



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Laboratorio virtual de ensayos mecánicos de  
materiales de interés industrial**

**Autor:**

**Bustamante Pastrana, José J.**

**Tutor(es):**

**García Cabezón, Ana Cristina  
Ciencia de los Materiales e  
Ingeniería Metalúrgica**

**Valladolid, Julio 2021.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>1.</b>	<b>RESUMEN Y PALABRAS CLAVE</b>	<b>1</b>
1.1	ABSTRACT	2
<b>2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>5</b>
4.1.	ENSAYO DE DUREZA	7
4.2.	ENSAYOS DE DUREZA ESTÁTICA	9
4.2.1.	ENSAYO BRINELL (1900)	9
4.2.2.	ENSAYO VICKERS (1925)	12
4.2.3.	DUREZA KNOOP	14
4.2.4.	DUREZA ROCKWELL (1925)	14
4.2.5.	REALIZACIÓN PRÁCTICA DE UN ENSAYO ROCKWELL	18
4.2.6.	CORRELACIONES ENTRE DISTINTOS ENSAYOS Y ESCALAS DE DUREZA.	19
4.1.2.	ENSAYOS DE DUREZA DINÁMICA:	20
4.1.2.1.	MÉTODO DE CHOQUE:	20
4.1.2.2.	MÉTODO DE RETROCESO	20
4.1.3.	DUREZA POR ULTRASONIDOS	21
4.1.3.1.	MEDIDOR DE DUREZA POR ULTRASONIDOS	21
4.2.	ENSAYO DE TRACCIÓN	22
4.2.1.	SECUENCIA DE ENSAYO	22
4.2.2.	CURVA INGENIERIL	23
4.2.3.	CURVA TENSIÓN-DEFORMACIONES REALES	25
4.3.	ENSAYO DE FLEXIÓN	27
4.3.1.	SECUENCIA DE ENSAYO	27
<b>5.</b>	<b>HERRAMIENTA DE CREACIÓN DE LA APLICACIÓN WEB</b>	<b>29</b>
5.1.	INICIO Y ENTORNO DE TRABAJO	29
5.1.1.	ESTRUCTURA	30
5.1.2.	MENÚ PRINCIPAL	30
5.1.3.	iDEVICES	31
5.1.4.	ÁREA DE TRABAJO	31
5.2.	ELEMENTOS PARA LA CREACIÓN DE CONTENIDO	33
5.2.1.	EDITOR DE TEXTO	33
5.2.2.	iDEVICES	36
5.2.3.	PUBLICACIÓN	37
<b>6.</b>	<b>DESARROLLO DE LA APLICACIÓN Y PRODUCTO FINAL</b>	<b>38</b>
6.1.	INICIO DEL PROGRAMA	38
6.2.	CREANDO CONTENIDO	38
6.2.1.	CONTENIDO TEÓRICO	39
6.2.2.	CONTENIDO GRÁFICO	42
6.2.3.	CONTENIDO INTERACTIVO	43
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS</b>	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>50</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Durómetro.....	9
Ilustración 2: Método Brinell .....	9
Ilustración 3. Huella penetrador Brinell .....	10
Ilustración 4. Ensayo Brinell .....	11
Ilustración 5. Microdurómetro.....	13
Ilustración 6. Ensayo Knoop .....	14
Ilustración 7: Ensayo Rockwell .....	14
Ilustración 8: Reloj comparador del Durómetro .....	15
Ilustración 9: Selector de Cargas del Durómetro .....	15
Ilustración 10: Secuencia de Ensayo Rockwell .....	15
Ilustración 11: Reloj comparador con carga inicial de 10Kg.....	15
Ilustración 12: Penetradores Rockwell.....	16
Ilustración 13: Esclerómetro Shore .....	20
Ilustración 14: Probeta de Ensayo de Tracción .....	22
Ilustración 15: Curva Tensión-Deformación.....	22
Ilustración 16: Curva Ingenieril .....	23
Ilustración 17: Curva T-D Material Dúctil/Frágil.....	25
Ilustración 18: Curva Tensión-Deformaciones Reales .....	25
Ilustración 19: Ensayo de Flexión .....	27
Ilustración 20: Curva Tensión-Deflexión .....	28
Ilustración 21: Curva Tensión-Deflexión. para el MgO.....	28
Ilustración 22: Inicio y entorno de trabajo .....	30
Ilustración 23: Estructura .....	30
Ilustración 24: Barra de Menú.....	31
Ilustración 25: iDevices .....	31
Ilustración 26: Área de trabajo.....	32
Ilustración 27: Pestaña propiedades.....	32
Ilustración 28: Editor de Texto .....	33
Ilustración 29: Comandos del Editor de Texto .....	34
Ilustración 30: Categorías de iDevices.....	36
Ilustración 31: Pestaña Exportar .....	37
Ilustración 32: inicio del programa.....	38
Ilustración 33: Tema.....	39
Ilustración 34: Estructura final .....	39
Ilustración 35: Añadiendo apartados de contenido .....	40
Ilustración 36: Añadiendo iDevide de texto .....	40
Ilustración 37: Apartado completo con iDevices de texto .....	41
Ilustración 38: Editor de texto con botón Fx .....	41
Ilustración 39: Resultado texto botón Fx .....	41
Ilustración 40: Ejemplo de fotografía embebida en texto .....	42
Ilustración 41: Botón medo embebido .....	42
Ilustración 42: Cuadro diálogo medio embebido .....	42
Ilustración 43: Captura mostrando vídeo insertado en el texto .....	43
Ilustración 44: Cuadro iDevices de Actividades Interactivas.....	44
Ilustración 45: Captura insertando cuestionario SCORM.....	45

## Laboratorio virtual de ensayos mecánicos de materiales de interés industrial

Ilustración 46: Cuestionario mostrado en la herramienta .....	45
Ilustración 47: iDevice de Pregunta Verdadero-falso.....	46
Ilustración 48: Captura Insertando pregunta Verdadero-Falso .....	46
Ilustración 49: Captura insertando retroalimentación V/F .....	47
Ilustración 50: Captura insertando actividad rellenar huecos .....	47
Ilustración 51: Captura retroalimentación rellenar huecos .....	48
Ilustración 52: Actividad de rellenar huecos .....	48
Ilustración 53: Actividad rellenar huecos resuelta .....	48

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Dureza Brinell.....	9
Ecuación 2. Dureza Vickers .....	12
Ecuación 3. Dureza Knoop.....	14
• Esfuerzo nominal o tensión normal unitarias ( $\sigma$ ), $\sigma = F/S_0$ (N/mm <sup>2</sup> ) Ecuación 4....	22
• Elongación o deformación longitudinal ( $\epsilon$ ) $\epsilon = l-l_0 / l_0$ Ecuación 5 .....	23
• Contracción transversal ( $\epsilon_d$ ). $\epsilon_d = (S-S_0)/S_0$ Ecuación 6.....	23
• Coeficiente de Poisson: $\mu = \epsilon_d / \epsilon$ Ecuación 7.....	23
Módulo de elasticidad Ecuación 8 $E = \sigma / \epsilon$ .....	23
• Alargamiento de Rotura (Ductilidad). $\delta$ (%) = $(l_u-l_0)/l_0$ Ecuación 9 .....	24
• Estricción de rotura ( $\Psi$ (%)) $\Psi = S_0-S_u/S_0$ . Ecuación 10 .....	24
Ecuación 11 .....	25
Ecuación 12 .....	25
Ecuación 13 .....	26
Ecuación 14 .....	26
Ecuación 15 .....	26
Ecuación 16 .....	26
Ecuación 17 .....	28

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Durezas bola de ensayo Brinell.....	10
Tabla 2. Dureza Vickers .....	12
Tabla 3. Escalas de dureza Rockwell .....	16
Tabla 4. Escalas de Dureza Rockwell Superficial .....	17
Tabla 5: Tabla comparativa de durezas .....	19

## 1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

Este trabajo correspondiente al Trabajo de Fin de Grado del Grado en Ingeniería Mecánica, realizado en el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, se va a centrar en el desarrollo de una aplicación web, interactiva y didáctica, para el conocimiento y observación de los diferentes ensayos mecánicos en materiales metálicos.

La creciente demanda en el sector educativo de nuevos métodos de enseñanza que aprovechen el uso de las nuevas tecnologías, sobretodo de Internet e involucren más al alumno, justifica la investigación de nuevas alternativas para aprovechar todo el potencial del mundo moderno e interconectado a través de la red en el que vivimos.

Gracias a este proyecto, se van a poder unificar los conceptos referentes a los Ensayos Mecánicos, a saber: Ensayos de Dureza, Ensayos de Tracción y Ensayos de Flexión, en una misma herramienta virtual interactiva.

### **Palabras clave**

Herramienta web, Ensayos Mecánicos, Materiales Metálicos, Dureza, Tracción

## 1.1 Abstract

This essay will focus on developing a website app, interactive, didactic, in order to help in the acknowledge and observation of the main different mechanical tests on metallic materials.

The growing demand in the educational sector for new teaching methods that take advantage of the use of new technologies, especially the Internet, and involve the student more, justifies the research of new alternatives to take advantage of the full potential of the modern and interconnected world we live in.

Thanks to this project, it will be possible to unify the concepts related to Mechanical Tests, namely: Hardness Tests, Traction Tests and Flexure Tests, in the same interactive virtual tool.

### **Keywords**

Website app, mechanical tests, metallic materials, hardness, traction



## 2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de una herramienta de software online con la que se puedan trabajar los conceptos de ensayos mecánicos aplicados al control de calidad de materiales de interés industrial con comodidad y que se desarrollen los contenidos de una manera sencilla, interactiva y asequible. Con ello se pretende dotar al alumno de una herramienta complementaria en el proceso de aprendizaje que complemente las prácticas que se puedan llevar a cabo en el laboratorio de ensayo siempre que las situaciones de pandemia permitan la presencialidad. En caso de que se tenga que recurrir a una docencia on-line la herramienta permitirá al alumno familiarizarse con el equipamiento disponible en el laboratorio y poder visualizar las metodologías de ensayo más importantes necesaria para la caracterización mecánica de los materiales de interés industrial.

Debido a la situación actual de pandemia en la que nos encontramos, surgen nuevas necesidades en todos los ámbitos de trabajo. Uno de los más importantes, el sector educativo, se ha visto obligado a reinventarse en la manera de realizar su actividad. Desde clases online hasta tutorías a distancia, este sector es uno de los que más ha alterado su manera de actuar.

En la aplicación web no solo se incluirán apartados de contenido en forma de texto, como los que podrían facilitarse en un aula, si no que también contará con vídeos realizados en laboratorio de los diferentes ensayos a los que hacen referencia dichos textos. Además, se incluirán apartados de autoevaluación sobre cada bloque, en forma de cuestionarios test o preguntas de verdadero-falso, gracias a los cuales, el alumno podrá comprobar su nivel de conocimiento de la materia y aclarar conceptos gracias a la retroalimentación que algunas preguntas presentan en caso de haber sido mal contestadas.

### 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto, justifica su utilidad, ya que incorpora contenido teórico y práctico en la misma herramienta. El alumno va a poder afianzar sus conocimientos sobre la materia de una manera sencilla, amena e interactiva.

La creciente popularidad de la tecnología móvil (teléfonos y tablets) y el acceso a una conexión a internet casi ilimitada y desde cualquier lugar, han posibilitado la aparición de un nuevo enfoque del e-learning (aprendizaje a través de internet) conocido como m-learning o aprendizaje móvil (mobile learning).

El Mobile learning posibilita un aprendizaje más personalizado y en cualquier situación, aprovechando los diferentes contextos de aprendizaje que nos ofrece nuestra vida diaria[1].

Una aplicación web educativa es un programa multimedia, ideado para ser usado a través de dispositivos electrónicos conectados a la red y usado como una herramienta de e-learning. Aunque dada la capacidad de los dispositivos móviles de acceder a Internet desde casi cualquier lugar, este tipo de aplicaciones web también pueden ser utilizadas desde esta clase de dispositivos, en cualquier momento y localización.

El uso de aplicaciones web educativas en el ámbito escolar presenta numerosas ventajas como se señalan a continuación:

- Permiten el aprendizaje en cualquier contexto, dentro y fuera del aula. La vida se convierte en el escenario perfecto para el aprendizaje. Las barreras del tiempo y el espacio se difuminan.
- La gran popularidad de los dispositivos móviles entre personas de todas las edades, en gran parte jóvenes en edad lectiva, hace que las aplicaciones educativas influyan positivamente sobre la motivación del alumnado.
- Las aplicaciones educativas suelen contar con un importante componente lúdico, ya que integran la dinámica típica del juego y recompensa para conseguir los objetivos de aprendizaje. Esto permite al alumno aprender jugando.
- Estas aplicaciones educativas además fomentan una gran interacción de los usuarios, rompiendo con la clásica experiencia de aprendizaje pasiva y permitiendo un aprendizaje más rico y eficaz en el que el alumno también es partícipe activo durante todo el proceso.
- Al tratarse de programas multimedia con un importante contenido gráfico formado por vídeos, imágenes, audios, etc., el atractivo para los alumnos se multiplica, favoreciendo el mantenimiento de su atención.
- Al estar siempre conectados, el acceso a nueva información y avisos se hace de manera inmediata.
- Las aplicaciones educativas permiten crear un entorno de aprendizaje más personalizado, adaptado a las necesidades concretas de cada alumno, fomentando el aprendizaje auto-dirigido.
- Favorecen la participación y el empoderamiento de los alumnos, creando espacios interesantes para el trabajo en equipo en entornos colaborativos.
- Permite que las nuevas habilidades o conocimientos que se van adquiriendo puedan aplicarse en el momento del estudio. Esto da lugar a un aprendizaje más empírico y por lo tanto más memorable.

## 4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este trabajo, se desarrollarán extensamente los fundamentos de los ensayos mecánicos en materiales de interés industrial.

Las características mecánicas de un material son aquellas que nos permiten conocer el comportamiento de los materiales frente a la acción de cargas externas aplicadas sobre él[2]. Aquí se expone un breve resumen de las características mecánicas más notables de los materiales, estas están relacionadas con las fuerzas exteriores que se ejercen sobre ellos[3].

Las características mecánicas más notables de los materiales son: Elasticidad, plasticidad, maleabilidad, ductilidad, dureza, tenacidad, fragilidad y resistencia a fatiga [4].

- Elasticidad: Cualidad que presenta un material para recuperar su forma original al cesar el esfuerzo que había provocado la deformación. Por ejemplo, un globo.
- Plasticidad: Cualidad opuesta a la elasticidad. Indica la capacidad que tiene un material de mantener la forma que adquiere al estar sometido a un esfuerzo, cuando este ya ha cesado. Por ejemplo, un envase de plástico.
- Maleabilidad: se refiere a la capacidad de un material para ser conformado en láminas delgadas sin romperse. Ejemplo, aluminio
- Ductilidad: los materiales dúctiles son aquellos que pueden ser estirados y conformados en hilos finos. Por ejemplo, el cobre.
- Dureza: Resistencia que opone un cuerpo a ser penetrado o rayado por otro. Esta propiedad nos informa sobre la resistencia al desgaste de los materiales, la cual es el objeto principal de este trabajo.
- Tenacidad: Resistencia a la rotura de un material cuando está sometido a esfuerzos lentos de deformación. Ejemplo, acero.
- Fragilidad: Es el opuesto de la tenacidad, es la facilidad con la que se rompe un material sin que se produzca deformación elástica. Por ejemplo, el vidrio.
- Fatiga: Es la capacidad de un material de soportar cargas que varían con el tiempo sin fallar

Dichas características nos las proporcionan los Ensayos Mecánicos, ensayos que consisten en aplicar cargas sobre los materiales y estudiar la respuesta de los materiales ante dichas cargas, estos ensayos nos facilitan las propiedades de distintos materiales, tales como el módulo de elasticidad, el límite elástico o la resistencia mecánica, lo que es de gran importancia en multitud de procesos de fabricación y aplicaciones científicas. Existen diferentes ensayos mecánicos en función de las características mecánicas que se quieran conocer [5].

