manual y repetir el procedimiento.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 6. Conclusiones

De acuerdo con los objetivos planteados al inicio del proyecto, se exponen a continuación los resultados obtenidos:

- Se ha adecuado un entorno en el que poder ensayar todo tipo de probetas a tracción. Además, este entorno esta adecuado para posibles ampliaciones y modificaciones del sistema como, por ejemplo, la implementación de un motor que controle el giro de la manivela, o una estructura con la que poder realizar ensayos a flexión.
- Mediante la realización de ensayos se ha caracterizado el copoliéster de polietileno tereftalato glicol de extrusión (PETG), cubriendo todo el rango de parámetros de impresión, relleno, temperatura y orientación de la fibra.
- El manual de ensayo realizado se ha probado con compañeros del laboratorio 4Inn con resultados satisfactorios.



## Bibliografía

### Impresión 3D

- [https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n\\_3D](https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D) (14-03-2019)
- <https://www.3dnatives.com/es/consejos-los-expertos-impresora-3d-22032016/> (14-03-2019)
- <https://todo-3d.com/fdm-fff-modelado-deposicion-fundida/> (15-03-2019)
- <https://www.materialise.com/es/manufacturing/tecnologia-de-impresion-3d/modelado-por-deposicion-fundida> (15-03-2019)
- <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/> (15-03-2019)

### Normativa

- [UNE EN ISO 527-1: 2012](#)
- [UNE EN ISO 527-2: 2012](#)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_Poisson](https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_Poisson) (23-03-2019)

### Manuales de uso de Softwares

- <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/> (16-04-2019)
- <https://www.youtube.com/watch?v=pGXuXg7dRlo> (20-04-2019)
- <https://www.youtube.com/watch?v=s2W7I6Pd0PQ> (04-05-2019)
- <http://www.ni.com/tutorial/7138/es/> (16-04-2019)

### Datasheets Elementos utilizados

- <https://www.interempresas.net/Electronica/FeriaVirtual/Producto-Palpadores-extensometricos-AEP-LDT-112066.html> (05-04-2019)
- <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-distancia/extensometro-lineal/> (05-04-2019)
- <https://www.hbm.com/es/6725/articulo-compensacion-de-temperatura-en-galgas-extensometricas/> (10-04-2019)



# Anexos



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

## Anexo 1. Mark-10 ES30

### Data Sheet

### Manual Force Test Stand ES30

30-006 REV 06/03

Page 1 of 2

The ES30 is a versatile test stand ideal for many compression and tensile testing applications. It can accept a wide variety of sample shapes and sizes and can be configured in many positions due to modular design. Convenient side-mounted hand wheel operation enables the user to easily and accurately test up to 200 lbf (1 kN) of force, with repeatable results. Use the ES30 with any Mark-10 force gauge and force gripping fixtures to create a complete testing solution.

#### Specifications

<b>Load capacity:</b>	200 lbf (1,000 N)
<b>Loading method:</b>	Side-mounted hand wheel
<b>Maximum travel:</b>	12 in (300 mm)
<b>Travel Rate:</b>	0.05 in (1.27 mm) per rev.
<b>Warranty:</b>	3 years (see individual statement for details)

#### Optional Equipment

<b>Digital travel display ESMD01</b>	6 in (150 mm) travel, 0.0005 in (0.01 mm) resolution (150 mm x 0.01), I <sup>2</sup> C output for automated data collection.
<b>Digital travel display ESMD04</b>	Same as above, 12 in (300 mm) travel.
<b>Column extensions</b>	Available in 6 in., 12 in., and 24 in. and custom lengths.



Digital travel display



The ES30 is shown in a typical peel testing application, with Series 3 digital force gauge, digital travel display, and film & paper grips.

#### In The Box

The ES30 test stand is shipped as shown at right, and includes the following accessories:

- (1) G1024 extension rod, 2"
- (1) G1028 small hook
- (1) G1030 medium hook
- (1) G1009 compression plate, 2" dia.
- (1) G1029 coupling, #10-32/F
- (1) Allen wrench set
- (1) Hand wheel
- (4) Thumb screw for force gauge
- (1) Resource CD





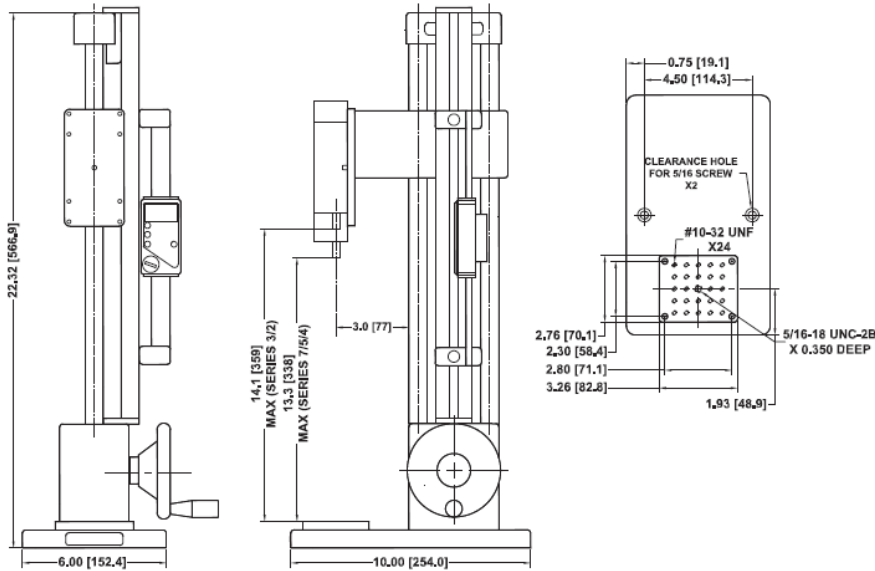
# Data Sheet

# Manual Force Test Stand ES30

32-1048 REV 0618

Page 2 of 2

## Dimensions in [mm]



## Ordering Information

Model No.	Description
ES30	Test stand, 200 lbf
ESM001	Digital travel display, 6"
ESM004	Digital travel display, 12"
ESM003-1	Column extension for ES30, 6"
ESM003-2	Column extension for ES30, 12"
ESM003-3	Column extension for ES30, 24"



Mark-10 Corporation ■ www.mark-10.com ■ info@mark-10.com  
 Toll-free: 888-MARK-TEN ■ Tel: 631-842-9200 ■ Fax: 631-842-9201



