

Práctica de taller-laboratorio para el estudio de  
**la relación**  
**procesado-microestructura-propiedades en**  
**aceros al carbono templables.**  
Guía para el profesor.

Versión 1.0

Profesores del área de  
Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica  
Universidad de Cádiz (UCA)  
Coordina: David Sales Lériða

Julio de 2012



# Preámbulo

«Lo oigo y lo olvido. Lo veo y lo recuerdo. Lo hago y lo comprendo».  
*Confucio*

Este documento intenta plasmar una actividad docente muy común y bien conocida en laboratorios del área de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica (CMeIM), y que los profesores de éste área en la UCA llevan realizando durante más de una década en las asignaturas fundamentales.

El texto es un extracto del Proyecto Docente presentado por el Dr. Ing. David Sales Lérica para el concurso de la plaza de Profesor Titular de Universidad por la Universidad de Cádiz.

Los profesores que forman o han formado parte de la plantilla de profesores del área CMeIM en la UCA, y que han participado en el desarrollo y aplicación de esta actividad, son: Prof. Dr. Rafael García Roja (responsable del área), Prof. Dr. Sergio I. Molina Rubio, Dr. Guillermo Aragón Herránz, Prof. Dr. Daniel Araújo Gay, Dr. David González Robledo, Dr. Francisco J. Pacheco Romero, Dra. Pilar Villar Castro, Dra. Marina Gutiérrez Peinado, Dr. Francisco M. Morales Sánchez, Dra. Miriam Herrera Collado, Dra. Teresa Ben Fernández y Dr. David Sales Lérica.





*Práctica de taller-laboratorio para el estudio de la relación procesado-microestructura-propiedades en aceros al carbono templables. Guía para el profesor.* by David Sales et al. is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License. Based on a work at <http://rodin.uca.es>

# Índice general

<b>1. Descripción de la práctica</b>	<b>1</b>
1.1. Tratamientos térmicos . . . . .	2
1.2. Ensayo de impacto Charpy . . . . .	3
1.3. Ensayos de dureza . . . . .	4
1.4. Ensayo de tracción . . . . .	6
1.5. Metalografía . . . . .	7
<b>2. Evaluación</b>	<b>11</b>



# Capítulo 1

## Descripción de la práctica

El alumno debe realizar diez horas de prácticas de taller-laboratorio, con un reparto en el calendario académico de cinco sesiones de dos horas cada una. Con objeto de desarrollar la competencia específica C03, propia de esta asignatura<sup>1</sup>, el profesorado del área de conocimiento CMeIM de la UCA ha diseñado las prácticas ‘relación procesado-microestructura-propiedades mecánicas del acero al carbono F-114’. Por tanto, las cinco sesiones tendrán un mismo hilo conductor con el objetivo último de que los alumnos descubran de forma experimental esta relación en el caso concreto del material de ingeniería con mayor producción mundial.

**Actividad grupal.** Esta actividad se desarrolla por los equipos de trabajo para actividades grupales o grupos super-reducidos (con un máximo de seis alumnos por grupo).

**Contenidos.** En esta actividad se trabajan los siguientes aspectos:

**Conocimientos.** Planificación y programación de las sesiones prácticas de forma individual y en grupo. Interpretación de normas estandarizadas de ensayos y tratamientos de materiales. Determinación de propiedades de los materiales a partir de ensayos. Análisis de los datos obtenidos en la experimentación. Comparación y relación de datos diversos.

**Habilidades.** Consulta de bibliografía específica. Manejo correcto de maquinaria de taller de materiales. Ejecución de ensayos mecánicos a materiales. Recogida de datos. Interpretación y validación de resultados. Realización de tratamientos térmicos a aleaciones metálicas. Comunicación verbal efectiva con los compañeros de equipo de trabajo y con los profesores. Extracción de conclusiones a partir de datos experimentales. Elaboración de informes.

**Actitudes.** Búsqueda de la bondad del ensayo y de la representatividad de las medidas. Cuidado del material de laboratorio. Toma de conciencia del

---

<sup>1</sup>Competencias C03: conocimientos de los fundamentos de ciencia, tecnología y química de materiales. Comprender la relación entre la microestructura, la síntesis o procesado y las propiedades de los materiales.

coste de la enseñanza práctica universitaria, para motivar más si cabe el aprovechamiento de las sesiones de taller. Motivación por el orden y la limpieza en el entorno de trabajo. Respeto a compañeros de trabajo y consideración de las opiniones diversas.