Los ensayos mecánicos más importantes son:

- Ensayo de Dureza.
- Ensayo de Tracción.
- Ensayo de Flexión.
- Ensayo de Tensiones Múltiples.
- Ensayo de Compresión.
- Ensayo de Fatiga

## Laboratorio virtual de ensayos mecánicos de materiales de interés industrial

Debido al campo de aplicación de este trabajo, nos centraremos sobretodo en el Ensayo de Dureza y en el Ensayo de Tracción que son dos ensayos básicos de aplicación a todos los tipos de materiales de interés industrial.

#### 4.1. ENSAYO DE DUREZA

- **Definición de dureza:**

Resistencia superficial que ofrece un material a la deformación plástica. Presenta valor empírico, su valor es función del método utilizado, luego existen tantas durezas como ensayos para determinarla.

- **Tipos de dureza:** Existen diferentes tipos de dureza.
  - a. Dureza como resistencia al rayado. Resistencia que oponen los materiales a ser rayados por otro más duro.
    - Dureza Mineralógica. (Escala de Mohs)
    - Dureza de Martens.
    - Dureza con lima.
  - b. Dureza Estática. Resistencia que opone un material a ser penetrado por otro más duro.
    - Dureza Brinell
    - Dureza Vickers
    - Dureza Rockwell
    - Dureza Knoop
  - c. Dureza Dinámica. Reacción elástica del material al chocar sobre él un cuerpo duro.
    - Dureza Poldi. (Método de choque)
    - Dureza Shore (Método de retroceso)

- **Ensayo de dureza**

La aplicación del ensayo de dureza permite evaluar las propiedades de un material, tales como su fuerza, ductilidad y resistencia al desgaste [6]. También sirve para determinar si un material o el tratamiento aplicado al material es adecuado para una aplicación concreta.

El ensayo de dureza se define como "una evaluación que permite determinar la resistencia de un material a la deformación permanente mediante la penetración de otro material más duro". No obstante, la dureza no es una propiedad fundamental de un material. Sin embargo, cuando se extraen conclusiones de un ensayo de dureza, siempre se debe evaluar el valor cuantitativo en relación con:

- La carga aplicada en el penetrador
- Un perfil de tiempo de carga específico y una duración de carga específica
- Una geometría de penetrador específica

Por lo general, un ensayo de dureza consiste en presionar un objeto (penetrador) con una morfología, dimensiones y carga concretas sobre la superficie del material a evaluar. La dureza se determina al medir la profundidad de penetración del penetrador o bien midiendo el tamaño de la impresión dejada por el penetrador.

- **Ensayos de dureza que miden la profundidad de penetración de dicho objeto** son: Rockwell, ensayo de penetración instrumentado, y dureza de penetración del penetrador.
- **Ensayos de dureza que miden el tamaño de la impresión dejada por el penetrador** son: Vickers, Knoop y Brinell.

El ensayo de dureza elegido debería basarse en la microestructura, por ejemplo: la homogeneidad del material que evalúe, así como el tipo de material, el tamaño de la pieza y su estado.

En todos los ensayos de dureza, el material bajo la penetración debería ser representativo de la totalidad de la microestructura (salvo que la tarea sea estudiar los diferentes componentes presentes en la microestructura, ensayo de microdureza). Por consiguiente, si una microestructura es muy tosca y heterogénea, se necesitará una impresión mayor que para un material homogéneo.

Existen cuatro ensayos de dureza a destacar, cada uno con sus respectivas ventajas e inconvenientes. Existen diferentes estándares para estos ensayos, que explican los procedimientos y la aplicación del ensayo de dureza en detalle.

Al seleccionar un método de ensayo de dureza, es importante considerar lo siguiente:

- El tipo de material que se someterá a la prueba
- Si es necesario cumplir alguna normativa concreta
- La dureza aproximada del material

- La homogeneidad/heterogeneidad del material
- El tamaño de la pieza
- Si se necesita montaje
- La cantidad de muestras que se someterán a un ensayo
- La precisión necesaria del resultado

#### 4.2. ENSAYOS DE DUREZA ESTÁTICA

Consiste en aplicar una carga lentamente con un penetrador y dejar una deformación permanente. Existen tres métodos para determinar esta dureza que se diferencian en el tipo de penetrador utilizado, las cargas empleadas y la manera de medir la huella dejada por el penetrador. Estos tres métodos son: ensayo Brinell, ensayo Vickers y ensayo Rockwell. El equipo empleado es un DURÓMETRO para los tres ensayos, ilustración 1.



Ilustración 1: Durómetro

##### 4.2.1. ENSAYO BRINELL (1900)

La carga se aplica con una bola de acero extraduro de diámetro  $D$  durante un tiempo de 30 segundos, dejando una huella permanente de diámetro  $d$ . El valor de la dureza Brinell viene dado por el cociente entre la carga aplicada ( $P$ ) y el área de la huella dejada por el penetrador ( $S$ ), ecuación 1.

$$HB = \frac{P}{S}$$

Ecuación 1: Dureza Brinell

Realización del ensayo: (Norma UNE 7017), ilustración 2

- Disponer de una Máquina Universal de Ensayos o Durómetro capaz de aplicar la carga deseada con un error inferior al 3%.
- Disponer de Penetradores de diferentes diámetros para realizar huellas sobre materiales de distinta dureza.
- Seleccionar la Carga adecuada en función del material.

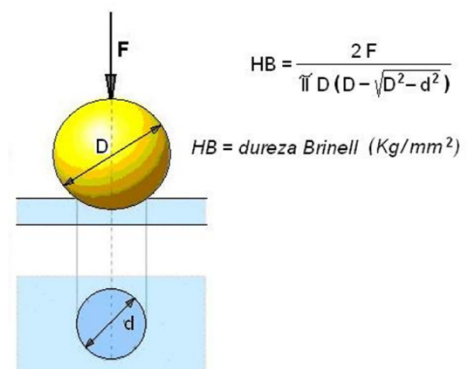


Ilustración 2: Método Brinell

En la-tabela 1, podemos apreciar las distintas cargas necesarias para las diferentes bolas utilizadas como penetrador, según el material sobre el que queramos realizar el ensayo. La relación de ensayo es consecuencia de la necesidad de que todas las huellas sean geoméricamente semejantes y así obtengamos el mismo dato de dureza para cualquier tipo de combinación carga-penetrador que utilicemos sobre un mismo material.

$\frac{P}{D^2} = K$	K	
<b>Aceros</b>	30	<b>Tabla durezas bola de ensayo</b> Diámetro de la bola: 10mm, 5mm, 2.5mm. Cargas: hasta 3000Kg.
<b>Cobres y aleaciones</b>	10	
<b>Aluminio y aleaciones</b>	5	
<b>Sn y Pb</b>	2.5	
<b>Materiales muy ligeros</b>	1.25	

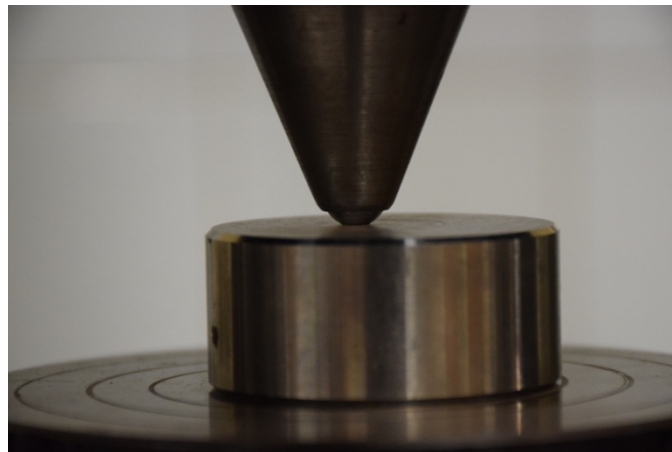


Ilustración 3. Huella penetrador Brinell



Precauciones a tener en cuenta:

1. Superficie a ensayar: debe de estar limpia, pulida y libre de heterogeneidades. Las superficies curvas deberán de rectificarse. En todos los casos hemos de disponer de una superficie plana, ilustración 4.
2. El espesor de la pieza a medir no debe de ser inferior a 10 veces la flecha del casquete de la huella (la huella no debe de quedar marcada en la parte opuesta).
3. Que el centro de la huella diste del borde de la pieza más de  $2d$ .
4. Si la dureza es superior a 500 Brinell, las bolas de acero ordinario sufren deformación y no dan datos correctos, por lo que se emplean bolas de carburo de wolframio que dan resultados aceptables hasta los 725 Brinell.
5. Cuando los espesores son pequeños los resultados no son buenos, por ello para que los resultados sean comparables entre diferentes espesores las huellas tienen que ser geoméricamente semejantes, lo cual se cumple siempre que las cargas sean proporcionales a los cuadrados de los diámetros de las bolas empleadas (normas DIN 50351), tabla 1.
6. El ensayo Brinell queda definido por tres parámetros: el diámetro de la bola,  $d$ , la carga,  $P$ , y el tiempo de permanencia de la carga,  $t$ . Por lo que la dureza Brinell viene especificada por:  $HB_{D/P/t}$
7. Disponer de Microscopio o Lupa para poder medir la huella con una precisión del 0.01mm.



*Ilustración 4. Ensayo Brinell*

Debido a que los datos de dureza Brinell no son convincentes cuando son superiores a 400HB se desarrollaron nuevos ensayos como el ensayo Vickers o Rockwell.

4.2.2. ENSAYO VICKERS (1925)

Ensayo de dureza estática que sirve para determinar la macro/micro dureza de cualquier tipo de material. Utiliza como penetrador una pirámide cuadrangular de diamante. Debido a la dureza del diamante se pueden medir materiales con dureza hasta los 1000 Kg/mm<sup>2</sup>. El tiempo de aplicación de la carga es de 30 segundos. La huella dejada por el penetrador es de forma piramidal y es más precisa que la de la bola y siempre cumple la ley de semejanza de forma que se puede utilizar cualquier carga sobre cualquier tipo de material independientemente de su naturaleza. Al igual que la dureza Brinell, el valor de la dureza Vickers viene dado por el cociente entre la carga aplicada y el área de la huella dejada por el penetrador, ecuación 2.

$$HV = \frac{P}{S}$$

Ecuación 2. Dureza Vickers

Realización del ensayo: (Norma UNE 7-054-73)

- Disponer de una máquina, Durómetro o Microdurómetro, capaz de aplicar la carga deseada con un error inferior al 3%.
- Disponer de microscopio o lupa para poder medir la huella con una precisión del 0.01mm.
- Las cifras de dureza son independientes de las cargas. (P=1-150Kg). Se puede utilizar cualquier carga, tabla 2. Con cargas menores de 1 Kg estaremos trabajando con microdureza.
- El penetrador es una pirámide cuadrangular de diamante.
- Los valores obtenidos coinciden prácticamente hasta las 300 unidades con los valores obtenidos con el ensayo Brinell. A partir de las 600 unidades la diferencia es mayor debido a la deformación de la bola penetrador del ensayo Brinell con materiales duros.
- Huella en forma de rombo cuyas diagonales se miden y se calcula la media.
- La dureza Vickers viene especificada por: (Ecuación 2)

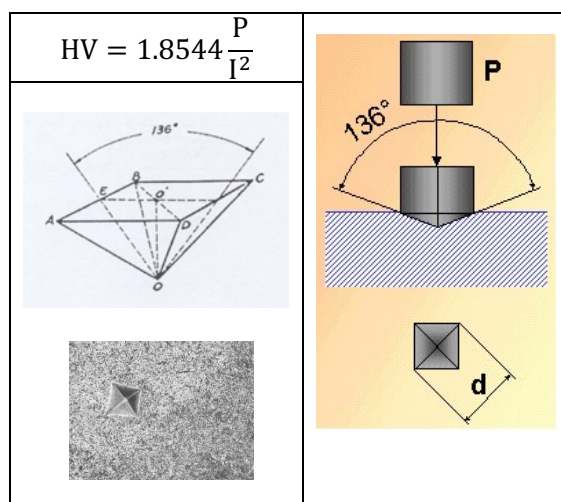


Tabla 2. Dureza Vickers

## Laboratorio virtual de ensayos mecánicos de materiales de interés industrial

Cuando trabajamos con cargas pequeñas (inferiores a 1Kg), estamos trabajando con escalas de microdureza, para lo cual, el aparato de medida que se utiliza es el microdurómetro, (ilustración 5). En este caso somos capaces de determinar la dureza de las diferentes fases y microconstituyentes que integran el material lo que nos sirve para su identificación.



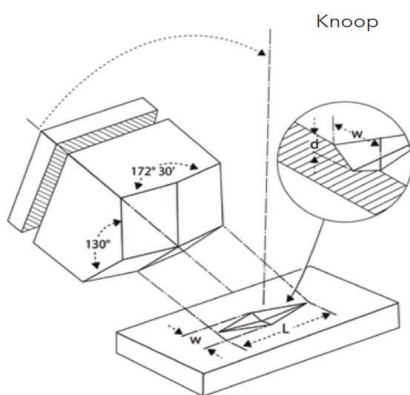
*Ilustración 5. Microdurómetro*

#### 4.2.3. DUREZA KNOOP

La dureza Knoop (HK) es una alternativa a los ensayos Vickers dentro del rango de evaluación de microdureza [7]. Se utiliza básicamente para superar las fracturas en los materiales quebradizos, y para facilitar los ensayos de dureza en las capas finas. El penetrador es un diamante piramidal asimétrico, que deja una huella romboédrica, en la que la diagonal larga es 7,114 veces mayor. La dureza se calcula midiendo ópticamente la longitud de la diagonal larga, ilustración 6. Este ensayo se realiza de la misma manera y con los mismos instrumentos que el ensayo Vickers.

Se usa para materiales duros y quebradizos, como la cerámica y está especialmente indicado para áreas pequeñas y alargadas, como los recubrimientos

La dureza Knoop se determina según la ecuación 3:



$$HK = \frac{14229L}{d^2}$$

Ecuación 3. Dureza Knoop

Ilustración 6. Ensayo Knoop

#### 4.2.4. DUREZA ROCKWELL (1925)

Método sencillo y rápido, aunque menos preciso que los otros dos métodos anteriores. Tiene como ventaja que mide directamente la dureza en el equipo sin necesidad de medir la huella. Se mide la profundidad de la huella permanente dejada por el penetrador. Debido al diseño del equipo para medir la dureza Rockwell cada unidad Rockwell en el reloj comparador supone un aprofundidad de 2µm. Existen diferentes escalas de dureza Rockwell en función del tipo de penetrador y de la cargas aplicadas, las diferentes escalas sirven para medir la dureza de materiales blandos y duros.



Ilustración 7: Ensayo Rockwell

Realización del ensayo: (Norma UNE)

- a. Disponer de una máquina, DURÓMETRO ROCKELL, capaz de aplicar la carga deseada con un error inferior al 3%, ilustraciones 8 y 9.



Ilustración 9: Selector de Cargas del Durómetro



Ilustración 8: Reloj comparador del Durómetro

- a. Se aplica una carga previa de 10 Kg que origina una huella de profundidad  $h_0$ . Esta precarga ayuda a sujetar la probeta y evitar defectos superficiales. Posteriormente se aplica una carga adicional, cuyo valor será diferente en función de la escala en la que se esté trabajando. El penetrador ahora alcanza una profundidad  $h_1$ . Una vez aplicada toda la carga, rápidamente se retira quedando el penetrador a una profundidad de  $h$ , esto es consecuencia de la recuperación elástica del material al eliminar parte de la carga. La dureza se mide directamente en el reloj comparador del equipo que corresponde con el valor de  $e = h - h_0$ , ilustración 10. Esta medida se obtiene directamente en el reloj comparador del durómetro, ilustración 11. La ilustración 12 nos muestra algunos de los penetradores, patrones y soportes utilizados durante estos ensayos.