Specifications subject to change without prior notice

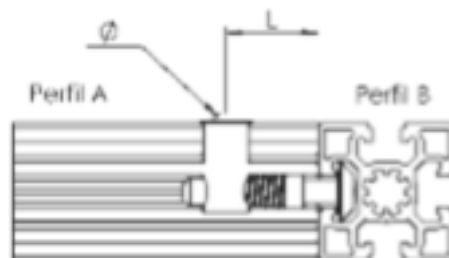
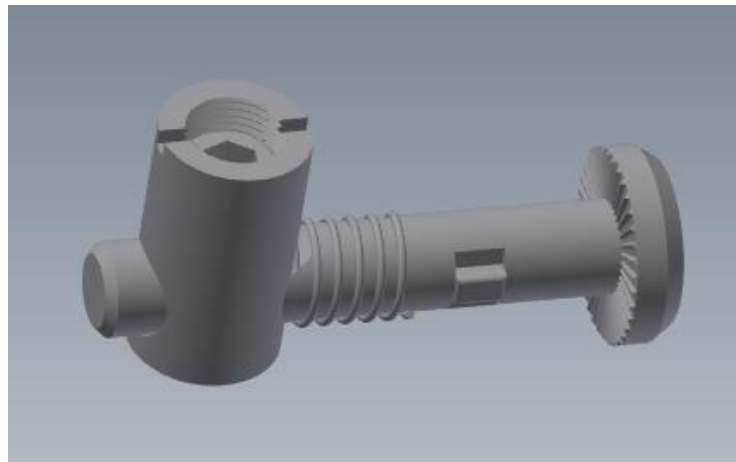
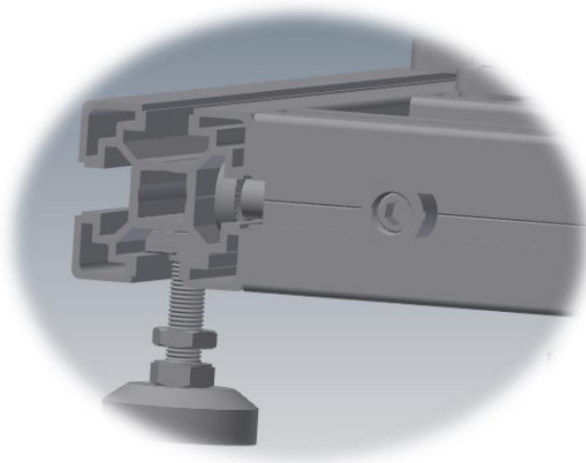


## Anexo 2. Bastidor

### Sistema de fijación:

Elementos encontrados en la empresa de suministros Fasten.

- Conector de perfiles de cabeza redonda, canal 10. Referencia:5352 (x8).

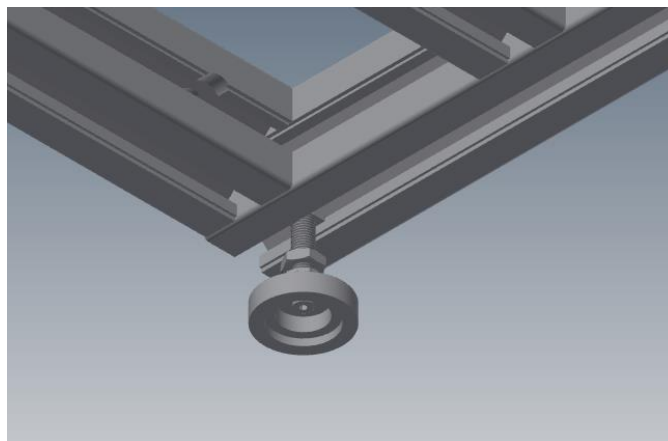
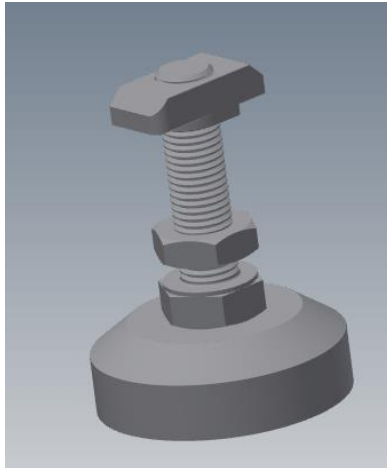


A	B	L	$\varnothing$
35	35	37 mm	15 mm
40	40	33 mm	15 mm
45	45	33 mm	15 mm

## Pies

Se han utilizado pies de acero unidos al bastidor mediante tuercas M8.

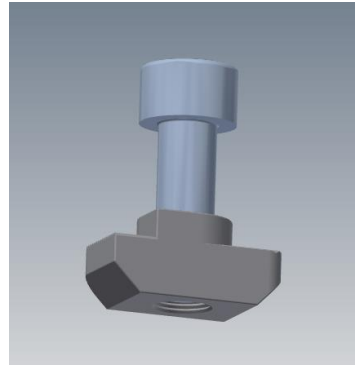
- Pie de acero, referencia 540535830 (x4).
- Tuerca en T, referencia 52058 (x4).



## Sistema para anclar piezas al bastidor

Se compone de una tuerca para canal de 10 mm con un tornillo, mediante los cuales se anclan los elementos.

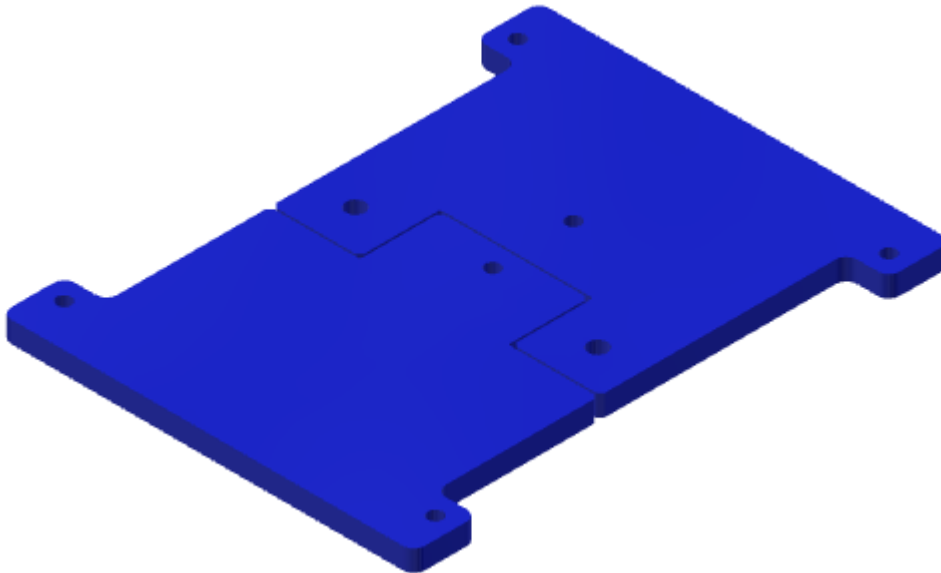
- Tuerca cabeza de martillo M6, canal 10mm, referencia 52016 (x13).
- Tornillo M6, la longitud de los tornillos varía en función del espesor del elemento a unir.