**Sesiones.** A continuación se detalla la organización y el desarrollo de las cinco sesiones de prácticas:

## 1.1. Tratamientos térmicos

**Objetivos propios de la actividad.** En esta primera sesión, cada equipo de trabajo debe buscar los siguientes objetivos:

- Planificar, diseñar y ejecutar experimentalmente tratamientos térmicos de temple, normalizado, revenido y recocido total en probetas de acero al carbono con un 0,4 % en C.
- Medir correctamente las dimensiones de las probetas que serán posteriormente ensayadas.
- Cerrar la organización del resto de sesiones

**Material** del que disponen los alumnos para el desarrollo de la práctica:

- pie de rey y reglas para medir dimensiones de las probetas;
- probetas de acero F-114 laminado: 4 de ellas mecanizadas hasta obtener dimensiones estándares para ensayo Charpy, y otras 3 con dimensiones para ensayo de tracción;
- 2 hornos mufla, uno para austenizar y otro para revenir;
- EPIS: guantes de protección térmica, batas y gafas;
- cubo con agua para el temple;
- un ordenador por equipo para realizar la parte del informe correspondiente a esta sesión;
- marcadores de metales (fixolid).

**Método experimental** Las siete probetas de acero se introducen en un horno a 850°C durante al menos 30 minutos para conseguir la austenización completa de las piezas. Una vez transcurrido este tiempo:

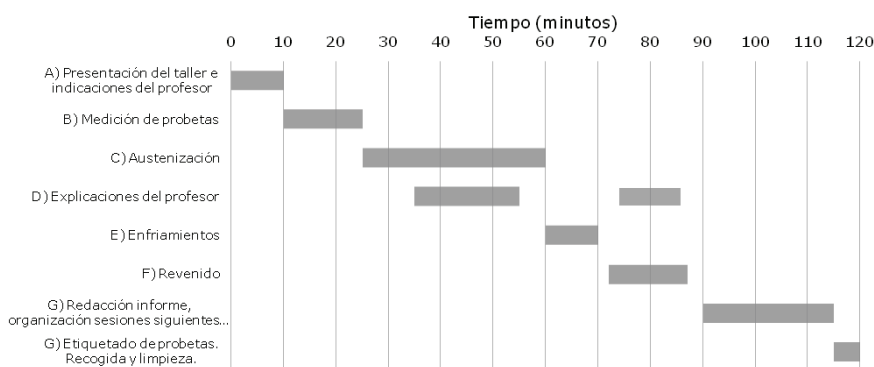
- dos probetas de Charpy y una de tracción se enfrían bruscamente en un baño de agua a temperatura ambiente (tratamiento de *temple*).
- una probeta de Charpy y una de tracción se retiran del horno y se dejan enfriar al aire (tratamiento de normalizado);



- se apaga el horno dejando en su interior las dos probetas restantes (una de Charpy y otra de tracción), para que se enfríen lentamente con el horno (tratamiento de *recocido*).
- Por último, de las tres probetas templadas, se introducen una de Charpy y otra de tracción en un segundo horno a una temperatura de 450°C durante 15 minutos (tratamiento de *revenido*). La tercera se deja templada.

Una vez enfriadas las probetas, los alumnos deben etiquetar correctamente cada una para distinguirlas del tratamiento realizado.

**Secuenciación** En la siguiente gráfica se muestra la secuencia de acciones que los equipos de alumnos deben realizar en su primera sesión de práctica de taller.



## 1.2. Ensayo de impacto Charpy

**Objetivos propios de la actividad.** En esta sesión, cada equipo de trabajo debe cumplir los siguientes objetivos:

- Planificar, diseñar y efectuar experimentalmente ensayos de impacto Charpy a probetas de acero F-114 que han sido tratadas térmicamente (temple, normalizado, revenido y recocido), siguiendo la norma UNE-7-475-92.
- Partiendo de los datos obtenidos en el ensayo y las medidas de la probeta, calcular la energía absorbida por unidad de superficie en cada probeta, y expresarla en unidades del sistema internacional.
- Comparar las probetas según el dato anterior y el aspecto de la fractura.
- Embutir una mitad de cada probeta en resina para preparación metalográfica de la sesión 1.5.