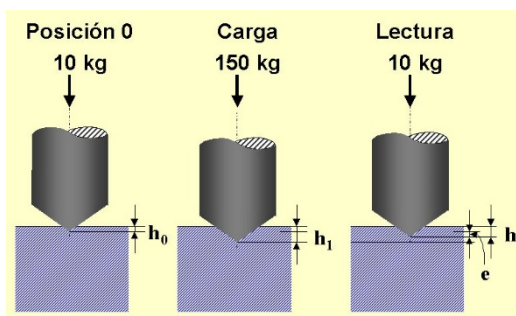


Ilustración 10: Secuencia de Ensayo Rockwell



Ilustración 11: Reloj comparador con carga inicial de 10Kg



Ilustración 12: Penetradores Rockwell

b. Escalas de dureza Rockwell

Escala	Rockwell B	Rockwell C
Penetrador	Bola de acero (1.58mm= diámetro)	Cono de diamante
Carga	10+90 Kg	10+140 Kg
Material	Blando	Duro
Nomenclatura	xHRb	xHRc

Tabla 3. Escalas de dureza Rockwell

Existen dos escalas de dureza Rockwell: La escala Rockwell B y la escala Rockwell C, tabla 3 que son las más utilizadas. La primera se utiliza para materiales blandos como latón, cobre o aceros al carbono, mientras que la escala Rockwell C se utiliza con materiales duros como aceros templados. En general con esta escala se cubre prácticamente materiales de cualquier dureza. En el reloj comparador tenemos la escala negra que se utiliza para la Dureza Rockwell C y la escala roja que se utiliza para la escala Rockwell B. Se observa un desplazamiento de 30 unidades de una con respecto de otra para evitar que materiales que sean demasiado blandos para la escala C sean demasiado duros para la escala B.

- a. **Dureza Rockwell Superficial.** Procedimiento similar al Rockwell normal, se diferencia en la carga inicial y en las cargas adicionales. Los penetradores pueden ser la bola de acero o el cono de diamante. Se emplea para determinar la dureza en chapas muy delgadas. Se utilizará como penetrador la bola de acero para materiales blandos y el cono de diamante para materiales duros, exactamente igual que en el Rockwell convencional.

Escala		Rockwell Superficial	
<b>Penetrador</b>	Bola de acero (1.58mm= diámetro)	cono de diamante	
<b>Carga</b>	3 + (15, 30, 45 Kg)		
<b>Material</b>	Blando	Duro	
<b>Nomenclatura</b>	xHSRb	xHSRc	

*Tabla 4. Escalas de Dureza Rockwell Superficial*

#### 4.2.5. REALIZACIÓN PRÁCTICA DE UN ENSAYO ROCKWELL

En este apartado se propone la realización de un ensayo práctico para determinar la dureza de un material mediante el método Rockwell escala C al tratarse de un material duro

- 1º Material: Acero Templado F1140
- 2º Equipo: Duroméetro Rockwell
- 3º Penetrador: Cono de diamante
- 4º Precarga: 10 Kg aplicada manualmente hasta que la aguja pequeña roja del reloj comparador se sitúa en el punto negro. Posición  $h_0$ . Se ajusta la aguja negra grande a la posición de referencia 0.
- 5º Se aplica carga total de 140Kg más hasta aplicar la carga de 150 Kg seleccionada. Para ello se levanta la palanca. La aguja grande se mueve en sentido a las agujas del reloj e indica la penetración en el material
- 6º La carga está aplicada completamente cuando se ilumina el botón rojo. Posición  $h_1$ .
- 7º Se retira la carga de modo que sobre el material sólo actúa la precarga. Posición  $h$ . El reloj comparador gira en sentido de las agujas del reloj ya que disminuye la penetración por la recuperación elástica
- 6º Medida de la dureza en la escala Negra- Dureza Rockwell C.
- 8º Para materiales blandos, escala Rockwell B, el esquema es idéntico solo que en este caso la carga total es de 100Kg y el penetrador es una bola de acero de diámetro = 1/16 pulgada. La medida se realiza con la escala Roja-Dureza Rockwell B



4.2.6. CORRELACIONES ENTRE DISTINTOS ENSAYOS Y ESCALAS DE DUREZA.

En las tablas 5 y 6 se recogen algunos datos comparativos entre los tres ensayos de dureza descritos anteriormente.

- Condiciones del ensayo:

Brinell: bola de acero 2.5mm de diámetro. P= 187.5 Kg.

Rockwell C: penetrador de cono de diamante con 150 Kg de carga total.

Rockwell B: penetrador de bola de acero de 1/16" con 100 Kg de carga total.

Vickers: pirámide de diamante con 100 Kg de carga.

MATERIAL	BRINELL				Σ	HB	ROCKWELL B			
	1	2	3	HRb			1	2	3	
<b>F1110</b>	1.30	1.35	1.30	1.32	<b>127</b>	72	74	7	<b>73</b>	
<b>F1120</b>	1.25	1.20	1.20	1.22	<b>150</b>	79	83	8	<b>81</b>	
<b>F1130</b>	1.15	1.20	1.15	1.17	<b>164</b>	88	85	8	<b>87</b>	
<b>F1140</b>	1.10	1.15	1.05	1.10	<b>187</b>	92	89	9	<b>91</b>	
<b>F1150</b>	1.00	1.05	0.95	1.00	<b>229</b>	10	100	8	<b>99</b>	

MATERIAL	VICKERS				Σ	HV	ROCKWELL C			
	1	2	3	HRc			1	2	3	
<b>Templado</b>										
<b>F1140</b>	0.87	0.86	0.88	0.87	<b>245</b>	2	19	2	<b>20</b>	
<b>F1150</b>	0.79	0.81	0.81	0.80	<b>290</b>	2	29	2	<b>28</b>	
<b>F1250</b>	0.74	0.70	0.72	0.73	<b>345</b>	3	36	3	<b>35</b>	
<b>F1260</b>	0.65	0.68	0.68	0.67	<b>405</b>	4	40	4	<b>41</b>	
<b>Recocido</b>										
<b>F1110</b>	1.19	1.22	1.22	1.21	<b>126</b>					
<b>F1120</b>	1.10	1.12	1.10	1.11	<b>151</b>					
<b>F1130</b>	1.07	1.04	1.04	1.05	<b>167</b>					
<b>F1140</b>	0.97	0.99	0.98	0.98	<b>191</b>					

Tabla 5: Tabla comparativa de durezas

Hardness Testing Method	Standard	Load Range	
<b>Vickers</b>	ISO 6507 ASTM E384 ASTM E384	10 gf - ≤100 kgf 1 gf - ≤1 kgf >1 gf - ≤120 kgf	(0.0981 - ≤9.807 N) (0.0098 - ≤9.807 N) (>9.807 - ≤1176.800 N)
<b>Knoop</b>	ISO 4545 ASTM E384	1 gf - 1 kgf 1 gf - 1 kgf	(0.0098 - ≤9.807 N) (0.0098 - ≤9.807 N)
<b>Brinell</b>	ISO 6506 ASTM E10	1 kgf - 3000 kgf 1 kgf - 3000 kgf	(9.807 - 29420 N) (9.807 - 29420 N)
<b>Rockwell</b>	ISO 6508 ASTM E18	15 kgf - 150 kgf 15 kgf - 150 kgf	(147.1 - 1471 N) (147.1 - 1471 N)

Tabla 6: Tabla comparativa Tipos de Ensayo

#### 4.1.2. ENSAYOS DE DUREZA DINÁMICA:

Consisten en medir la energía elástica que es capaz de absorber el material cuando se le aplica una carga a una cierta velocidad. Los materiales que mayor energía absorben son más blandos y los más duros absorben menor cantidad de energía.

Los valores obtenidos son menos precisos y exactos que los obtenidos mediante los ensayos estáticos, además presentan más errores, pero requieren de aparatos sencillos, son muy rápidos y portátiles. Existen dos métodos diferentes para realizar estos ensayos y son el método de choque y el método de retroceso.

##### 4.1.2.1. MÉTODO DE CHOQUE:

Similar al método Brinell salvo que en este ensayo la carga se aplica rápidamente mediante una bola de acero de 5mm de diámetro dejando una huella permanente que se mide su diámetro y la dureza se extrae de tablas que acompañan al aparato. Aparato clásico es el **Poldi**. Consideraciones que se deben de tener en cuenta:

- Perfecta fijación de la probeta para evitar pérdidas de energía en el choque.
- Perfecta perpendicularidad de modo que el golpe esté en dirección normal a la superficie de la probeta.

##### 4.1.2.2. MÉTODO DE RETROCESO

Si se deja caer desde una determinada altura un pequeño martillo (punta redondeada de diamante) sobre la probeta, la energía de caída originará una huella elástica por lo que el martillo retrocederá a una altura menor debido a la energía absorbida para generar la huella. A la altura alcanzada en el primer rebote es la dureza de retroceso. Cuanto mayor sea la altura menor será la energía absorbida y por tanto mayor será la dureza del material. Existen diferentes aparatos en función del tipo de martillo, y altura de caída. Uno de los equipos más utilizados son el **esclerómetro Shore**, ilustración 13.

Debido al nombre del equipo, este método se denomina Dureza Shore, donde:

- $h_1$ , altura inicial.
- $h_2$ , altura alcanzada en el primer rebote (dureza de retroceso).

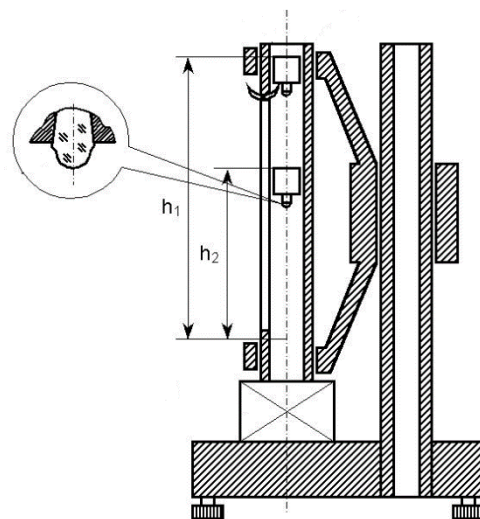


Ilustración 13: Esclerómetro Shore

#### 4.1.3. DUREZA POR ULTRASONIDOS

La inspección ultrasónica forma parte de los métodos de inspección y ensayos no destructivos. La comprobación de fallas se realiza mediante un procedimiento acústico. Una sonda envía ondas sonoras a través de materiales conductores de ultrasonido en un rango de frecuencia aproximado de entre 500 kHz y 50 MHz. El ultrasonido rebota en aquellos lugares donde se encuentran materiales de diferente densidad e impedancia de onda. Estas capas límite se encuentran por ejemplo en cavidades, fisuras, etc. Estos son factores determinantes que requieren una comprobación del medio de unión.

Mediante la medición del tiempo de tránsito del ultrasonido, es posible determinar el tamaño y la posición de la falla en prácticamente toda la pieza. Es por ello que la inspección ultrasónica para la comprobación de fallas sirve principalmente para el control de piezas metálicas en los diferentes sectores industriales, para la comprobación de soldaduras y materiales y para el control de productos semi-acabados. También puede ser utilizado para medir el grosor de un material, la dureza o el caudal de una tubería.

La medición de la dureza superficial de un material es un área importante de la inspección ultrasónica. El procedimiento UCI (Ultrasonic Contact Impedance) permite realizar un ensayo no destructivo directamente en el propio material o en el producto ya terminado. El fundamento del ensayo se basa en la diferente velocidad de propagación de la onda en función de la dureza del material

##### 4.1.3.1. MEDIDOR DE DUREZA POR ULTRASONIDOS

]El medidor de dureza sirve para la determinación rápida de la dureza de superficies, este aparato es apto para la medición de la dureza de metales, plástico, goma, textiles [8]. La dureza se indica o bien directamente en Rockwell B, Rockwell C, Vickers HV, Brinell HB, Shore HS, Leeb HL, o bien en unidades de dureza según DIN ISO.

Sobretudo en la producción, el control de calidad y el sector de servicios, este medidor de dureza tiene mucho éxito a nivel industrial gracias a su empleo móvil. Esto le permite realizar comprobaciones con un esfuerzo mínimo a una velocidad máxima. El principio de las mediciones de dureza de materiales es siempre el mismo, solamente se diferencia entre el método estático y el dinámico para ajustar dicha medición.

Mediante el medidor de dureza para materiales metálicos, se pueden comprobar las durezas de superficiales de acero, hierro fundido, acero de herramientas, acero inoxidable, colada gris, aleaciones de aluminio, latón, bronce y cobre de modo rápido, preciso y sencillo. La principal ventaja de este método de medida es su capacidad de realizar la medición *insitu*, sin necesidad de transportar los materiales a un laboratorio de medida.

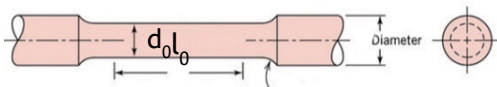
## 4.2. ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción es el ensayo más importante de los ensayos mecánicos [9]. Su desarrollo viene especificado por la Norma UNE EN ISO 6892 [10]. Nos informa de las características mecánicas que se utilizan directamente en el cálculo de estructuras como la resistencia mecánica, el límite elástico o el módulo de elasticidad. También a partir de la resistencia mecánica podemos conocer la dureza del material. Este ensayo estudia el comportamiento de los materiales cuando están soportando esfuerzos de tracción progresivamente creciente, ejercido con una máquina apropiada hasta la rotura. Es el ensayo base de referencia por el que se determinan las propiedades y características mecánicas de los materiales metálicos y plásticos. En el caso de los materiales cerámicos su inherente fragilidad hace que no se utilice demasiado.

### 4.2.1. SECUENCIA DE ENSAYO

A una probeta normalizada y previamente marcada según norma EN 10002-1, ilustración 14, se la coloca en la máquina universal de ensayos y se sujeta mediante unas mordazas. Posteriormente se aplican cargas a tracción progresivamente crecientes y se registran los desplazamientos que se van desarrollando en la misma hasta llevarla a rotura. El ensayo concluye cuando la probeta rompe.

Ilustración 14: Probeta de Ensayo de Tracción



Probeta normalizada

Ley de Semejanza  $l_0/\sqrt{S_0} = 5,65$

Los datos registrados por la máquina universal son llevados a un gráfico Tensión – Deformación, dando lugar a la curva ingenieril  $\sigma$ - $\epsilon$ , ilustración 15.

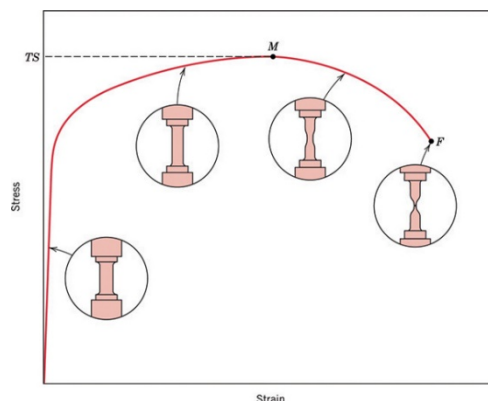


Ilustración 15: Curva Tensión-Deformación

Para poder extraer toda la información de las curvas de tracción necesitamos conocer unos conceptos previos:

- Deformación elástica: no permanente.
- Deformación plástica: permanente.
- Esfuerzo nominal o tensión normal unitarias ( $\sigma$ ),  $\sigma = F/S_0$  ( $N/mm^2$ ) Ecuación 4

- Elongación o deformación longitudinal ( $\epsilon$ )  $\epsilon = l-l_0 / l_0$  Ecuación 5
- Contracción transversal ( $\epsilon_d$ ).  $\epsilon_d = (S-S_0)/S_0$  Ecuación 6
- Coeficiente de Poisson:  $\mu = \epsilon_d / \epsilon$  Ecuación 7

#### 4.2.2. CURVA INGENIERIL

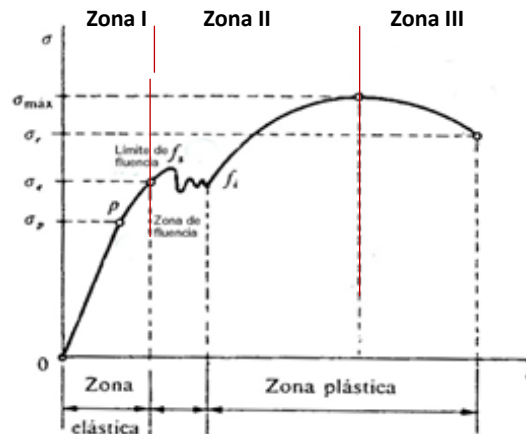


Ilustración 16: Curva Ingenieril

La curva Ingenieril ( $\sigma$ - $\epsilon$ ), ilustración 16, se puede dividir en tres tramos o zonas:

**Zona I** (zona de proporcionalidad):

Las deformaciones que tienen lugar son deformaciones elásticas (deformaciones no permanentes). Los alargamientos unitarios son proporcionales a las tensiones aplicadas, se cumple la Ley de Hooke.