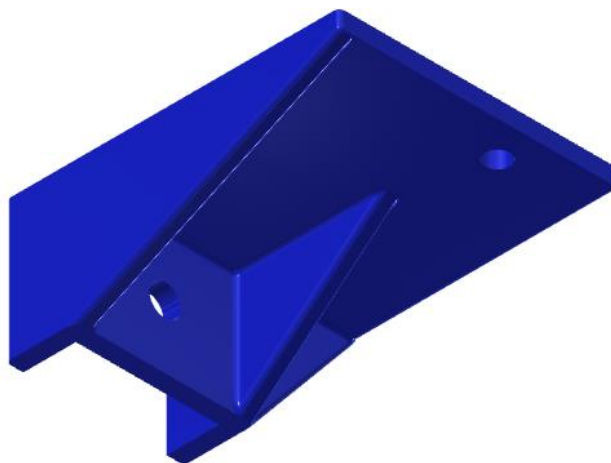
### Piezas de plástico impresas en 3D

Para fijar los elementos al bastidor se ha utilizado como soporte piezas impresas por tecnología FDM.

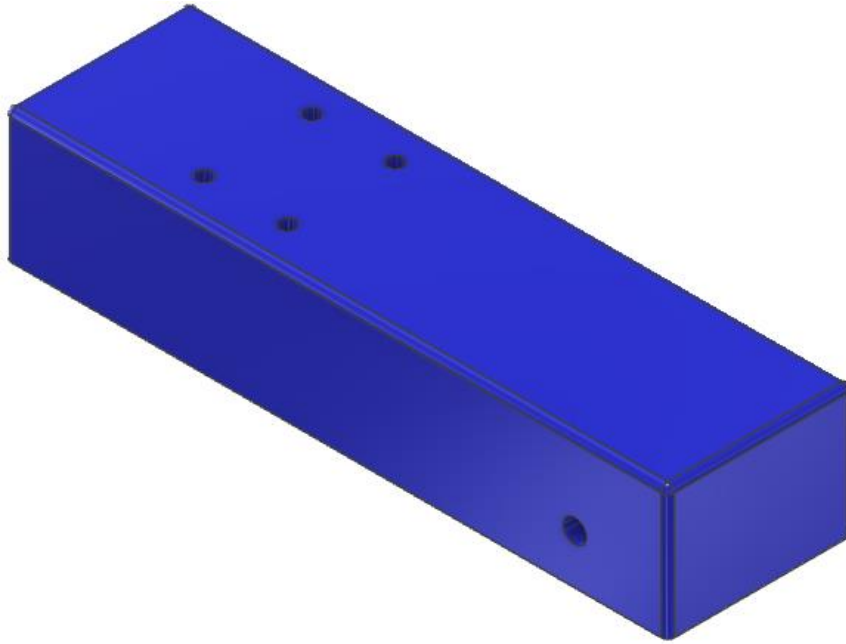
- Pie de la Mark-10:



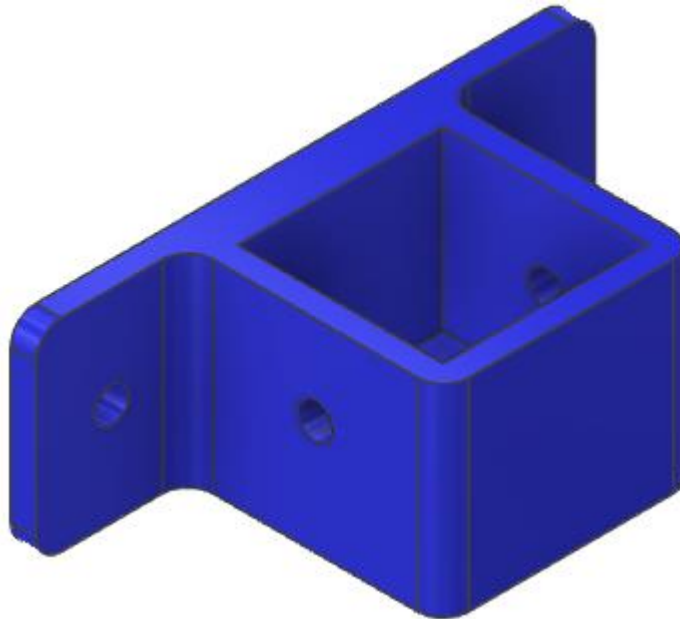
- Sujeción de la cámara:



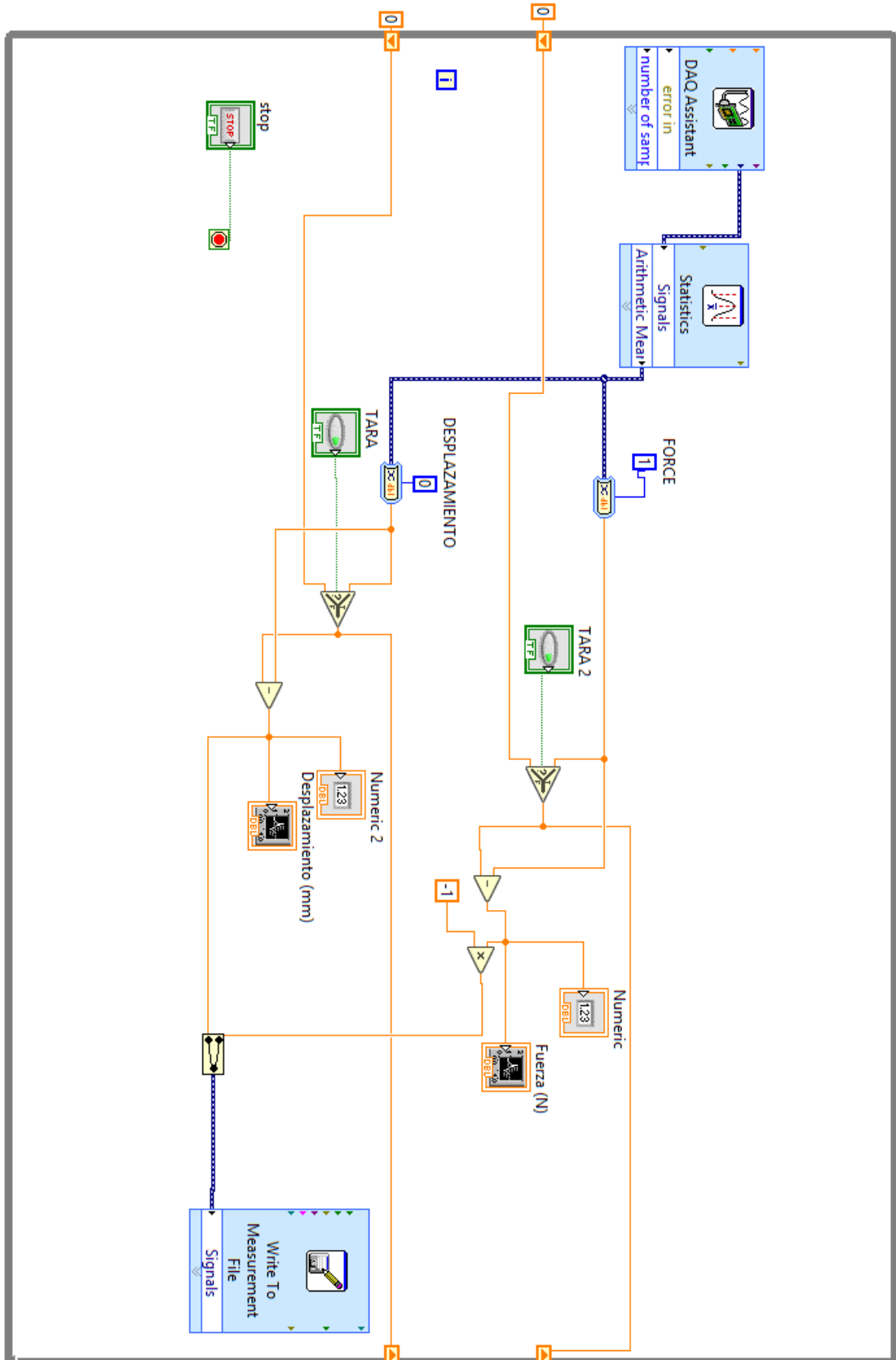
- Fijación superior del pilar del sensor de desplazamiento:

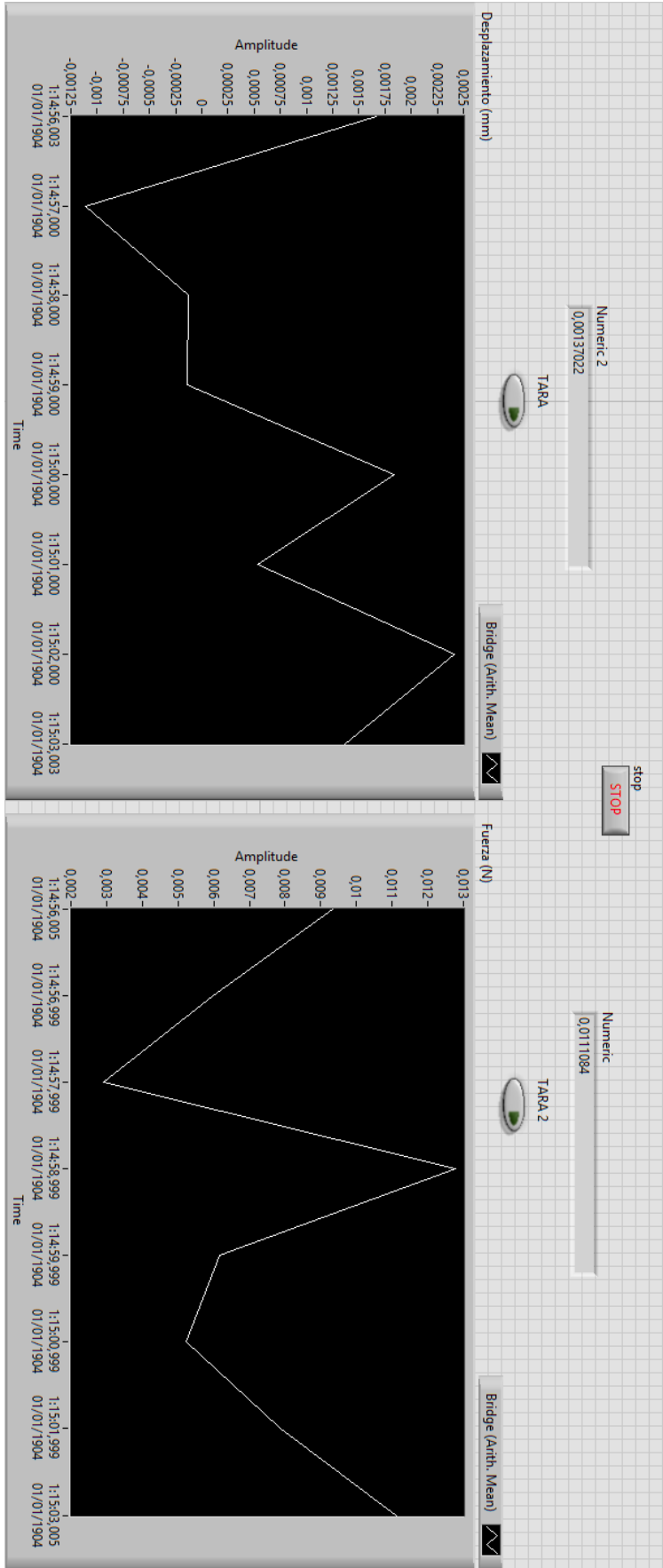


- Fijación inferior del pilar del sensor de desplazamiento:



## Anexo 3. Fuerza-Desplazamiento LabView





## Anexo 4. NI 9237

### DATASHEET

# NI 9237

4 AI,  $\pm 25$  mV/V, 24 Bit, 50 kS/s/ch Simultaneous, Bridge Completion



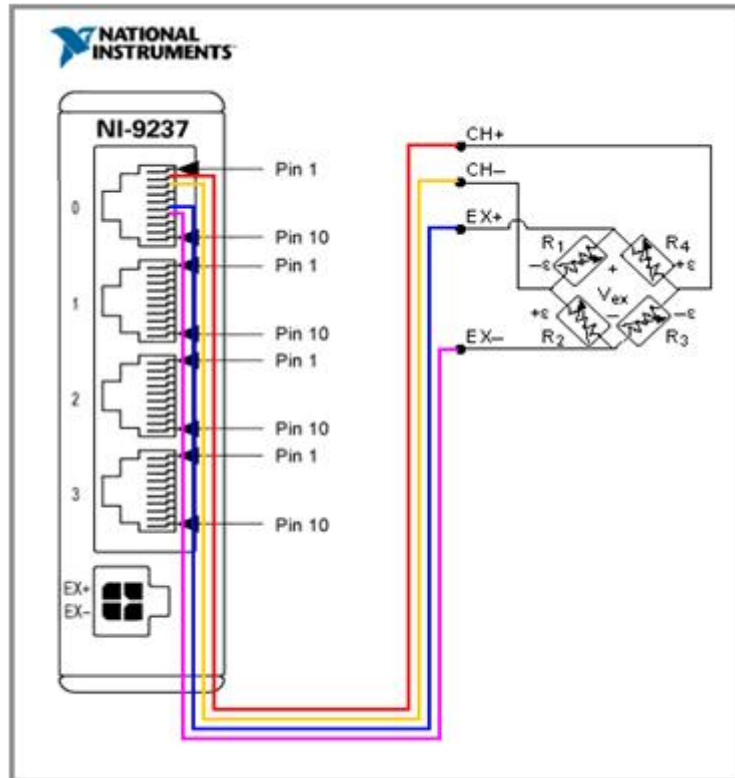
- 4 channels, 50 kS/s per channel simultaneous AI
- $\pm 25$  mV/V input range, 24-bit resolution
- Programmable half- and full-bridge completion with up to 10 V internal excitation
- 60 VDC, Category I bank isolation
- RJ50 or D-SUB connectivity options
- $-40$  °C to  $70$  °C operating range, 5 g vibration, 50 g shock