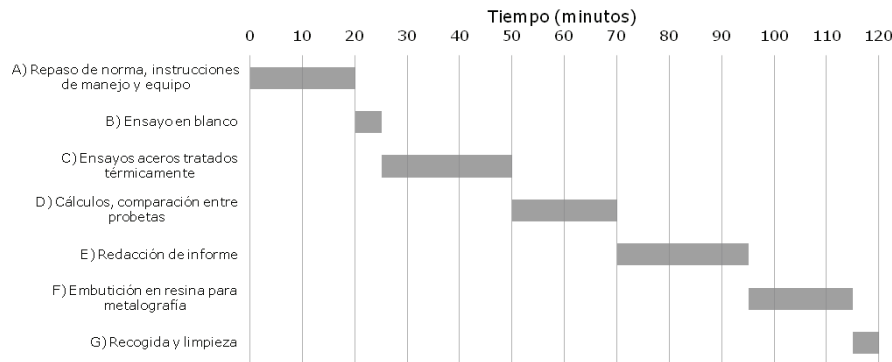
**Material** del que disponen los alumnos para el desarrollo de la práctica:

- péndulo NESTOR para ensayos de impacto Charpy-Izod (capacidad máxima 300J), con valla protectora;
- probetas de acero F-114 con los tratamientos térmicos realizados en la sesión 1.1;

- un ordenador por equipo para realizar la parte del informe correspondiente a esta sesión.
- Para la embutición en resina se dispone de:
  - moldes para probetas cilíndricas de dimensiones estandarizadas;
  - resina;
  - endurecedor;
  - vaso para mezclar con indicadores de volumen y palo agitador;
  - instrucciones de preparación de la mezcla;
  - EPIS (guantes de protección química, batas y gafas).

**Método experimental** Inicialmente se inspecciona el equipo, y se visualizan las instrucciones para su manejo. Se realiza un ensayo en blanco, para comprobar que no existe rozamiento apreciable (el indicador debe dar como resultado  $0\text{ kgf} \cdot \text{m}$  de energía absorbida). Se realiza el ensayo con las cuatro probetas de acero tratado, asegurándose de centrar la entalla y orientarla correctamente. Una vez obtenidos los datos en  $\text{kgf} \cdot \text{m}$ , se realizan los cálculos necesario para obtener  $\text{J}/\text{m}^2$  (ó  $\text{J}/\text{cm}^2$  si se quieren evitar números muy altos). Se comparan y describen en el informe las fracturas producidas en las cuatro probetas. Se ordenan las probetas de mayor a menor energía absorbida en el impacto. A continuación, se prepara la mezcla de resina y endurecedor según las instrucciones, y se vierte en los moldes conteniendo las mitades de las probetas Charpy ensayadas. Finalmente se dejan curar las probetas, que serán retiradas de sus moldes en la sesión siguiente.

**Secuenciación** En la siguiente gráfica se muestra la secuencia de acciones que los equipos de alumnos deben realizar en esta sesión de práctica de taller.



### 1.3. Ensayos de dureza

**Objetivos propios de la actividad.** En esta sesión, cada equipo de trabajo debe buscar los siguientes objetivos:

- Planificar, diseñar y efectuar experimentalmente ensayos de dureza a probetas de acero F-114 que han sido tratadas térmicamente (temple, normalizado, revenido y recocido), siguiendo las normas:

- UNE-EN ISO 6506-1 para ensayos Brinell, en concreto HB5/250;
  - UNE-EN ISO 6507-1 para ensayos Vickers, en concreto HV30;
  - UNE-EN ISO 6508-1 para ensayos Rockwell, en concreto HRB y HRC.
- En el caso de las escalas donde la medida sea una dimensión de la huella, calcular la dureza según las expresiones de la norma correspondiente.
  - Identificar los valores que queden fuera del rango de aplicación de cada norma. Descubrir el sentido de la existencia de las distintas escalas de dureza.
  - Comparar las probetas según el valor de dureza, y relacionarla con el tratamiento térmico recibido.