Módulo de elasticidad Ecuación 8  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$

Se pueden extraer las siguientes características:

- Módulo de elasticidad o Módulo de Young ( $E$ ,  $N/mm^2$ ), ecuación 8. Constante de proporcionalidad que relaciona tensiones y deformaciones, es la pendiente de la recta de la zona elástica.  $\text{tg } \alpha = E$ .  
Nos informa de la rigidez de los materiales, cuanto mayor es el módulo de elasticidad menores son las deformaciones elásticas. Los materiales de bajo módulo de elasticidad son ideales para absorber trabajos de choque.
- Límite de proporcionalidad ( $\sigma_p$ ). Tensión unitaria por encima de la cual las deformaciones deja de ser proporcional a las tensiones aplicadas.
- Límite elástico real ( $\sigma_{e(0,003\%)}$ ). Tensión unitaria que origina una deformación permanente en el material del 0.003% de la longitud inicial.

### Zona II (de deformación permanente):

Las deformaciones dejan de ser elásticas y pasan a ser deformaciones permanentes. En materiales de elevada ductilidad aparece, en algunos materiales, la zona de fluencia donde el material se deforma sin aumentar aparente de carga. Este comportamiento es debido al movimiento rápido de las dislocaciones. Al acabar la zona de fluencia el material se ha endurecido por deformación plástica en frío (adquiere acritud por anclaje de las dislocaciones), luego se requiere mayor esfuerzo para seguir deformando.

Se extraen las siguientes características:

- Límite de fluencia (máxima y mínima) o límite aparente ( $\sigma_f$ ). Tensiones máxima y mínima en la zona de fluencia a partir de las cuales la deformación se hace permanente. Fácil de determinar ya que la carga queda fijada mientras sigue la deformación.
- Límite elástico convencional ( $\sigma_{e (0.2\%)}$ ). “Yield strength”. Tensión que al actuar durante 10 segundos induce en el material una deformación permanente del 0.2% de la longitud inicial.

Conocer su valor es muy importante en la construcción de estructuras y máquinas, ya que a partir de este límite elástico se adoptan los coeficientes de trabajo o tensiones admisibles, de forma que las piezas no sufran deformaciones permanentes durante su funcionamiento.

### Zona III (de estricción y rotura)

Una vez que se alcanza la tensión máxima del ensayo se produce en la parte central de la probeta una reducción fuerte de sección que denominamos estricción. A partir de este momento se observa una caída de tensión y rotura de la probeta a tensiones por debajo de la máxima carga soportada durante el ensayo. Esto ocurre ya que en la curva ingenieril la tensión está referida a la sección inicial mayor que la real a medida que progresa la estricción.

Se extraen la siguiente información:

- Resistencia a la tracción ( $\sigma_R$ ). Carga máxima soportada dividida por la sección transversal inicial.  
Cuanto mayor es la diferencia entre la resistencia mecánica y el límite elástico mejor aptitud tienen los materiales para sufrir deformaciones plásticas sin romperse. En aceros la diferencia es máxima en estado de recocido y mínima en estado de temple.
- Alargamiento de Rotura (Ductilidad).  $\delta (\%) = l_u - l_0 / l_0$  Ecuación 9
- Estricción de rotura ( $\Psi (\%)$ )  $\Psi = S_0 - S_u / S_0$ . Ecuación 10

Tanto el alargamiento a la rotura como la estricción de rotura son una medida del grado de la deformación que puede ser soportada hasta la fractura. Luego nos dan la **ductilidad** del material.

- Tenacidad: Capacidad de un material de absorber energía en su deformación y rotura. Área bajo la curva  $\sigma/\epsilon$ , ilustración 17

Nos podemos encontrar diferentes comportamientos en función de la composición del material, de su conformado de su microestructura, de los tratamientos mecánicos, térmicos y superficiales que haya podido experimentar, etc.

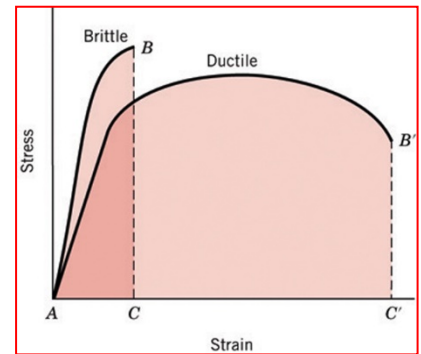


Ilustración 17: Curva T-D Material Dúctil/Frágil

#### 4.2.3. CURVA TENSIÓN-DEFORMACIONES REALES

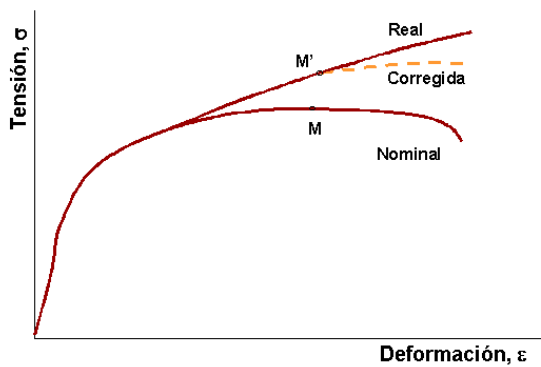


Ilustración 18: Curva Tensión-Deformaciones Reales

La disminución en la tensión necesaria para continuar la deformación una vez superado el máximo parece indicar que la resistencia a la deformación plástica disminuye, pero en realidad, ocurre todo lo contrario. No obstante, el área de la sección disminuye rápidamente dentro de la estricción, que es donde ocurre la deformación. Esto produce una disminución en la capacidad de la probeta para soportar una carga.

La tensión, se obtiene con el área de la sección inicial antes de que el material comience a deformarse, sin tener en cuenta la disminución de área de la estricción.

En ocasiones tiene más sentido utilizar curvas de tensión-deformación reales, que es la mostrada en la ilustración 18.

La tensión real  $\sigma_T$  se define como la carga dividida por el área de la sección instantánea  $A_i$  sobre la cual ocurre la deformación (por ejemplo, la estricción, una vez pasado el máximo), ecuación 11.

$$\sigma_T = F / A_i$$

Ecuación 11

Además, en ocasiones también es más conveniente representar la deformación real  $\epsilon_T$ , definida por ecuación 12.

$$\epsilon_T = \ln (l_i / l_0)$$

Ecuación 12

Si no ocurre cambio de volumen durante la deformación, ecuación 13, o sea, si

$$A_i l_i = A_0 l_0$$

*Ecuación 13*

Las tensiones y deformaciones reales están relacionadas con las nominales  
Mediante ecuaciones 14 y 15:

$$\sigma_T = \sigma (1 + e)$$

*Ecuación 14*

$$\varepsilon_T = \ln (1 + e)$$

*Ecuación 15*

Estas ecuaciones anteriores son válidas solamente al comienzo de la estricción; a partir de este punto la tensión y la deformación reales deben ser calculadas a partir de las medidas de las cargas, secciones transversales y longitudes de prueba reales.

Comparan las curvas de tracción nominales (o de ingeniería) con las reales. Nótese que la tensión real necesaria para aumentar la deformación continúa aumentando una vez superado el punto máximo.

Coincidiendo con la formación de la estricción se origina un estado complejo de tensiones en la zona (es decir, existen otras componentes de la tensión además de la axial). Por consiguiente, la tensión axial correcta en la región de la estricción es ligeramente menor que la calculada a partir de la carga aplicada y del área de la sección de la estricción.

En algunos metales y aleaciones, la región de la curva real tensión-deformación más allá del límite elástico hasta el punto en que comienza la estricción puede aproximarse mediante la ecuación de Luckvic, ecuación 16:

$$\sigma_T = K \varepsilon_T^n$$

*Ecuación 16*

En esta expresión K y n son constantes, cuyos valores varían de una aleación a otra, y también dependen de las condiciones del material (o sea, de si ha sido deformado previamente, o tratado térmicamente, etc). El parámetro n es a menudo denominado exponente de endurecimiento por deformación y tiene un valor menor que la unidad.



### 4.3. ENSAYO DE FLEXIÓN

Ensayo complementario al ensayo de tracción. Se realiza en aquellos casos donde los resultados obtenidos en el ensayo de tracción no son satisfactorios debido a la gran fragilidad del material, como es el caso de los materiales cerámicos. Además, en materiales muy frágiles el límite elástico y la resistencia mecánica tienen un mismo valor ya que su capacidad de deformación plástica es mínima. Luego no es un ensayo general de materiales sino un ensayo destinado a aquellas piezas como alas de avión, órganos de máquinas, etc, que fabricadas con esos materiales frágiles que dan malos resultados en el ensayo de tracción.

#### 4.3.1. SECUENCIA DE ENSAYO

Se realiza generalmente sobre materiales cerámicos, fundición, madera, hormigón y más raramente en acero y materiales dúctiles.

El ensayo se realiza sobre probetas de sección circular o rectangular. Previa medición de las dimensiones de la probeta, esta se coloca libremente por los extremos en dos rodillos cuya distancia puede variar en función de la norma. En la distancia media entre los apoyos se aplica la carga progresivamente creciente y en esta zona se mide la deformación mediante el desplazamiento en el punto central, que es lo que se conoce como flecha, ilustración 19.

La máquina para realizar el ensayo es la máquina universal de ensayos la cual va provista de unos rodillos desplazables, un punzón para aplicar la carga y un dispositivo para medir la flecha o deformación.

Norma EN ISO 178

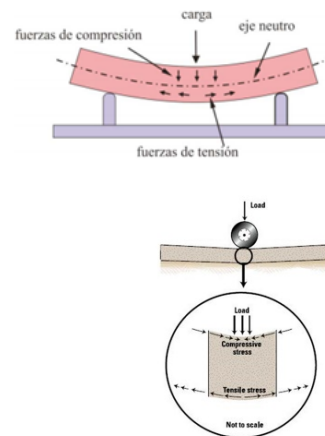
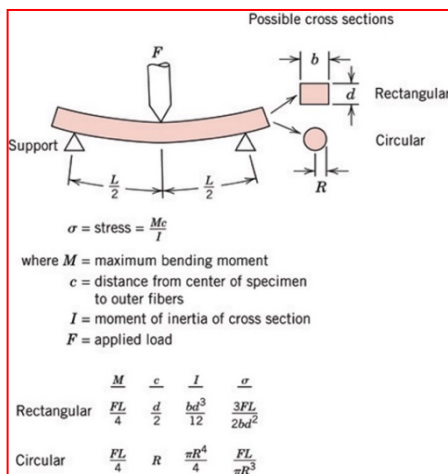


Ilustración 19: Ensayo de Flexión

Las fibras inferiores de la probeta se estiran, luego están sometidas a tracción, mientras que las fibras superiores están sometidas a cargas de compresión. Entre ambas fibras existe una capa de fibras que no experimentan variación de longitud y se denomina fibra neutra, ilustración 19.

El módulo de rotura depende del tamaño de la probeta, debido a que al aumentar el volumen de la probeta aumenta la severidad de los defectos y por consiguiente el módulo de rotura disminuye, ilustración 20.

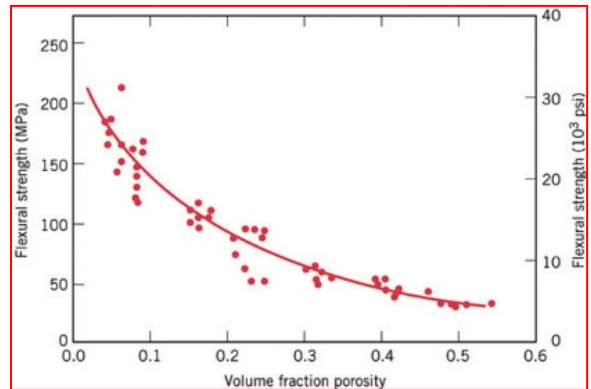
También la porosidad es perjudicial para la resistencia a la fractura o módulo de rotura por dos razones, una los poros reducen el área de la sección a través del cual se aplica la carga, y dos también actúan como concentrador de tensiones. Experimentalmente se ha demostrado que el módulo de rotura disminuye exponencialmente con la fracción de volumen de poros (P) siguiendo la ecuación 17.

$$\sigma_m = \sigma_0 \exp(-nP)$$

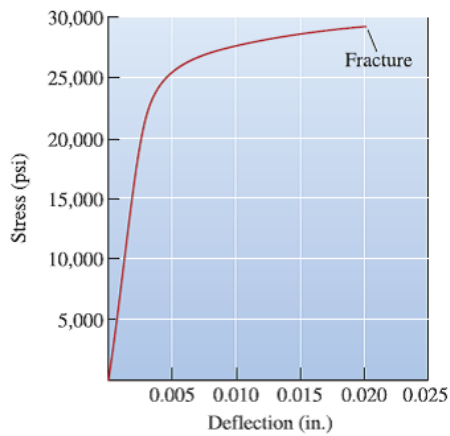
*Ecuación 17*

Donde  $\sigma_0$  y n son constantes experimentales.

Los resultados del ensayo de flexión son similares a la curva tensión-deformación, sin embargo, la tensión se expresa en función de la deflexión o flecha, ilustración 21



*Ilustración 20: Curva Tensión-Deflexión*



*Ilustración 21: Curva Tensión-Deflexión. para el MgO*

## 5. HERRAMIENTA DE CREACIÓN DE LA APLICACIÓN WEB

En este apartado se expondrá de manera detallada el proceso de desarrollo de la aplicación web, la herramienta elegida ha sido un programa llamado ExeLearning, una interfaz código abierto capaz de proporcionarnos todo lo necesario para la creación de contenido didáctico e interactivo adaptado a nuestras necesidades [11].

Se ha escogido esta herramienta dada su facilidad de utilización y programación, además de la capacidad de exportar el contenido a formato HTML y así poder publicar en la Red, Moodle u otro tipo de plataforma, lo que nos permite que esta aplicación didáctica pueda ser utilizada desde multitud de dispositivos sin necesidad de adaptarla a distintos formatos. Además, dada la capacidad de incluir enlaces a otras webs o a vídeos explicativos, es perfectamente compatible si queremos que sirva como nexo a otras herramientas didácticas y que, de esta manera, se complementen.

Aquí expondremos todo el proceso, desde una introducción al manejo y utilización a nivel usuario de la herramienta, hasta la descripción detallada del programa final, aportando capturas de pantalla y explicaciones precisas de los principales aspectos de este software.

### 5.1. INICIO Y ENTORNO DE TRABAJO

Primeramente, se procederá a la descarga e instalación del software. Este programa es gratuito y descargable directamente de su página web. En nuestro caso, se ha desarrollado la aplicación desde un sistema operativo macOS, pero es perfectamente compatible con cualquier ordenador.

Una vez descargado e instalado, seleccionamos el idioma y nos encontramos el siguiente entorno de trabajo, ilustración 22:

- **Estructura:** en esta sección podremos crear y visualizar el índice de los contenidos que vayamos añadiendo
- **Menú principal:** en esta sección podremos gestionar los archivos, la impresión, las exportaciones, los estilos, las preferencias de usuario y la ayuda. A la derecha aparece el botón de "Previsualización" y la opción de activar el "Modo avanzado", que mostrará opciones avanzadas en los menús.
- **iDevices:** en esta área podremos elegir entre diferentes elementos ("iDevices") que nos permiten incluir diferentes tipos de contenidos y actividades interactivas.
- **Área de trabajo:** en esta sección hay dos pestañas: en la pestaña "Contenido" podremos visualizar los contenidos que vamos creando y en "Propiedades" incluir datos referentes a nuestras creaciones.