The NI 9237 simultaneous bridge module for use with CompactDAQ and CompactRIO contains all the signal conditioning required to power and measure up to four bridge-based sensors simultaneously. The four RJ50 jacks provide direct connectivity to most torque or load cells and offer custom cable solutions with minimal tools. The high sampling rate and bandwidth of the NI 9237 offer a high-quality, high-speed strain or load measurement system with zero interchannel phase delay. With 60 VDC isolation and 1,000 Vrms transient isolation, the NI 9237 has high-common-mode noise rejection and increased safety for both the operator and test system.

The NI 9237 can perform offset/null as well as shunt calibration and remote sense, making the module the best choice for strain and bridge measurements.

The NI 9944 and NI 9945 are accessories for use with quarter-bridge sensors. These accessories have a female RJ50 connector on one end and screw terminals on the other end.

### Conection to Bridge:





## Anexo 5. HBM U93

### U93

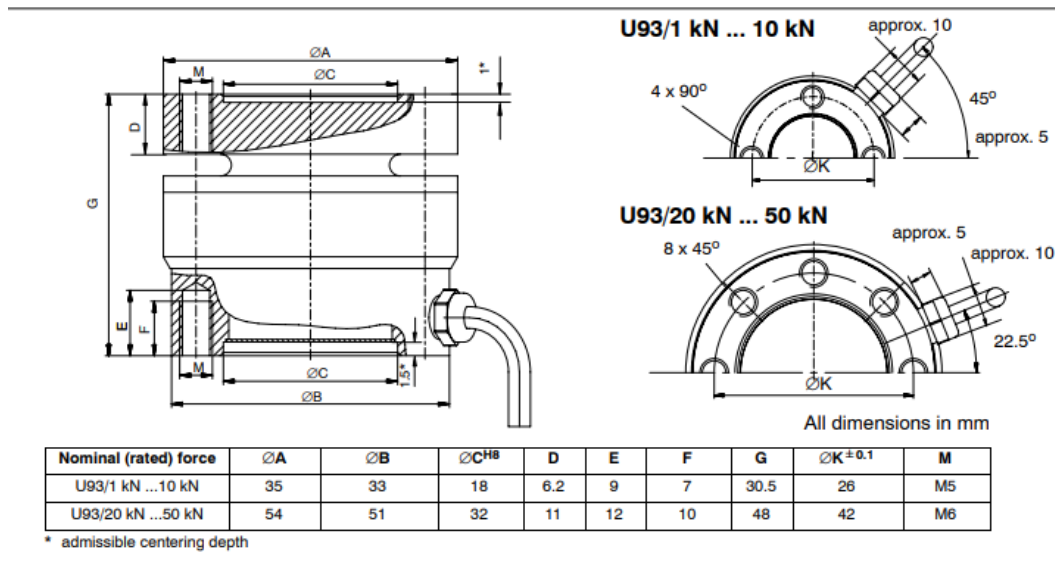
#### Force Transducer

Data sheet



#### Special features

- Tensile/compressive force transducer
- Simple installation thanks to flange connection on both sides
- Integrated TEDS electronic data sheet
- Compact
- Robust
- Stainless steel transducer
- Suitable for cable drag chains





**Specifications** (data per VDI/VDE 2638 standards)

Type	U93							
Data as per VDI 2638								
Nominal (rated) force	F <sub>nom</sub>	kN	1	2	5	10	20	50
<b>Nominal (rated) sensitivity</b>	C <sub>nom</sub>	mV/V	0.5	1	0.5	1	0.5	1
Relative sensitivity error (compression)	d <sub>c</sub>	%	< ±0.5					
Relative zero signal error	d <sub>s,0</sub>	mV/V	< ±0.075					
<b>Rel. reversibility error (0.5 F<sub>nom</sub>)</b>	v <sub>0.5</sub>	%	< ±0.5					
<b>Relative linearity error</b>	d <sub>lin</sub>	%	< ±0.5					
<b>Effect of temperature on sensitivity/ 10 K, related to nominal (rated) sensitivity</b>	TK <sub>C</sub>	%	< ±0.5					
<b>Effect of temperature on zero signal/ 10 K, related to nominal (rated) sensitivity</b>	TK <sub>0</sub>	%	< ±0.8	< ±0.5	< ±0.8	< ±0.5	< ±0.8	< ±0.5

## Anexo 6. Cámara SVS exo250MU3



# exo250MU3

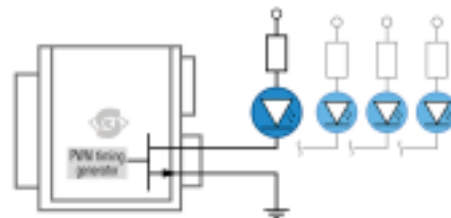
SVCam-EXD USB3 Vision



The SVCam-EXD is one of the most flexible and scalable cameras for the industrial market segment. The USB3 Vision interface is easy to integrate in your system, with a data rate up to effective 250 MB/sec. The time to market for applications is shortened, saving cost even further. Power the camera via the interface and reduce cable complexity. EXD provides Plug-and-play capability for the whole range of 0.2 to 12 MP resolutions.

### Versatile I/O-Concept

- > Built-in LED-Controller
  - 2x input (0-24 V), 1x input (opto)
  - 4x output (open drain)
  - 1x serial RS-232 and RS-422
- > Up to 4 direct drive and control of LED-lighting
- > Programmable Sequencer for Shutter and LED-light



### Technical Highlights

- > Up to 250 MB/s effective transfer rate
- > Leverages existing infrastructure for cables and connectors
- > Powers camera with up to 4.5W
- > GenICam compliant
- > Cost effective / Easy implementation and interfacing

SVS-VISTEK GmbH - Industriestraße 30 - 82209 Seefeld - Germany - Telephone +49 (0)152 9105-0  
 Information accurate as of: 11.10.2016, errors and omissions excepted.  
 © 2016 - SVS-VISTEK GmbH, all rights reserved.