**Material** del que disponen los alumnos para el desarrollo de la práctica:

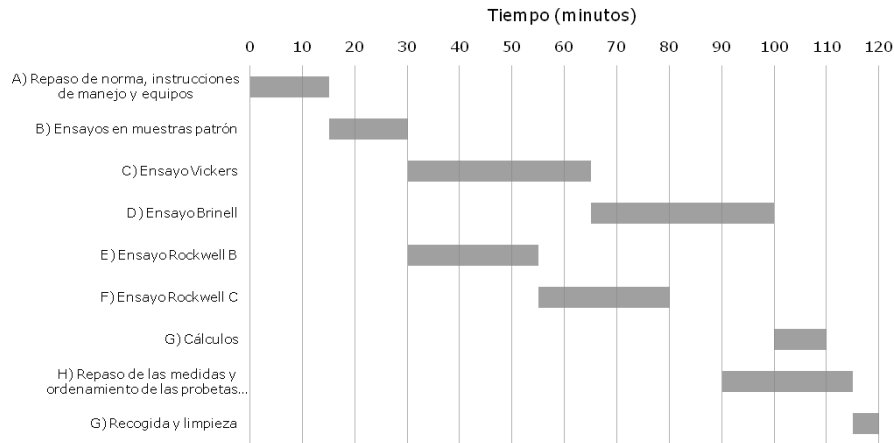
- durómetro CENTAUR (modelo RB2-200DA"DUPLEX");
- durómetro dedicado para ensayos de inspección de huellas;
- cronómetro;
- un ordenador por equipo para realizar los cálculos (en hoja de cálculo) y la parte del informe correspondiente a esta sesión.
- Para las medidas de dimensiones de huellas se dispone de:
  - binocular de 10-15 aumentos;
  - vidrio con regla con precisión de 0,05 mm.

**Método experimental** Inicialmente se inspeccionan los equipos, y se visualizan las instrucciones para su manejo. Se realiza un ensayo con muestras patrón de dureza conocida, para comprobar que el equipo está calibrado y que no hay dudas en el manejo del equipo ni en la realización de la medida. Se realizan medidas con las cuatro escalas de dureza en las cuatro probetas de acero tratado, controlando en cada medida:

- el valor de la precarga y el tiempo que se aplica,
- el tiempo que tarda en pasar de precarga a carga total,
- el valor de la carga total y el tiempo que se aplica.

Una vez obtenido el tamaño de la huella tras los ensayos HB5/150 y HV30, se realizan los cálculos para obtener el valor de dureza correspondiente. Se descartan las medidas que queden fuera del rango de aplicación de cada norma y se ordenan las probetas de mayor a menor dureza.

**Secuenciación** En la siguiente gráfica se muestra la secuencia de acciones que los equipos de alumnos deben realizar en esta sesión de práctica de taller.



## 1.4. Ensayo de tracción

**Objetivos propios de la actividad.** En esta sesión, cada equipo de trabajo debe buscar los siguientes objetivos:

- Planificar, diseñar y efectuar experimentalmente ensayos de tracción a probetas de acero F-114 que han sido tratadas térmicamente (normalizado, revenido y recocido)<sup>2</sup>, siguiendo la norma UNE-EN ISO 6892-1.
- Partiendo de los datos de fuerza y desplazamiento obtenidos a cada instante del ensayo y las medidas de la probeta, calcular las siguientes propiedades mecánicas o parámetros, expresándolos en unidades del sistema internacional: resistencia máxima a la tracción, ductilidad, módulo de Young, límite elástico, módulo de resiliencia y energía total necesaria para deformar hasta la rotura.
- Comparar las probetas según los valores de los parámetros anteriores y relacionarla con el tratamiento térmico recibido.