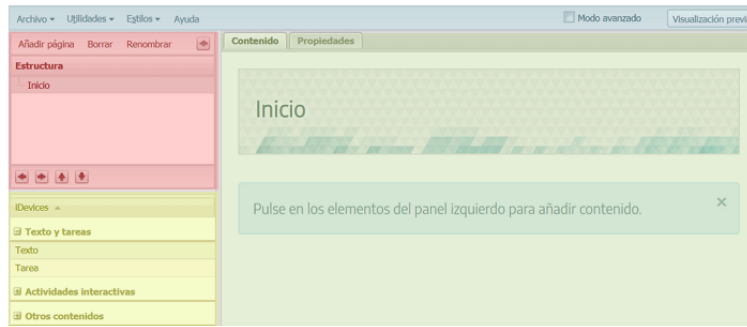


Ilustración 22: Inicio y entorno de trabajo

### 5.1.1. ESTRUCTURA

En este apartado podemos encontrar las herramientas para crear un árbol de contenidos, ilustración 23, lo que nos ayudará a organizar y encontrar más fácilmente los diferentes apartados en los que estructuraremos nuestro trabajo. El funcionamiento es muy básico e intuitivo, para crear una nueva página o nodo, seleccionaremos el nodo del que queremos que cuelgue y añadiremos una nueva página. En todo momento se pueden renombrar los diferentes apartados o reorganizar de la manera que más nos convenga borrando los que no necesitemos o añadiendo nuevos. A parte, mediante los iconos de las flechas, podremos ocultar el árbol para visualizar más cómodamente el entorno de trabajo donde estamos creando nuestros contenidos.



Ilustración 23: Estructura

### 5.1.2. MENÚ PRINCIPAL

Mediante esta serie de comandos, ilustración 24, podremos realizar tareas como abrir, editar, guardar, borrar, etc. También existen herramientas para dar formato al contenido que estemos creando, mediante el apartado de estilos, donde se modificarán parámetros como los colores, tema y fuente de nuestro trabajo.

El menú Ayuda, nos muestra tutoriales y consultas sobre el programa eXe, con enlaces a manuales y vídeos explicativos.

También nos encontramos una casilla para activar lo que se conoce como Modo Avanzado, en nuestro proceso de creación de la herramienta, mantendremos esta casilla activada para visualizar y poder acceder a todos los comandos del programa.

Otro botón importante es el modo de Visualización Previa, donde, a medida que vayamos creando el programa, podremos visualizar el contenido como si lo viésemos en un Sitio Web ya publicado, lo que es fundamental para comprobar de qué manera lo percibiría el usuario final.

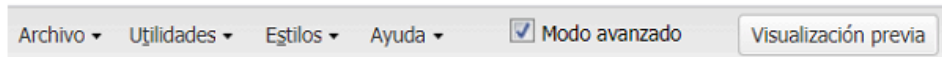


Ilustración 24: Barra de Menú

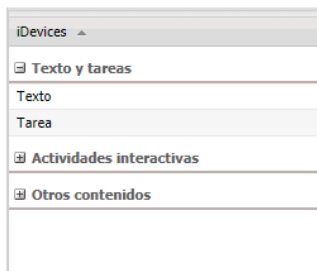
### 5.1.3. iDEVICES

Los iDevices son elementos que nos permiten adjuntar actividades interactivas, tales como juegos, cuestionarios, etc, así como adjuntar imágenes o vídeos que hagan más atractiva la experiencia.

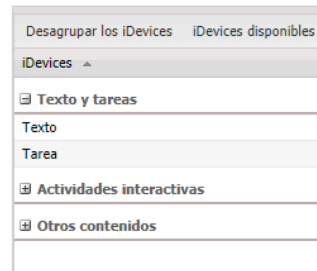
Esta herramienta es de vital importancia para conseguir una aplicación interesante desde el punto de vista didáctico y para obtener un formato visualmente motivador.

Los iDevices están organizados por categorías, según el tipo de acción que realizan, como se aprecia en la ilustración 25.

- iDevices de Texto y tareas
- iDevices de actividades interactivas: permiten al alumno interactuar directamente a través de juegos o cuestionarios.
- iDevices de presentación de información no textual: imágenes, archivos y páginas web. Permiten adjuntar elementos de imagen, sonido y vídeo e hipervínculos al programa.



Modo avanzado NO activado



Modo avanzado activado

Ilustración 25: iDevices

Para obtener más funciones, podemos visualizar este apartado en el Modo Avanzado, lo que nos permitirá agrupar y desagrupar los iDevices en bloques y apartados, además, en iDevices disponibles, podremos visualizar y editar los que ya tenemos creados.

### 5.1.4. ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo es la zona donde iremos visualizando y creando todo el contenido de nuestro programa, aquí veremos dos pestañas, la de Contenido y la de Propiedades, es se muestra en la ilustración 26.



Ilustración 26: Área de trabajo

- Contenido: En esta pestaña se mostrará la creación de contenido como tal, aquí se visualizará el trabajo que vayamos creando con los iDevices que vayamos añadiendo.
- Propiedades: Si activamos el modo avanzado, aquí podremos visualizar tres sub pestañas, ilustración 27.
  - Paquete: Aquí tendremos la posibilidad de editar datos relativos a nuestro proyecto, tales como: título, idioma, descripción, pies de página y más.
  - Metadatos: Son datos que nos ayudan a buscar otro tipo de datos. De manera análoga al uso de un índice para ubicar apartados, con esta herramienta podemos acceder fácilmente a partes específicas del contenido, por lo que ayudan a ubicar datos. Existen varios tipos, como Dublin Core o LOM (Learning Object Metadata).
  - Exportar: En esta pestaña podremos exportar nuestro contenido a otros lenguajes de programación y además podremos abrir y editar otros paquetes en lenguajes scorm, html y otros.

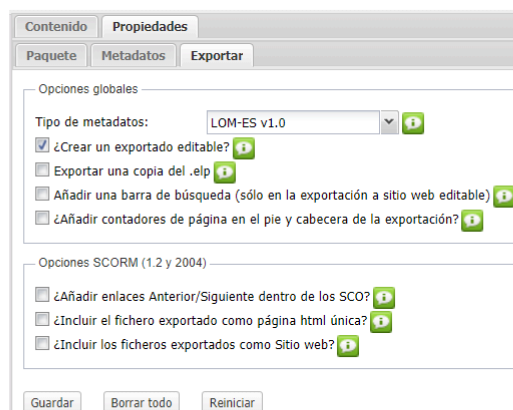


Ilustración 27: Pestaña propiedades

## 5.2. ELEMENTOS PARA LA CREACIÓN DE CONTENIDO

Ahora pasaremos a explicar más detenidamente los elementos con los que se trabaja para crear y editar el contenido de la herramienta didáctica, es decir, los comandos que permiten moldear el aspecto y las funcionalidades de la aplicación final. Estos elementos son el Editor de Texto y los iDevices.

### 5.2.1. EDITOR DE TEXTO

TinyMCE es el editor de texto para poder programar HTML en código abierto utilizado en eXeLearning. En la ilustración 28, podemos visualizar todos los comandos, los cuales son los típicos de un editor de texto de uso más extendido como Microsoft Word, lo que nos facilita el aprender a manejarlo.

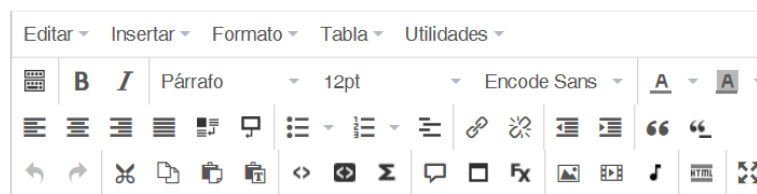


Ilustración 28: Editor de Texto

En la primera fila, encontramos todo lo referente a edición de textos, como tipo de letra, tamaño y fuente. En la segunda, aparecen las acciones de cambiar el formato del texto, alineación de párrafos, enumeraciones, además de la posibilidad de insertar citas. Finalmente, en la tercera fila, aparecen las funciones típicas de copiar, pegar y cortar textos de otra procedencia e incluirlos en el nuestro, además, nos encontramos con funcionalidades interesantes, como el botón Tool Tips, para insertar aclaraciones mediante bocadillos, que faciliten la explicación de algún apartado, el botón FX, que nos permite formatear los distintos apartados en los que queremos dividir el texto de manera visualmente atractiva

En cuanto a las pestañas superiores, encontramos diversas funcionalidades, aquí en la ilustración 29 podemos observar todas las pestañas que incluyen y los comandos desde los que podemos realizar multitud de acciones para dar formato al texto:

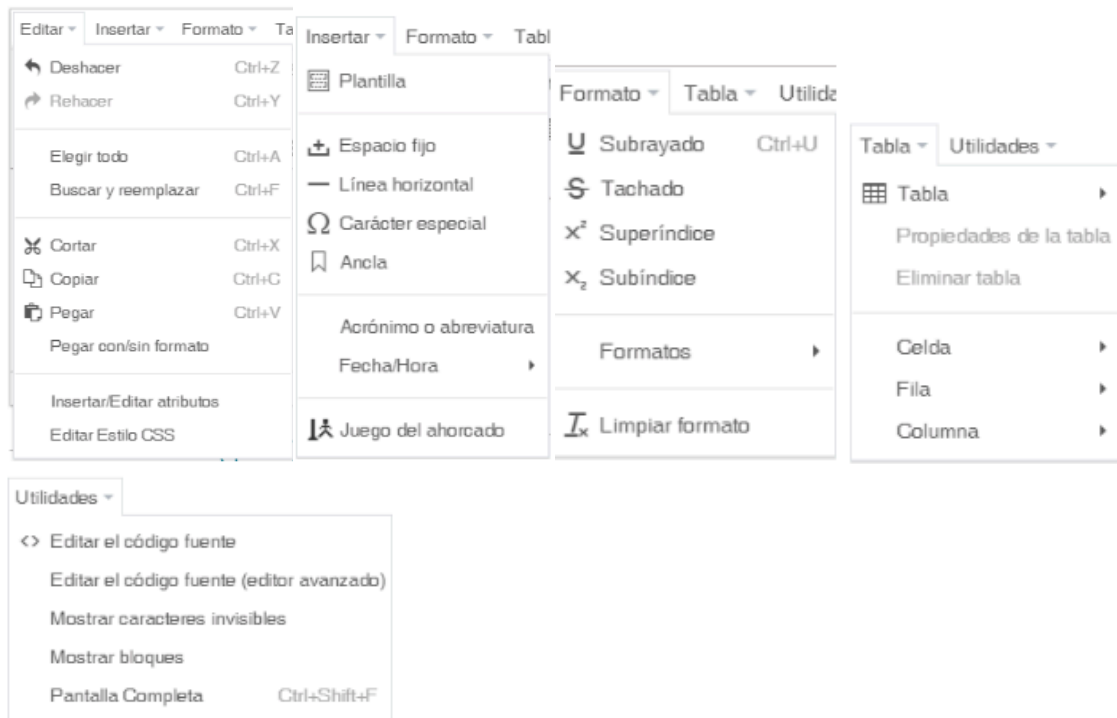


Ilustración 29: Comandos del Editor de Texto



Además de las funciones conocidas de un editor de texto, en eXeLearning, tenemos una serie de comandos añadidos, para facilitar la tarea de la creación de la aplicación web y darle un mayor atractivo y funcionalidad, las funcionalidades más interesantes son:

- **Efectos FX:** Nos permiten ordenar los distintos apartados de un mismo bloque de una manera atractiva y sin sobrecargar la página, pudiendo abrirlos por separado y visualizar el contenido de manera más ordenada.
- **Bocadillos (ToolTip):** Gracias a este tipo de efectos, podemos escribir breves aclaraciones o definiciones en palabras clave del texto, al mover el cursor sobre esas palabras, se desplegará un recuadro o bocadillo con la explicación que queramos añadir a esa palabra. Esto es de especial utilidad en el caso de textos científicos o contenidos didácticos como es nuestro caso, ya que aporta un valor añadido al texto facilitando su comprensión al lector.
- **Listado de definiciones:** De forma parecida a la creación de ToolTips, esta función nos permite crear una lista desplegable con las palabras más importantes sobre las que queramos aportar una definición aclaratoria. Esto puede ser de utilidad para, antes del texto, introducir en los contenidos a los lectores y que, de esta manera, puedan entender mejor el escrito.
- **Citas con autoría:** Facilita la incorporación de citas de otros textos al nuestro, pudiendo referenciar frases o palabras automáticamente aportando los datos de autor y obra.
- **Hipervínculo:** Podemos incluir de manera sencilla, enlaces a cualquier tipo de archivo, sin necesidad de incorporarlo en nuestro texto.
- **Editor de código HTML:** Aunque para este trabajo no se va a profundizar en la creación de código HTML, ya que se va generando automáticamente a medida que incorporamos funcionalidades en nuestra aplicación, este programa utiliza internamente el código, al cual podemos acceder para incorporar las funciones que deseemos de manera manual introduciendo el código o editando el ya creado.
- **Efectos Lightbox:** Este tipo de efectos, nos permiten que, al hacer clic sobre un elemento, ya sea de texto o imagen, se realice otra función, como por ejemplo abrir con zoom la propia imagen o introducir un texto aclaratorio sin necesidad de sobrecargar el texto inicial.
- **Juego Ahorcado:** Como su propio nombre indica, esta funcionalidad nos permite insertar un juego didáctico del ahorcado para amenizar el aprendizaje de conceptos. Esto puede ser interesante a la hora de memorizar conceptos de escritura compleja o con los que no estamos muy familiarizados. De este modo se puede aprender jugando. Podemos introducir tantas palabras como queramos e incluso aportar pistas para ser adivinadas.

### 5.2.2. iDEVICES

Tal y como se ha comentado anteriormente, los iDevices son funcionalidades que aportan un gran factor de entretenimiento a la aplicación. Nos permiten incorporar elementos avanzados, ya sean textos interactivos, cuestionarios, vídeos o incluso juegos, de manera sencilla y así obtener un contenido mucho más atractivo y didáctico. Se encuentran agrupados en tres bloques según sus características, a saber, ilustración 30:

- Texto y tareas
- Actividades interactivas
- Otros

Cuando creamos una serie de iDevices, aparecen agrupados en esas categorías según su funcionalidad, esto nos permite mantenerlos ordenados de una forma clara y obtener una pequeña pista de lo que representa cada uno y donde se encuentra incorporado en el texto.

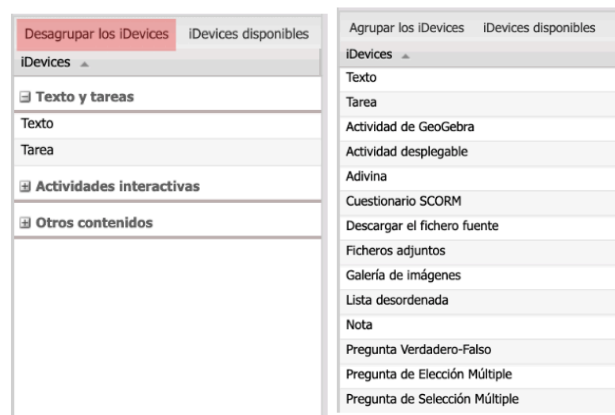


Ilustración 30: Categorías de iDevices

Los dos bloques que más se utilizarán, serán los de texto y tareas y actividades interactivas.

En cuanto a los iDevices de texto y tareas, se trabaja de manera similar a como lo haríamos con un editor de texto normal, con la particularidad de que podemos añadir una tarea al final del escrito, con un tiempo estimado de lectura para asegurarnos de que el estudiante ha pasado el tiempo suficiente atendiendo al contenido.

El bloque que más atractivo, tanto visual como lúdico, nos va a aportar, es el bloque de actividades interactivas. Gracias a esta parte del programa, vamos a poder añadir distintos contenidos de forma interactiva, desde cuestionarios test, vídeos interactivos, preguntas de verdadero o falso o listas de palabras desordenadas, actividades que nos permiten evaluar los conocimientos adquiridos por el alumno tras cada bloque de contenido o como tareas finales de cada apartado del temario. Con los cuestionarios tipo SCORM, nos permiten obtener los resultados vía Moodle para evaluar a los alumnos a través de esta plataforma, lo que es de especial interés para alumnos evaluados a través de esta plataforma en los estudios universitarios.

### 5.2.3. PUBLICACIÓN

Una vez hayamos finalizado la creación de nuestra aplicación, llega el momento de publicarla en la plataforma que deseemos. Para esto, debemos exportarla a un formato que no precise el uso del software de eXeLearning, para poder utilizarla desde cualquier dispositivo, esto lo hacemos desde la pestaña *Exportar*, como muestra la ilustración 31.