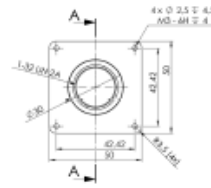
EXO Series

exo250MU3

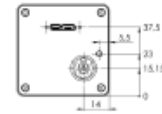
Resolution	3448 x 2048 px
Frame rate	72 fps
Chroma	mono
Interface	USB3 Vision
<b>Sensor</b>	
Sensor	IMX250LR
Manufacturer	Sony
Sensor type	Area CMOS
Sensor size (h x v)	8.45 x 7.07 mm
Optical diagonal	11.01 mm
Sensor format	2/3"
Pixel size (h x v)	3.45 x 3.45 $\mu$ m
<b>Camera</b>	
Exposure modes	MANUAL/AUTO/EXTERNAL
Trigger modes	INTERNAL/SOFTWARE/EXTERNAL
Exposure time (min)	20 $\mu$ s
Exposure time (max)	1 sec (external cc)
Pixel format / max	mono8, mono12 / 12 bit
Gain modes / max	manual, auto / 18 dB
SNR	66 dB / 11 bit
Pixel clock	74.25 MHz
Internal memory	256 MB
<b>Feature Set</b>	
AOI	yes
LUT	yes
Offset	yes
Readout control	yes
Binning	yes
Image flip	yes
<b>Housing</b>	
Lens mount	C-Mount
Dimensions (w x h x d)	50 x 50 x 34.1 mm
Weight	138 g
Ambient temperature	-10 to 45 °C
Ambient humidity	10 to 90 % (non-condensing)
Protection class	IP40
<b>I/O-Interfaces</b>	
Input up to 24V	2 x
Input OPTO	1 x
Output open drain	4 x
I/O RS-232	1 x
Power supply	10 to 25 V (DC)
Power consumption	3.5 W

Dimensions [mm]

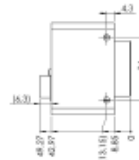
front



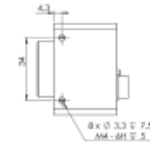
back



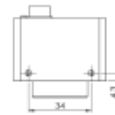
left side



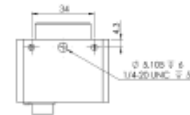
right side



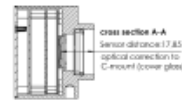
top



bottom



cross section



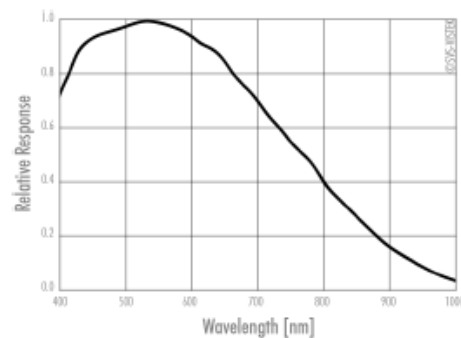
Pinout

Hirose 12 Pin



1	VH - (0V)	7	OUT1 (open drain)
2	VH + (10V to 25 V DC)	8	OUT2 (open drain)
3	IN4 (0V RS232)	9	IN3 + (open hi+)
4	OUT4 (0V RS232)	10	IN3 - (open hi-)
5	IN1 (0-24V)	11	OUT3 (open drain)
6	IN2 (0-24V)	12	OUT0 (open drain)

Spectral Response





## Anexo 7. Macros Microsoft Excel

### Importar datos:

' Macro que realiza el cambio de formato de los datos de GOM para poder tratarlos con excel

```
'
' Acceso directo: CTRL+u

Dim fil As Long
Dim cont1 As Long
Dim cont2 As Long
Dim sec As Double

'
Range("O8").Select
sec = ActiveCell.FormulaR1C1
' Borramos todo lo que haya en la hoja de calculo.
Hoja1.Cells.Clear

Range("O7").Select
With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 255
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Range("O7").Select
Selection.Font.Bold = True
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sección"

sec = sec / 1000
Range("O8").Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = sec
With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 5263615
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Selection.Font.Bold = True

'Importamos los datos cambiando el formato a la nomenclatura española
'
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
    "TEXT;C:\Users\Matt\Desktop\GOM\Nuevo proyecto.csv",
Destination:=Range("$A$1"))
    .Name = "1"
    .FieldNames = True
    .RowNumbers = False
    .FillAdjacentFormulas = False
    .PreserveFormatting = True
    .RefreshOnFileOpen = False
    .RefreshStyle = xlInsertDeleteCells
```



```
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 850
.TextFileStartRow = 1
.TextFileParseType = xlDelimited
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = False
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = True
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
.TextFileDecimalSeparator = "."
.TextFileThousandsSeparator = ","
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
End With

' Calculamos el numero de casillas que tenemos ocupadas
fil = Sheets("Hoja1").Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).Row

'Fijamos el valor máximo de filas que tenemos y le sumamos 1
'para que nos coincida el numero de celdas a la hora de hacer
'el bucle do while

tope = fil + 1

' Ponemos el título de la nueva columna donde tendremos el
tiempo relativo.

Range("D1").Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Selection.Font.Bold = True
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Tiempo Rel."

Range("D1").Select

With Selection.Interior
.Pattern = xlSolid
.PatternColorIndex = xlAutomatic
.Color = 49407
.TintAndShade = 0
.PatternTintAndShade = 0
End With

Range("B1").Select

'Cambiamos el nombre de la columna a uno más representativo.

With Selection.Interior
.Pattern = xlSolid
.PatternColorIndex = xlAutomatic
.Color = 49407
.TintAndShade = 0
.PatternTintAndShade = 0
```



End With

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""  
Selection.Font.Bold = True  
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Deformación Eps [%]"
```

```
'Coloreamos las celdas que son de interés  
cont1 = 2
```

Do While cont1 <> tope

```
Cells(cont1, 2).Select
```

```
With Selection.Interior  
.Pattern = xlSolid  
.PatternColorIndex = xlAutomatic  
.ThemeColor = xlThemeColorAccent2  
.TintAndShade = 0.799981688894314  
.PatternTintAndShade = 0
```

End With

```
cont1 = cont1 + 1
```

```
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
```

Loop

```
cont2 = 2
```

```
'Recorrer toda la columna del tiempo relativo
```

Do While cont2 <> tope

```
Cells(cont2, 4).Select
```

```
'Colorear la columna  
With Selection.Interior  
.Pattern = xlSolid  
.PatternColorIndex = xlAutomatic  
.ThemeColor = xlThemeColorAccent2  
.TintAndShade = 0.799981688894314  
.PatternTintAndShade = 0
```

End With

```
'Hallar el tiempo relativo restando el primer tiempo
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-3]-R2C1"  
cont2 = cont2 + 1
```