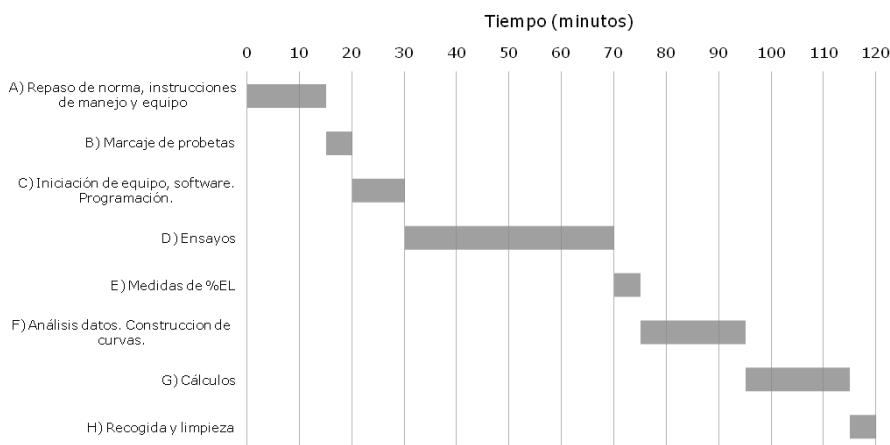
**Material** del que disponen los alumnos para el desarrollo de la práctica:

- máquina universal de ensayos de 50kN de carga máxima (SHIMADZU modelo AG-X);
- ordenador de control del equipo con el software TRAPEZIUM;
- marcador de probetas metálicas.

<sup>2</sup>Se excluye la probeta templada por su alta dureza, que dificulta el apriete de las mordazas y causa un deterioro prematuro del dibujo de las muelas.

**Método experimental** Inicialmente se inspecciona el equipo, y se repasan las instrucciones para su manejo. Se marca la longitud inicial de calibración en la zona central con espesor contante de las probetas<sup>3</sup> para poder calcular el porcentaje de elongación tras el ensayo. Se inicia el equipo y el software, y se programa éste último para realizar el ensayo de las tres probetas. Una vez ensayadas, se unen las dos mitades para medir la elongación final entre las marcas. En el ordenador, se extraen los datos de fuerza-desplazamiento a cada instante registrado por el software. Se exportan los datos a una hoja de cálculo y se construyen las curvas esfuerzo-deformación. Se opera con los datos para calcular los parámetros requeridos en el informe.

**Secuenciación** En la siguiente gráfica se muestra la secuencia de acciones que los equipos de alumnos deben realizar en esta sesión de práctica de taller.



## 1.5. Preparación metalográfica y observación en microscopio

**Objetivos propios de la actividad.** En esta última sesión, cada equipo de trabajo debe buscar los siguientes objetivos:

- Planificar, diseñar y efectuar experimentalmente preparaciones metalográficas a probetas de acero F-114 que han sido tratadas térmicamente (temple, normalizado, revenido y recocido).
- Observar las estructuras de grano de cada probeta en el microscopio metalográfico, y adquirir imágenes digitales de las mismas.
- Comparar las probetas según las imágenes anteriores y relacionarla con el tratamiento térmico recibido y las propiedades mecánicas medidas.

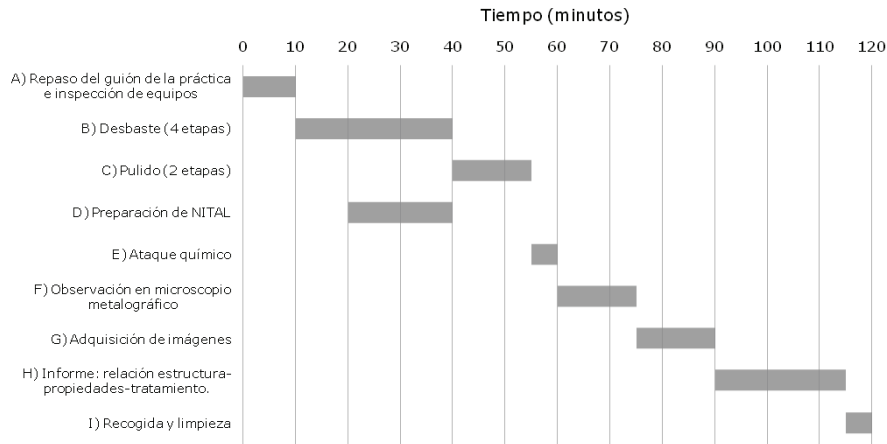
<sup>3</sup>El valor de la longitud inicial de calibración se obtiene en relación al espesor de la probeta siguiendo la expresión aportada en la norma UNE-EN ISO 6892-1.