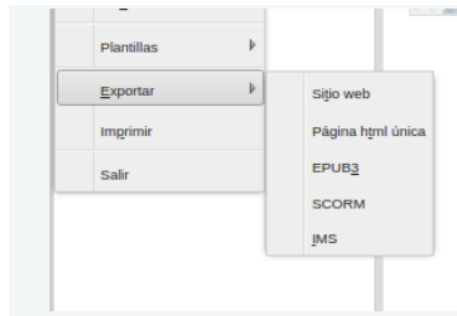


Ilustración 31: Pestaña Exportar

La finalidad de este Trabajo de Fin de Grado, es la creación de un entorno web, al que se pueda acceder desde cualquier ordenador, luego lo que buscamos es exportar nuestra herramienta a un formato que nos permita visualizar todo el contenido desde un sitio web accesible, para ello, habrá que seleccionar la opción de Sitio Web, lo que nos traduce todo el contenido que hayamos creado a un lenguaje HTML para poder crear un web fácilmente. De esta forma, todos los alumnos podrán visualizar el contenido a través de cualquier dispositivo con acceso a Internet.

Al exportar como Sitio Web, eXeLearning crea una carpeta donde le indiquemos, y dentro de esa carpeta, coloca todos los archivos (imágenes, textos, etc.) que hayamos utilizado en nuestro proyecto. Para reproducirlo, basta con abrir el archivo index.html que eXeLearning habrá creado en su interior. Se mostrará una página web con una tabla de contenidos navegable a la izquierda, y si pulsamos sobre un enlace de esa tabla se mostrará en pantalla dicha sección. Podemos grabar el contenido de la carpeta donde deseemos (memoria USB), subirlo a una página web, etc.

## 6. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN Y PRODUCTO FINAL

En este apartado se expondrá el proceso de creación de la aplicación web que se ha diseñado como producto final de este proyecto.

Tras comprender el funcionamiento y familiarizarse con el manejo de la herramienta eXeLearning, pasamos a la creación propia de contenido.

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo principal de este proyecto es la creación de una aplicación web didáctica e interactiva, que sirva para unificar los contenidos teóricos y prácticos de los Ensayos de Dureza y de Tracción en Materiales Metálicos. Esta aplicación se va a diseñar con un formato atractivo, tanto visual como lúdico, para facilitar el aprendizaje y la comprensión de los temas que en ella se exponen. La finalidad real, es que se pueda utilizar en el ámbito educativo universitario, en las diferentes asignaturas en cuyo plan se incluyen estos contenidos.

### 6.1. INICIO DEL PROGRAMA

Abrimos el programa eXeLearning y seleccionamos archivo>nuevo>proyecto. Este será el punto de partida, tal y como se aprecia en la ilustración 32.

Seleccionamos el Modo Avanzado para tener disponibles todas las opciones del programa y comenzamos la creación de contenido.

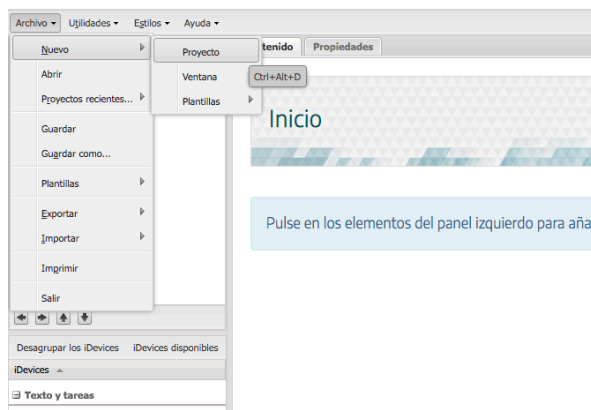


Ilustración 32: inicio del programa

### 6.2. CREANDO CONTENIDO

El modo de trabajar que se ha elegido atiende a la creación de un contenido didáctico, de fácil acceso y entendimiento.

Para ello, se va a tener especial atención en la organización de los contenidos, cosa que, en este programa, podemos realizar fácilmente gracias a la visualización de cada apartado que nos aporta la pestaña "Estructura". Aquí podemos ir viendo las diferentes secciones en las que vamos dividiendo el temario de manera ordenada.

Cada tema que añadamos, podemos reorganizarlo o renombrarlo en cualquier momento, ilustración 33.

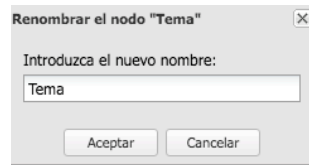


Ilustración 33: Tema

El formato o estilo de nuestra aplicación viene dado por distintos paquetes gráficos que trae el programa. No obstante, siempre que queramos podríamos crear un paquete personalizado con distinta fuente, color de los escenarios o manera de mostrar los apartados.

La estructura final de los contenidos tendrá el aspecto que se muestra en la ilustración 34:

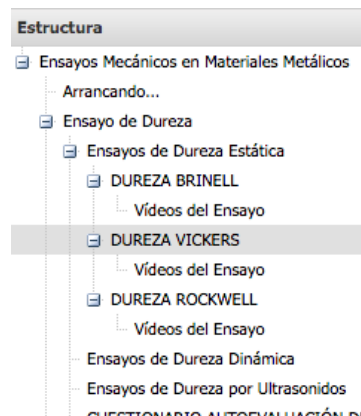


Ilustración 34: Estructura final

Para este diseño web, se van a aportar contenidos de texto, fotos y vídeos y elementos de autoevaluación. A continuación, se explica el *modus operandi* a la hora de incorporar cada tipo de información al programa.

#### 6.2.1. CONTENIDO TEÓRICO

Para añadir el contenido de texto a nuestra aplicación, utilizaremos el iDevice de 'Texto'. Pulsamos sobre el botón y automáticamente se añade a nuestro apartado del árbol de estructura un subapartado, ilustración 35. Aquí podremos escribir el título, añadir un icono representativo del contenido y adjuntar todo lo que necesitemos para reflejar los contenidos teóricos.

Cada subapartado mostrará una parte teórica realizada mediante el editor de textos de eXeLearning. Podemos incluir este aspecto desde el propio editor, escribiendo todo lo que necesitemos, o bien, utilizar la opción de copiar y pegar desde un texto escrito externo a la aplicación.

En nuestro caso, mayoritariamente nos hemos apoyado en esta última opción, ya que en este informe disponemos de los conocimientos teóricos que queremos incluir en la herramienta.

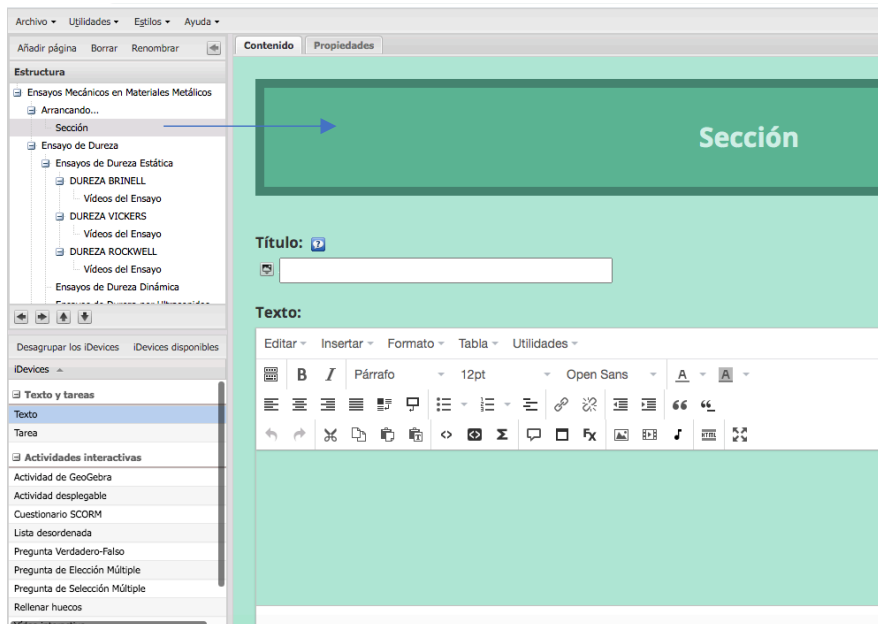


Ilustración 35: Añadiendo apartados de contenido

Para añadir contenido de texto, basta con escribirlo en el editor de texto como si de un documento Word se tratase. Como se ha explicado anteriormente, en este editor de texto podemos aportar diferentes funcionalidades, pero en este apartado de la descripción nos limitaremos a describir únicamente la aportación de contenido en formato de texto.

Basta con introducir desde la barra de iDevices, un elemento de texto y automáticamente se muestra en la ilustración 36:

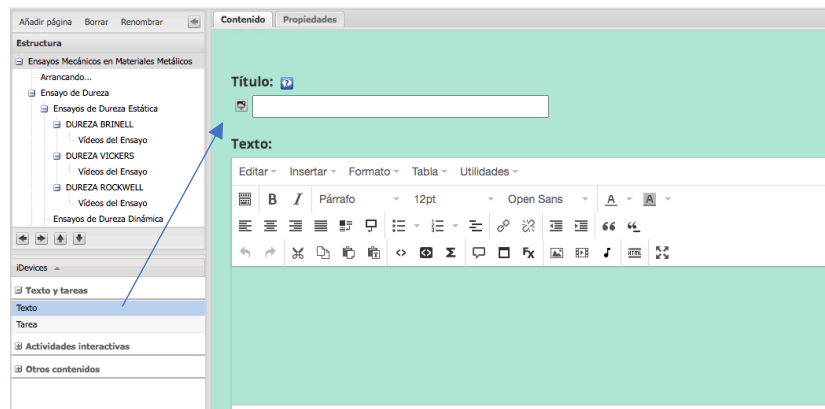


Ilustración 36: Añadiendo iDevice de texto

Aquí podemos incluir cualquier texto que necesitemos, modificar el formato, fuente, color, tamaño de letra, etc. Además, podemos insertar tablas, imágenes y vídeos embebidos en el texto, estos últimos se detallarán más adelante.

Los textos que añadamos quedan introducidos en la herramienta en forma de pestañas desplegadas para una mayor comodidad a la hora de localizar distintas partes del contenido, a cada pestaña podemos darle una apariencia distintiva gracias al icono del título:



Ilustración 37: Apartado completo con iDevices de texto

Dentro de cada pestaña escribimos todos los contenidos que creamos convenientes y adjuntamos también los contenidos multimedia como fotos y vídeos.

Todos los iDevices que añadamos a cada apartado formarán una nueva pestaña, ilustración 37.

También podemos dar al texto formatos especiales, como por ejemplo la vista en pestañas de diferentes temas, para darle mayor dinamismo al tema que queremos representar.

Basta con seleccionar el botón “Fx” en una de las pestañas de editor y elegir el modo de representación que queramos. En nuestro caso, hemos elegido un modo de visualización en forma de pestañas (Ilustración 38).

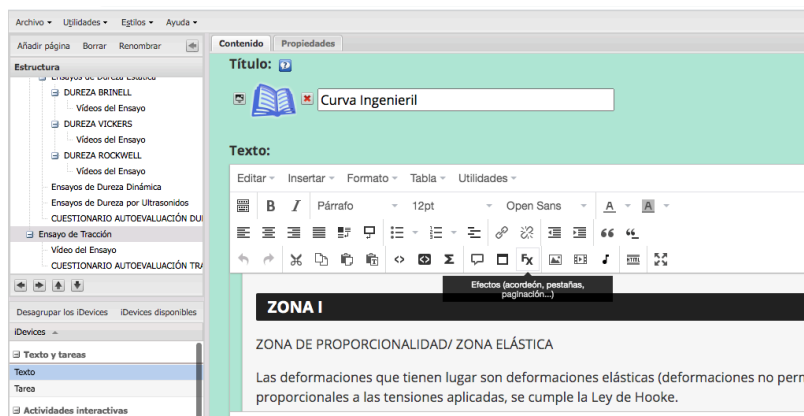


Ilustración 38: Editor de texto con botón Fx

Gracias a este efecto podemos mostrar los contenidos con este aspecto, mucho más atractivo visualmente. (Ilustración 39)

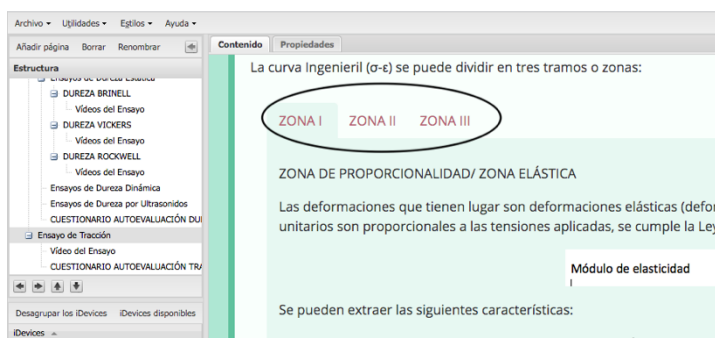


Ilustración 39: Resultado texto botón Fx

### 6.2.2. CONTENIDO GRÁFICO

Tras la creación de contenido en forma de texto, en eXlearning podemos añadir todo tipo de contenido multimedia como fotos y vídeos de una manera sencilla. Gracias a la opción del portapapeles, añadir imágenes no es más que realizar una acción de cortar y pegar en la parte del texto que más nos convenga, ilustración 40. De esta manera quedan embebidas en el texto como si de un editor convencional como Microsoft Word se tratase.

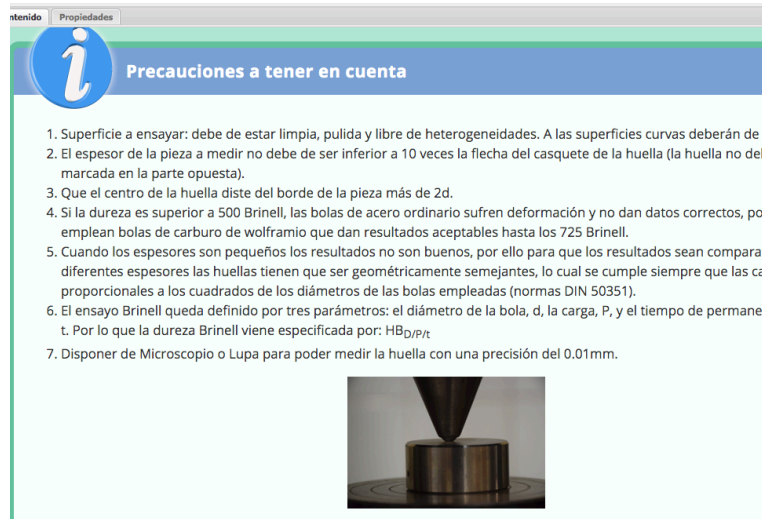


Ilustración 40: Ejemplo de fotografía embebida en texto

En cuanto al aporte de vídeos, se explicará únicamente cómo insertarlos para que quedan embebidos en el texto, en otro apartado de este documento se describirá cómo se han creado y editado esos vídeos para incluirlos en la herramienta virtual. Continuando con cómo insertar esos vídeos, debemos tenerlos subidos a una plataforma online, en este caso Youtube, de la siguiente manera los añadimos:

Hacemos clic en este botón mostrado en la ilustración 41

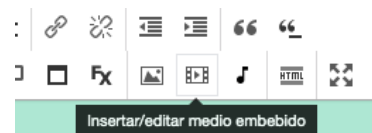


Ilustración 41: Botón medio embebido

Nos aparecerá el siguiente cuadro de diálogo, ilustración 42, donde debemos insertar el enlace de nuestro vídeo que se encuentra en la plataforma Youtube :

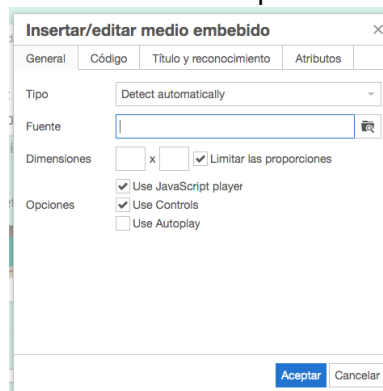


Ilustración 42: Cuadro diálogo medio embebido



## Laboratorio virtual de ensayos mecánicos de materiales de interés industrial

Tras hacer clic en aceptar, el vídeo se inserta automáticamente en el texto donde lo queremos colocar. Le podemos poner un título o pie de foto para identificarlo en el texto de rápidamente.