```
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
```

Loop

```
Range("C1").Select
```

End Sub



## DatosCell:

```

Sub Datos_Cell ()
'
' Datos_Cell Macro
'
Dim ultFil As Long
Dim cont As Long
Dim c1 As Long

'
'-----
'Copiamos los datos del archivo excel previamente guardado en
'C:\Users\Matt\Desktop\LoadCell 2013\Guardar Excel celula de
'carga\
'con el nombre de "pl.xlsx"
'
'-----

    ChDir "C:\Users\Matt\Desktop"
    Workbooks.Open Filename:="C:\Users\Matt\Desktop\LoadCell
2013\Guardar Excel celula de carga\pl.xlsx"
    Sheets("Untitled").Select
    Range("A:A, B:B, C:C, D:D").Select
    Range("C1").Activate
    Selection.Copy
    Windows("Importar datos.xlsm").Activate
    Range("F1").Select
    ActiveSheet.Paste
    Application.CutCopyMode = False

    ' Calculamos el numero de casillas que tenemos ocupadas
    ultFil = Sheets("Hojal").Range("F" & Rows.Count).End(xlUp).Row

    '-----OPCIONAL-----

    'Pone el número de celdas ocupadas que ha encontrado en la
    celda M3
    Range("O4").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
    Selection.Font.Bold = True
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nº celdas llenas"
    Sheets("Hojal").Cells(5, 15) = ultFil

    '-----

    Range("A1").Select

    tope = ultFil + 1 'Se le suma 1 al numero de filas para que
    modifique todos los datos ya que cont no puede ser 0
    Sheets("Hojal").Cells(6, 15) = tope
    'Creamos la columna Tensión.

    Range("J1").Select
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 49407
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

```





```
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Selection.Font.Bold = True
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Tensión [MPa] "

c1 = 2

Do While c1 <> tope

    Cells(c1, 10).Select

    'Colorear la columna
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .ThemeColor = xlThemeColorAccent2
        .TintAndShade = 0.799981688894314
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

    'Hallar la tensión a partir de la fuerza y la sección
    'transversal

    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-2]/R8C15)"

    If ActiveCell.Value <> "" Then

        c1 = c1 + 1

    End If

Loop

cont = 2

'Crea la columna del tiempo relativo

Do While cont <> tope

    Cells(cont, 7).Select

    'Colorea la columna
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .ThemeColor = xlThemeColorAccent2
        .TintAndShade = 0.799981688894314
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

    'Calcula el tiempo relativo a partir del tiempo absoluto
    'en días, horas,
    'minutos y segundos.
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-1]-R2C6)*24*60*60"

    If ActiveCell.Value <> "" Then
```



```

        cont = cont + 1

    End If

    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop

Range("H1").Select

    Range("G1,H1,I1").Select

With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 49407
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
Range("I1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Selection.Font.Bold = True
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Desplazamiento (mm) "

Range("H1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Force (N) "

End Sub

```

### Copiar datos:

```

Sub Copiar ()
'
' Copiar Macro
' Copia los datos de tiempo fuerza y deformacion a un nuevo excel
y crea las
' correspondientes gráficas.
'

    'Copiamos las columnas en las que se encuentran los datos que
deseamos tratar.
    Range("B:B,D:D,G:G,I:I").Select
    Range("I1").Activate
    Selection.Copy
    Workbooks.Add
    ActiveSheet.Paste
    Range("G3").Select

    'Creamos la grafica tension deformación (X=deformación-
Y=Tensión)
    ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterSmooth).Select
    Application.CutCopyMode = False
    Application.CutCopyMode = False
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = ""Tensión-
Deformación""

'-----PONER LOS VALORES CORRESPONDIENTES-----

ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues =
"=Hoja1!$A$2:$A$400"
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values =
"=Hoja1!$D$2:$D$400"

ActiveWindow.SmallScroll Down:=-87
ActiveSheet.Shapes("Gráfico 1").IncrementLeft 135.75
ActiveSheet.Shapes("Gráfico 1").IncrementTop -2.25
Range("F4").Select
'-----BUSCAR VALORES PROXIMOS A 0,05-0,25 DE LA
DEFORMACION Y SACAR LAS TENSIONES-----

Range("F7").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=3
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.PlotArea.Select
Selection.Left = 23.969
Selection.Top = 35.09
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Select
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Trendlines.Add
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Trendlines(1).Select

'Seleccionamos el tipo de ajuste de mínimos cuadrados con una
'ecuación polinómica de orden 6
With Selection
    .Type = xlPolynomial
    .Order = 2
End With
With Selection
    .Type = xlPolynomial
    .Order = 6
End With
Application.CommandBars("Format Object").Visible = False
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Select
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Trendlines(1).Select
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Select
Selection.Format.Line.Visible = msoFalse
Selection.Format.Fill.Visible = msoFalse
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Points(78).Select
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Trendlines(1).Select
Application.CommandBars("Format Object").Visible = False
With Selection.Format.Line
    .Visible = msoTrue
    .DashStyle = msoLineSolid
End With

'Calculamos el numero total de filas que tenemos en la columna
A
fil = Sheets("Hoja1").Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).Row
tope = fil + 1
cont = 2

Range("H20").Select

```



```

ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatter).Select
Application.CutCopyMode = False
Application.CutCopyMode = False
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = ""Módulo de
Young""
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues =
"=Hojal!$E$2:$E$30"
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values =
"=Hojal!$F$2:$F$30"
ActiveWindow.SmallScroll Down:=12
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Select
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Trendlines.Add
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Trendlines(1).Select

'Iniciamos el contador en 2 para empezar a coger datos desde
'la segunda fila que es donde empiezan los datos numéricos.
cont1 = 2

Do While cont <> tope

    Cells(cont, 1).Select
    'Buscamos los valores de desplazamiento comprendidos entre
0,05% y 0.25%,
    'para calcular el modulo de Young
    If ActiveCell.Value >= 0.05 And ActiveCell.Value <= 0.25
Then

        Cells(cont1, 5) = (ActiveCell.Value) / 100
        Cells(cont, 4).Select
        Cells(cont1, 6) = ActiveCell.Value
        cont1 = cont1 + 1

    End If

    cont = cont + 1
Loop

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Trendlines(1).Select
ActiveChart.PlotArea.Select
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Select
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Trendlines.Add
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Trendlines(2).Select
Selection.DisplayEquation = True
Selection.DisplayRSquared = True
Application.CommandBars("Format Object").Visible = False
Range("G1").Select

'-----OPCIONAL-----
'Volvemos a la hoja principal.(Excel de las macros.
'
'Windows("Importar datos.xlsm").Activate
'Range("J1").Select