La reproducción se realiza de manera online y no es necesario navegar hasta la página de Youtube, si no que se reproduce desde la propia herramienta web.

El vídeo queda insertado de la siguiente manera como se muestra en la ilustración 43:



Ilustración 43: Captura mostrando vídeo insertado en el texto

### 6.2.2.1. CREACIÓN DE VÍDEOS

Los vídeos insertados en la herramienta web, son secuencias grabadas en el laboratorio realizando los citados ensayos. Para las grabaciones, se realizaron los ensayos en laboratorio y se grabó todo el contenido necesario para su posterior edición y montaje. Los vídeos fueron realizados mediante un dispositivo Smartphone, luego la calidad de imagen y sonido es bastante mejorable, esto lo incluimos como mejora y líneas futuras del trabajo.

Para la edición y montaje se ha utilizado el programa Wondershare Filmora X, un programa muy versátil e intuitivo para la creación de contenido audiovisual. Esta herramienta permite editar cada secuencia de vídeo, añadir comentarios y texto sobrepresionado, añadir pistas de audio, etc.

Durante la realización de los vídeos, no se ha contado con la licencia completa del programa, luego los vídeos creados y subidos a la plataforma Youtube, cuentan con una marca de agua del propio programa, la cual se puede eliminar obteniendo la licencia completa.

### 6.2.3. CONTENIDO INTERACTIVO

La finalidad principal de esta herramienta es la creación de contenido didáctico sobre el cual los alumnos puedan autoevaluarse. Gracias a las funciones que incorpora este programa, podemos, además de crear contenido de texto y audiovisual, insertar tareas de autoevaluación en multitud de formas.

En este programa, tras cada bloque de temario, hemos incluido una serie de cuestionarios de autoevaluación, esta es la manera más sencilla y rápida de evaluar al

alumno. Son preguntas tipo test que cuando introducimos la respuesta, automáticamente el programa calcula el porcentaje de éxito de la batería de preguntas que nosotros seleccionemos. Además, también se han incorporado actividades diferentes como el juego del ahorcado y preguntas de verdadero o falso, para dar una idea del potencial interactivo que puede tener esta herramienta.

Para insertar cualquier tipo de actividad, debemos seleccionarla desde la pestaña de iDevices>Actividades interactivas, ilustración 44.

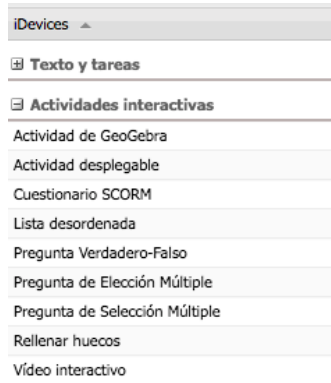


Ilustración 44: Cuadro iDevices de Actividades Interactivas

Aquí se expondrán los diferentes tipos de actividades que hemos incorporado, como se ha comentado anteriormente, en nuestra herramienta hemos incluido Cuestionarios SCORM, Preguntas de Verdadero-Falso y Rellenar Huecos, pero las posibilidades que te ofrece la herramienta son más amplias:

#### 6.2.3.1. CUESTINARIOS SCORM

Este será el contenido interactivo más importante que vamos a introducir en la herramienta. Se trata de cuestionarios test donde nosotros podemos elegir el número de respuestas y de ellas, cuáles son correctas.

Se añadirán cuestionarios de este tipo al final de los principales bloques de contenido teórico, para que se pueda autoevaluar por partes a los alumnos, aunque al final de todo el contenido, se puede crear un cuestionario con preguntas mezcladas de los diferentes bloques.

Insertamos un Cuestionario SCORM desde la pestaña de iDevices y nos aparece el siguiente cuadro de diálogo, ilustración 45:

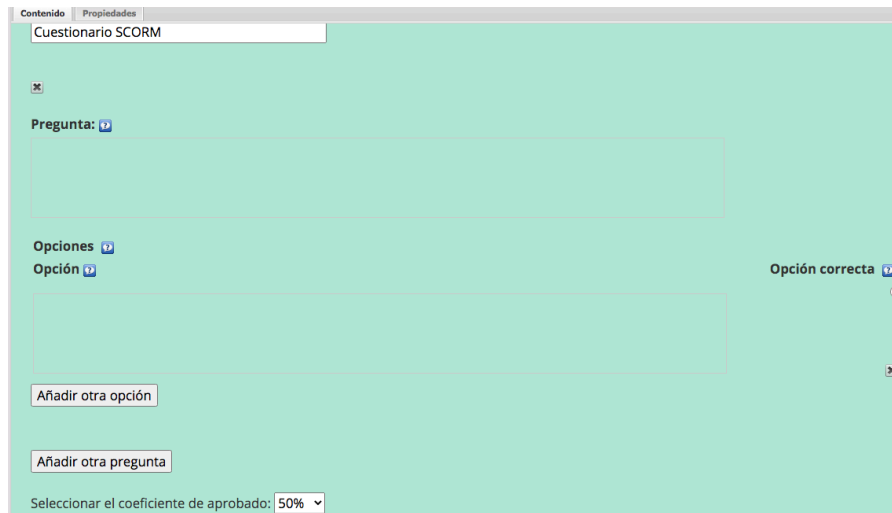


Ilustración 45: Captura insertando cuestionario SCORM

Desde este apartado, podemos escribir la pregunta y añadir cuantas opciones deseemos, además, seleccionamos el coeficiente de aprobado en función de lo que requiera la evaluación de los contenidos.

El cuestionario una vez introducido en la herramienta se muestra de la siguiente manera (Ilustración 46):

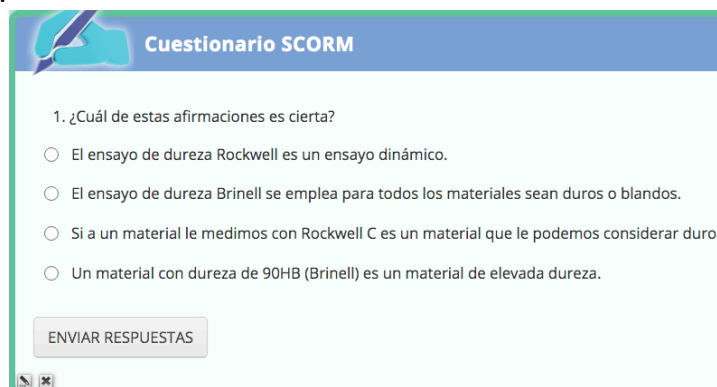


Ilustración 46: Cuestionario mostrado en la herramienta

### 6.2.3.2. PREGUNTAS VERDADERO-FALSO

En este tipo de actividad, se plantea una afirmación y el alumno debe decidir si esta es verdadera o falsa. Antes de responder, se puede proporcionar una sugerencia o pista para la pregunta en cuestión, lo cual es de gran ayuda para facilitar la consecución de la tarea.

Seleccionamos Pregunta Verdadero-Falso en el menú de iDevices>Actividades interactivas, ilustración 47:

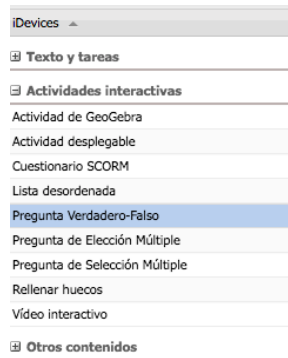


Ilustración 47: iDevice de Pregunta Verdadero-falso

Y aparece el lugar donde escribir el contenido en la zona de trabajo del editor de texto, ilustración 48:



Ilustración 48: Captura Insertando pregunta Verdadero-Falso

Aquí escribiremos tantas preguntas deseemos, con su correspondiente respuesta. Antes de plantear la pregunta podemos hacer una introducción donde reflejar las instrucciones del ejercicio para mayor claridad.

Otro aspecto interesante, es el aporte de una retroalimentación si el alumno fallase la pregunta, de esta manera podría comprobar a modo de test con ayuda el porqué de su fallo y ayudaría a afianzar mucho mejor los contenidos, ilustración 49.



Ilustración 49: Captura insertando retroalimentación V/F

### 6.2.3.3. RELLENAR HUECOS

Esta actividad interactiva propone al alumno la lectura de un breve texto y completar a mano las palabras que faltan.

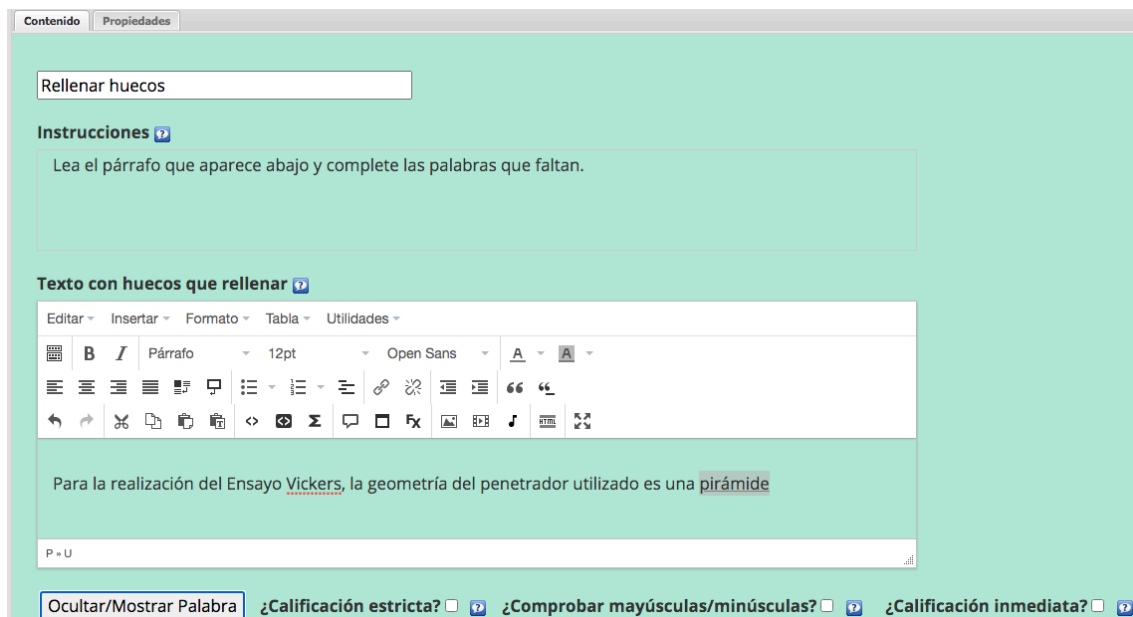


Ilustración 50: Captura insertando actividad rellenar huecos

Escribimos el texto y seleccionamos las palabras que no queremos que se muestren, estas serán las que el alumno deba completar, todo en el cuadro de texto que muestra la ilustración 50.

Para esta actividad, podemos seleccionar el nivel de exactitud gramatical que queremos exigir para considerar la respuesta correcta. Si seleccionamos la casilla de "Calificación estricta", solamente las palabras escritas con las letras exactas que nosotros hayamos

definido serán consideradas correctas. Si marcamos “Comprobar mayúsculas y minúsculas” estaremos diciendo al programa que no permita marcar como correcta una opción de, por ejemplo, un nombre propio con minúscula. Por último, la casilla de “Calificación inmediata”, provocará que cada palabra reciba la calificación a medida que la escriba el estudiante, en lugar de calificarse todas al final del ejercicio.

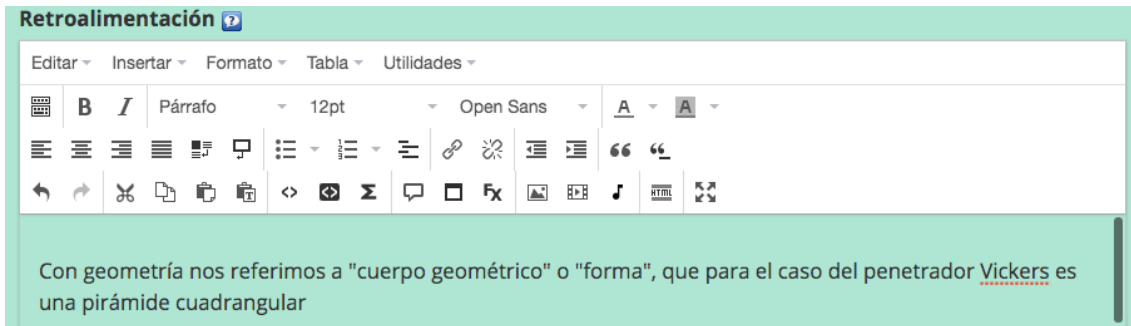


Ilustración 51: Captura retroalimentación rellenar huecos

Al igual que en el caso de las preguntas verdadero-falso, también existe la opción de mostrar una retroalimentación a la pregunta cuando hayamos proporcionado una respuesta, ilustración 51.

El aspecto final del ejercicio será este: ilustración 52.

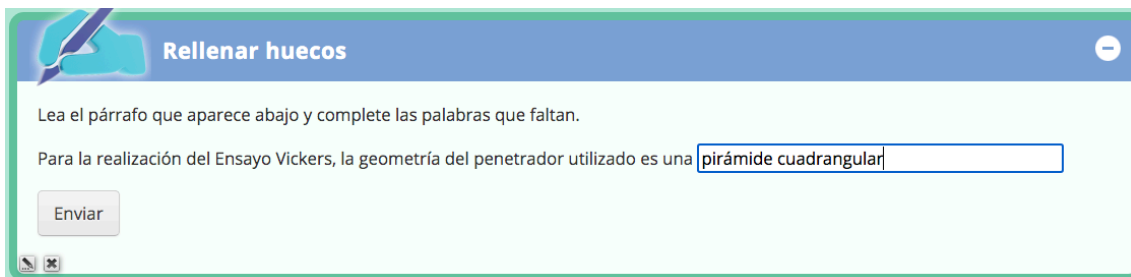


Ilustración 52: Actividad de rellenar huecos

Y tras su realización, la ilustración 53 es lo que se muestra por pantalla:

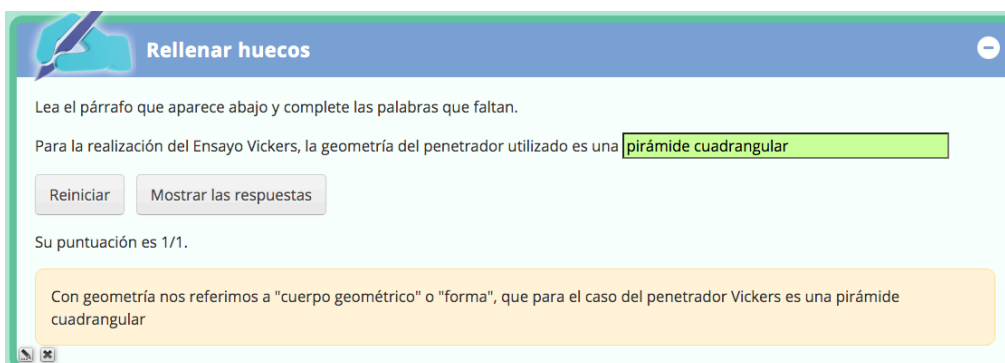


Ilustración 53: Actividad rellenar huecos resuelta

## 7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Los resultados de este Trabajo de Fin de Grado corresponden a la propia aplicación web en sí misma, es decir, la propia herramienta creada a partir del software eXelearning, que engloba los conocimientos de los ensayos mecánicos de mayor interés industrial, y que sirve de guía y método de aprendizaje para los alumnos que se encuentren cursando las asignaturas a las que hace referencia, además de la parte de autoevaluación de los conceptos estudiados, que también puede servir de referencia al profesorado sobre cómo avanzan los conocimientos de los alumnos y de esta manera poder evaluarlos.

Gracias a esta herramienta se va a facilitar la enseñanza de los conceptos relacionados con los ensayos mecánicos en materiales metálicos y también puede servir como base para posteriores ampliaciones de contenido o mejora de algunas de las funciones que posee.