End Sub

```

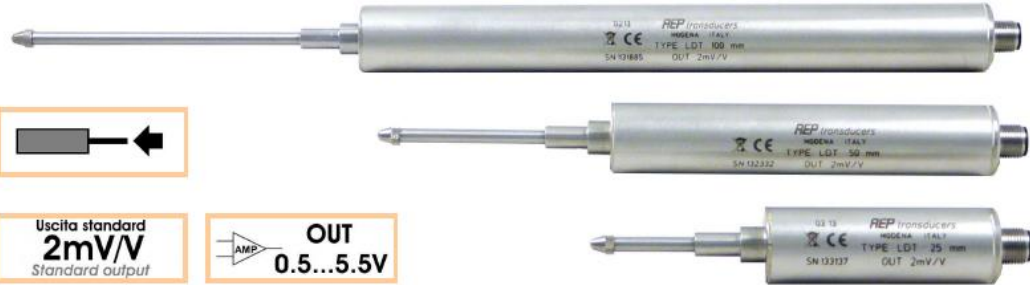
## Anexo 8. Sensor desplazamiento LDT

Data Sheet: LDT.700.R7

[www.aep.it](http://www.aep.it)

# LDT

Trasduttore di spostamento  
Displacement transducer



Uscita standard  
**2mV/V**  
Standard output

OUT  
**0.5...5.5V**

Download on [www.aep.it](http://www.aep.it)  
**CE RoHS**

**€ LOW COST**

Linearità - Isteresi  
**≤ ±0.10%**  
Linearity - Hysteresis

Stabilità a lungo termine  
Long term high stability  
**15**

**FACILE APPLICAZIONE**  
EASY APPLICATION

Trasduttore **ESTENSIMETRICO**

Alta risoluzione di misura **<1μm**

Uscita (Standard): **2mV/V**

Uscita (Opzione): 0.5 – 5.5 Volt

**STRAIN GAUGE** transducer

High resolution of measure **<1μm**

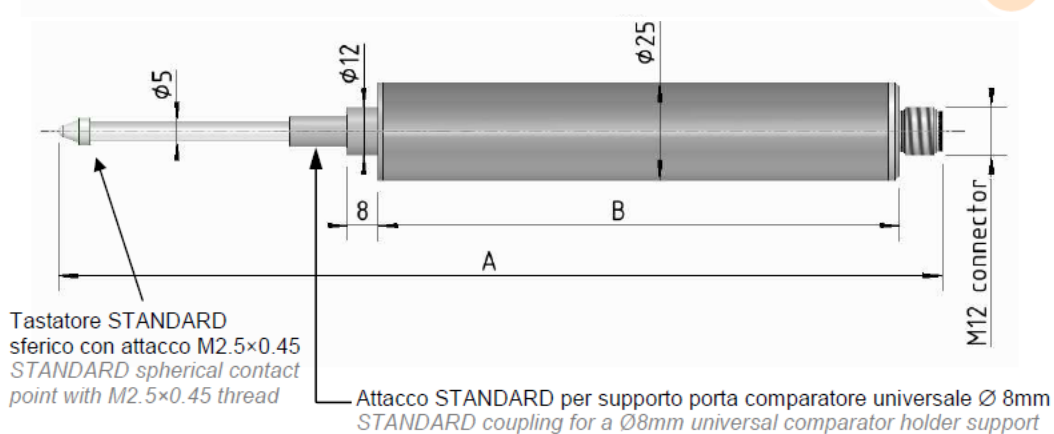
Output (Standard): **2mV/V**

Output (Optional): 0.5 – 5.5 Volt

CODE	Displacement	A	B
TLDT5MM	5 mm	120	76
TLDT10MM	10 mm	125	76
TLDT25MM	25 mm	140	76
TLDT50MM	50 mm	223	134
TLDT100MM	100 mm	373	240
TLDT200MM	200 mm	675	434

Dimensioni *Dimensions*

[mm]



**Dati Tecnici** *Technical Data*



SPOSTAMENTO NOMINALE	NOMINAL DISPLACEMENT	5, 10, 25, 50, 100, 200 mm
SENSIBILITA' NOMINALE	NOMINAL SENSITIVITY	2mV/V
TOLLERANZA DI CALIBRAZIONE	SENSIVITY TOLERANCE	≤ ±0.1% F.S.
LINEARITA'	LINEARITY	≤ ±0.10 % F.S.
EFFETTO DELLA TEMPERATURA (1 °C)	TEMPERATURE EFFECT (1 °C)	
a) sullo zero	a) on zero	≤ ±0.010%
b) sulla sensibilità	b) on sensitivity	≤ ±0.005%
RESISTENZA PONTE	BRIDGE RESISTANCE	350 Ω
RESISTENZA DI ISOLAMENTO	INSULATION RESISTANCE	> 5 GΩ
BILANCIAMENTO DI ZERO	ZERO BALANCE	≤ ±0.5 % F.S.
ALIMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	RECOMMENDED SUPPLY VOLTAGE	10 V
ALIMENTAZIONE NOMINALE	NOMINAL SUPPLY VOLTAGE RANGE	1-15 V
ALIMENTAZIONE MAX.	MAXIMUM SUPPLY VOLTAGE	18 V
TEMPERATURA DI RIFERIMENTO	REFERENCE TEMPERATURE	+23°C
TEMPERATURA DI ESERCIZIO	WORKING TEMPERATURE	-10/+70°C
TEMPERATURA DI STOCCAGGIO	STORAGE TEMPERATURE	-20/+80°C
PESO	WEIGHT	~ 0.150 to ~0.300 kg
FORZA DI SPINTA	SPRING FORCE	from 2 to 4 N
CLASSE DI PROTEZIONE (EN 60529)	PROTECTION CLASS (EN 60529)	IP40
MATERIALE	MATERIAL	Acciaio Inox / Stainless Steel
CONNESSIONE ELETTRICA	ELECTRICAL CONNECTION	M12 4 poles male connector

**Opzioni** *Optionals*

SENSIBILITA' NOMINALE	NOMINAL SENSITIVITY	0.5 – 5.5 Vdc
ALIMENTAZIONE NOMINALE	NOMINAL POWER SUPPLY	12-24V
ALIMENTAZIONE MAX.	MAX. POWER SUPPLY	28V
ASSORBIMENTO MAX.	MAX. ABSORPTION	20mA
RESISTENZA DI CARICO	LOADING RESISTANCE	min. 3KΩ
RESISTENZA DI ISOLAMENTO	INSULATION RESISTANCE	>2 GΩ
BILANCIAMENTO DI ZERO	ZERO BALANCE	≤ ± 0.5%
FREQUENZA DI RISPOSTA	RESPONSE FREQUENCY	150 Hz
Cavo schermato PVC completo di connettore M12 costampato 4 poli	Shield cable PVC with M12 connector molded 4 poles.	3 m

**Collegamenti Elettrici** *Electrical Connections*