También se puede considerar resultado de este proyecto los vídeos realizados en el Laboratorio sobre los ensayos que en la herramienta se describen. Estos vídeos están colgados directamente en la página Youtube y pueden servir de ayuda para los alumnos que deseen visualizar cómo se realizan estos ensayos sin necesidad de acudir físicamente al Laboratorio de Materiales en caso de que no sea posible la presencialidad. En cuanto a las líneas futuras de este trabajo, sería de especial interés el incorporar más ensayos de materiales a la aplicación, añadiendo los contenidos teóricos y audiovisuales, como nuevos vídeos, para que el alumno pueda visualizar de manera unificada todos los contenidos de ensayos, así como poder realizar las autoevaluaciones en la misma aplicación.

Con respecto a la aplicación creada, se podrían incorporar cada vez más vídeos o estos ser más específicos, además de realizar las ediciones con una herramienta sin licencia, para que la experiencia de visualización sea más completa.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Apps educativas ¿Cuáles son sus ventajas? -.” <https://www.aula1.com/apps-educativas/> (accessed Jul. 20, 2021).
- [2] “2.2 Propiedades mecánicas | Materiales de uso técnico.” [https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/22\\_propiedades\\_mecnicas.html](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/22_propiedades_mecnicas.html) (accessed Jul. 20, 2021).
- [3] W.D. CALLISTER, *INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES*, EDITORIAL. 1996.
- [4] U. P. de Valencia, “Características Mecánicas de los Materiales,” 2019. .
- [5] GROOVER M. P., *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA*. MCGRAW-HILL, 2001.
- [6] Struers.com, “ENSAYOS DE DUREZA,” 2019. .
- [7] “Método de ensayo de dureza Knoop | Buehler.” <https://www.buehler.com.es/knoop-hardness-testing.php> (accessed Jul. 20, 2021).
- [8] “Comprobador de dureza por ultrasonido PCE-5000.” <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-dureza/comprobador-dureza-pce-5000.htm> (accessed Jul. 20, 2021).
- [9] C. Fernández, “TFG:DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MULTIMEDIA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN,” León, 2020.
- [10] UNE EN ISO 6892, “MATERIALES METÁLICOS, ENSAYO DE TRACCIÓN,” 2016.
- [11] “eXeLearning 2.5. Tutorial - Manual.” [http://descargas.educalab.es/cedec/exe\\_learning/Manuales/manual\\_exe25/](http://descargas.educalab.es/cedec/exe_learning/Manuales/manual_exe25/) (accessed Jul. 20, 2021).



## ANEXOS

### ÍNDICE

GUIÓN ENSAYO DUREZA BRINELL.....	52
GUIÓN DUREZA VICKERS .....	53
GUIÓN DUREZA ROCKWELL .....	54
GUIÓN DUREZA ROCKWELL C .....	56
GUIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN .....	57
GUIÓN MICRODUREZA .....	59

## GUIÓN ENSAYO DUREZA BRINELL

- Primeramente, se hace una prueba para comprobar que el durómetro está calibrado correctamente, para ello se utiliza lo que se conoce como patrones, se trata de unas probetas normalizadas con índices de dureza determinados para cada tipo de ensayo, la superficie del material tiene que estar limpia de cualquier tipo de heterogeneidad superficial como óxido, grasa, etc.
- Se procede a la medición haciendo tres improntas en forma de triángulo equilátero, que al menos disten entre 2 y 3 veces el tamaño de otras huellas que puedan existir, y un cuarto ensayo en el centro del triángulo.
- Como resultado del ensayo se utiliza la media aritmética  $\pm$  la desviación standard de la medida de las 3 huellas realizadas en los vértices, lo cual tiene que coincidir con el resultado dureza del cuarto ensayo realizado en el centro.
- Esto es para asegurarnos de que la medida es correcta y que no se ve afectada por ningún tipo de heterogeneidad presente en la pieza o derivada de una mala praxis en el ensayo, tales como estar demasiado cerca del borde, de otras improntas, de impurezas en el material u otros factores.
- Comenzamos colocando el penetrador en el durómetro. En este caso se trata de una bola de acero de 1/16 de pulgada.
- En este ensayo aplicamos la carga en dos fases, una primera fase aplicando la carga manualmente los 10 primeros kilos que se aplica manualmente y después el resto de la carga. Esto es como consecuencia de la utilización de un durómetro Rockwell para llevar a cabo el ensayo.
- Para aplicar la carga manual, se gira el volante hasta que la aguja pequeña del reloj comparador se coloca en el centro del punto rojo.
- A continuación, levantamos la palanca y el durómetro aplicará el resto de la carga, cuando se encienda el piloto rojo, sabremos que ha aplicado la totalidad de la carga. A partir de este momento contamos 30 segundos de aplicación de la carga. En este caso como trabajamos con acero y la constante de ensayo es de 30 la carga a aplicar total es de 187.5 kg.
- Transcurrido ese tiempo, retiramos la carga, bajando la palanca y ya tendremos una primera huella.
- Retiramos la probeta con cuidado de no aplicar carga y que el resultado sea erróneo y marcamos la huella que hemos realizado.
- La medida en este ensayo no es directa, sino que la tendremos que realizar la medida del diámetro con una lupa o microscopio para medir el diámetro de la huella, a partir de esta medida, aplicamos la fórmula para conocer la medida de la dureza del material.
- Para la medida del diámetro de las huellas se utilizará un software de análisis de imagen, realizamos varias medidas en la pantalla y con la media aritmética de todas ellas (cuantas más, mejor) obtenemos el resultado.

## GUIÓN DUREZA VICKERS

- Este ensayo es muy parecido al ensayo Brinell pero utiliza como penetrador una pirámide cuadrangular de diamante.
- Su principal ventaja es que podemos utilizarlo para cualquier tipo de material, ya sea duro o blando y que además no hay que considerar las relaciones entre carga y penetrador en función del material ya que al ser el penetrador una pirámide cuadrangular de diamante las huellas son siempre semejantes.
- También podemos utilizar cualquier carga, no tiene que existir relación entre la dureza del material y la cara a aplicar.
- Realizamos el ensayo como los anteriores ya que el ensayo lo vamos a realizar utilizando un durómetro Rockwell.
- Esto es aplicamos manualmente la precarga de 10 kg y tras esto, el resto de la carga
- No necesitamos manipular el reloj comparador ya que como en el ensayo Brinell vamos a medir la dureza a partir de la medida de la superficie de la la huella generada en el material
- Cuando se encienda el piloto rojo, esperamos 30 segundos
- Retiramos la carga y medimos la huella.
- En este caso la huella va a ser un cuadrado en el caso ideal o un rombo en el caso real
- Mediante el software de análisis de imagen, medimos las dos diagonales del rombo, realizamos la media aritmética y obtendremos la dureza aplicando la fórmula de la dureza Vickers.

## GUIÓN DUREZA ROCKWELL

- La principal ventaja del ensayo Rockwell es que la medida se hace directamente en el durómetro, es decir, no hay que medir la huella y posteriormente obtener el resultado con la fórmula, si no que la leemos directamente en el reloj comparador la dureza del material. Otra ventaja importante es que sirve para todos los materiales duros y blandos lo que ocurre es que en función de la dureza del material utilizaremos escalas diferentes. Las escalas utilizan penetradores y cargas diferentes.
- Para materiales más blandos utilizamos una escala Rockwell B
- Para realizar el ensayo, seguimos las mismas precauciones que en el ensayo Brinell, tener una superficie lisa y limpia, alejarnos de las otras huellas, etc
- Primeramente, aplicamos una precarga de 10kg manualmente hasta que la aguja pequeña llegue al centro del punto rojo en el reloj comparador, tal y como hacíamos en el ensayo Brinell ya que estamos utilizando el mismo durómetro. Esto sirve para eliminar cualquier tipo de heterogeneidad que podamos tener en la superficie del material que interfieran en la medida.
- Con la precarga el penetrador se ha introducido una cierta profundidad en el material, esto nos va a permitir hacer la dureza en una zona del material libre de heterogeneidades superficiales
- Esta profundidad va a ser nuestra referencia es decir nuestro cero, esto lo medimos en el durómetro de la siguiente manera y por ello debemos colocar la aguja en la posición 0 del reloj comparador.
- El reloj comparador tiene dos escalas, la negra y la roja. La escala roja, más exterior, es la escala Rockwell B, mientras que la negra es el Rockwell C.
- Aparece un punto rojo, que es el cero para las dos escalas, luego para hacer la referencia colocamos la aguja sobre el centro del punto rojo moviendo el reloj comparador.
- Las escalas negra y roja están intercaladas a una distancia de 30 unidades entre una y otra, esto es para evitar que en materiales que fueran muy blandos para el Rockwell C no sean muy duros para Rockwell B, es decir que no haya materiales que se pasen de dureza para la escala Rockwell B, pero a su vez que sean demasiado blandos para el Rockwell C.
- La escala está dividida en 100 unidades, pero si hablamos de escala Rockwell B, tendremos 130 unidades por el desplazamiento de escalas.
- Ahora pasamos a aplicar el resto de la carga y observamos que la aguja se desplaza en sentido anti horario, debido a que el penetrador está entrando en el material. La dureza tiene siempre sentido contrario a la penetración, cuanto más duro, menos penetra el penetrador en el material..
- La aguja del reloj se ha desplazado hasta cierto punto antes de retirar la carga, pero no medimos en este instante ya que debemos tener en cuenta la recuperación elástica del material.
- Cuando retiramos la carga observamos que la aguja no vuelve al punto inicial, si no que se queda a medio camino debido a la recuperación elástica del material quedando la parte correspondiente a la deformación plástica.

## Laboratorio virtual de ensayos mecánicos de materiales de interés industrial

- En este punto, la carga aplicada es todavía la de 10kg que hemos aplicado manualmente que tal y como hemos dicho es nuestra referencia.
- Ahora medimos la diferencia entre la penetración inicial y la que tenemos después de retirar la carga y esa penetración será inversamente proporcional a la dureza del material que leemos directamente sobre el reloj comparador.
- Leemos en la escala roja que el material tiene 81 HRB.
- Ahora vamos al patrón de medida y comprobamos que efectivamente tiene una dureza de 81 HRB. A veces esta medida no es exacta, sobretodo si es de las primeras que hacemos con el durómetro o si dejamos aplicada la carga demasiado tiempo, siempre hay que realizar varias medidas para ver la repetitividad y la reproducibilidad del ensayo.

## GUIÓN DUREZA ROCKWELL C

- Esta escala sirve para materiales de dureza alta o muy alta
- El penetrador que se utiliza es un cono de diamante y la carga total que se aplica es 150 kg
- El procedimiento de medida es el mismo que en cualquier otra escala Rockwell con medida directa en el reloj comparador
- Aplicamos manualmente precarga de 10kg, fijamos el cero para la medida y liberamos el resto de la carga
- Retiramos la carga y leemos en la escala negra

## GUIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

- Para realizar el ensayo se utiliza una máquina hidráulica de ensayo universal, capaz de aplicar grandes cantidades de fuerza y de registrar tanto la carga como la deformación que experimenta el material.
- Antes de comenzar con el ensayo como tal, se manipula la máquina moviendo el mecanismo varias veces hasta que el fluido de trabajo, en este caso aceite, alcance una temperatura óptima. También debemos realizar una puesta a punto del sistema de medida, tarando bien el cero, para evitar posibles desvíos en la medición.
- Debemos colocar el sistema en cero, tanto en cargas como en desplazamientos
- Comprobamos que el fondo de escala coincide con los 10 KN del ensayo, de no ser así, lo ajustamos convenientemente
- Arrancamos el ensayo
- Seleccionamos la forma de la probeta, en nuestro caso cilíndrica, también se pueden utilizar probetas planas, luego debemos introducir en el programa los parámetros de la muestra así introducimos el tipo de probeta y valor del diámetro de la probeta con la que estemos ensayando y el propio programa calculará la sección del material
- En el software de la máquina, podemos visualizar en tiempo real varios parámetros; carga aplicada, desplazamiento, además de la curva tensión-deformación del material a partir de la cual podremos obtener las características mecánicas más importantes del material
- Hay diferentes modos de realizar el ensayo, podemos controlar la tensión, modo STRESS, la deformación de la probeta modo STRAIN o como en el ensayo que se ha realizado en modo STROKE, es un modo sencillo, en el que lo único que controla la máquina es la velocidad de desplazamiento del brazo móvil. Luego colocamos una velocidad adecuada al tipo de ensayo que queremos realizar
- Otro parámetro importante es el modo autoescala, en el cual si estamos ensayando un material que no rompe con la carga que hemos seleccionado en el fondo de escala, salta a la siguiente escala y de esta manera no interrumpimos el ensayo.
- Pasamos a colocar la probeta en las mordazas, es interesante que las mordazas sujeten la probeta más o menos a la misma distancia y que estas queden perfectamente atrapadas por las mordazas.
- Comenzamos el ensayo y se empieza a aplicar la carga de modo que en el diagrama observamos el registro de carga-desplazamiento del brazo, este último directamente proporcional a la deformación longitudinal del material.
- Gracias a que podemos observar la curva del material, apreciamos cuando llega a la zona de fluencia, donde existen desplazamientos importantes sin prácticamente aumento de carga.
- Tras este estado, el material entra en la zona plástica, donde las deformaciones son permanentes, aunque retiremos la carga la deformación permanece.
- Cercanos a la carga máxima, observamos el estrechamiento o estricción del material en la zona de rotura y podemos también apreciar el alargamiento que ha sufrido la probeta.

- En el display de la máquina queda registrada la carga máxima que ha soportado el material, cuando aparece el estrechamiento, la carga disminuye como consecuencia de la disminución de sección, estricción pronunciada del material y de la disminución de la sección, estamos registrando tensión normal referida a la sección inicial y sin embargo la sección real es mucho más pequeña lo que hace que la tensión disminuya.
- A partir de este instante, en cualquier momento romperá el material es decir experimentará la rotura física en dos partes.
- La rotura de este material corresponde con el tipo de rotura que sufren los materiales blandos, dejando la característica forma de copa-cono a ambos lados de donde sea ha producido la máxima deformación.



## GUIÓN MICRODUREZA

- Para conocer la dureza de las fases y microconstituyentes que constituyen la microestructura del material no podemos utilizar el durómetro convencional, en estos casos se utiliza el microdurómetro
- Este aparato integra el penetrador y el medio de visualización microscópica para seleccionar el área en el que se realiza la huella y posteriormente medir dicha huella.
- Se coloca el material previa preparación metalográfica en la mesa micrométrica y centramos el penetrador utilizando los diales de desplazamiento para conocer la zona en la que realizamos la huella.
- Se programa el ensayo en función del material y la carga que queramos aplicar que va desde 1 gramo hasta 1 kg
- Colocamos el penetrador, en nuestro caso usaremos una pirámide cuadrangular de diamante ya que vamos a determinar dureza Vickers, y aplicamos la carga. El propio aparato se encarga de bajar, hacer el contacto y aplicar la carga. Mientras se encuentre iluminado el piloto verde, significa que está aplicando la carga, el tiempo de aplicación también se programa y normalmente son unos 30 segundos
- Cuando termine de aplicar la carga, el aparato retira la carga automáticamente y desaparece la luz de modo que se puede proceder a medir la huella generada
- Acto seguido, medimos la huella en el propio aparato, para ello en el objetivo tendremos dos líneas paralelas que se utilizarán para medir la huella.
- Primeramente, se ajusta a cero la escala de medida, para ello colocamos las dos líneas juntas de modo que no pase nada de luz para hacer el cero en el sistema de medida. Posteriormente y dado que la huella será un cuadrado/rombo colocamos una de las líneas en un vértice de la huella en forma de rombo
- Tras esto, colocamos la otra línea en el vértice opuesto y pulsamos el botón de medida para medir la primera diagonal.
- Esto también lo realizamos para la otra diagonal
- El aparato muestra directamente en el display la dureza Vickers, la cual podemos convertir a otras escalas si nos interesa.
- Como en cualquier ensayo de dureza, pero en microdureza es todavía más conveniente realizar diferentes improntas para tener fiabilidad en los resultados obtenidos.