**Material** del que disponen los alumnos para el desarrollo de la práctica:

- lijadoras manuales con circuito de agua para refrigeración;
- lijadoras rotatorias;
- pulidoras rotatorias;
- binoculares;
- microscopio metalográfico con cámara digital;
- ordenador acoplado a la cámara, con software de adquisición de imágenes;
- equipamiento necesario para la preparación del atacante químico (NITAL):
  - campana extractora,
  - ácido nítrico en calidad comercial,
  - etanol de pureza estándar,
  - material de vidrio variado (pipeta, matraz erlenmeyer, vasos de precipitado, placa de Petri),
  - cronómetro,
  - EPIS (gafas, guantes, bata y pipeteador).

**Método experimental** Se realiza un desbaste a cada probeta Charpy ensayada y embutida en resina. Este desbaste se realiza en cuatro etapas, empezando por un desbaste grueso hasta el más fino, y procurando la limpieza de la probeta al pasar de etapa. A continuación se realiza un pulido en dos etapas: la primera con partículas de  $5\mu\text{m}$ , y la segunda con partículas de  $3\mu\text{m}$  hasta conseguir un acabado ‘a espejo’. Se prepara el NITAL, consistente en una disolución del 4% en volumen de ácido nítrico en etanol. Antes del ataque químico se limpia la probeta con jabón y se aclara con abundante agua para eliminar cualquier resto, tratando de no arañar la superficie pulida. Se ataca esta superficie mediante el contacto de la misma con la disolución de NITAL durante cuatro segundos. Para este ataque se puede verter una pequeña cantidad de nital en la placa Petri. Pasado el tiempo señalado se aclara con agua abundante para parar la reacción. Se observa en el microscopio. En el caso de que la microestructura no sea distinguible, se volverá a atacar uno o dos segundos más. Se adquieren las imágenes a dos aumentos distintos (x20, x40 y/o x100), buscando siempre maximizar la nitidez de la imagen y representatividad de la muestra.

**Secuenciación** En la siguiente gráfica se muestra la secuencia de acciones que los equipos de alumnos deben realizar en esta sesión de práctica de taller.







## Capítulo 2

# Evaluación

**¿Cómo?** Los alumnos deben redactar un **informe** con el resultado de las prácticas de taller/laboratorio según un modelo (ver Figura 2.2). Se trata de un documento breve donde el alumno debe describir el desarrollo de cada práctica, además de recopilar y sintetizar la información y las conclusiones de los diferentes ensayos que realice. Para favorecer la comprensión profunda, el informe no consiste sólo en una exposición ordenada de datos, sino que requiere además de una discusión bien fundamentada a modo de conclusión final. Se requiere un sólo informe por cada equipo de alumnos, correspondiente al equipo de prácticas, por lo que su contenido deberá ser consensuado. Los alumnos disponen de una rúbrica (Figura 2.1) para calcular su calificación, que también deben entregar rellena.

**¿Cuándo?** El informe se va realizando en paralelo al desarrollo de cada sesión práctica, donde cada equipo de alumnos dispone de un ordenador. Se debe entregar al finalizar la última sesión para su corrección por parte del profesor.

**¿Qué?** Con esta actividad se pretenden evaluar las siguientes competencias:

- La capacidad de trabajo autónomo, para la búsqueda de información y la realización de reflexiones personales (competencias CG05 y T12). Esta es la habilidad propia que se desarrolla en la elaboración de informes.
- El conocimiento de los fundamentos de ciencia, tecnología y química de materiales y la comprensión de la relación microestructura-procesado-propiedades de materiales (competencia C03), se valorarán en la profundidad de las reflexiones y conclusiones presentadas.
- Los conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planes de labores y otros trabajos análogos (competencia G05) se evaluarán tras el análisis de los datos que el alumno presente en el informe, obtenidos a partir de sus ensayos y mediciones.
- La capacidad de aplicar los conocimientos a la práctica (competencia T04) se evalúa a partir de las descripciones donde el alumno explica el desarrollo de las prácticas.

	A	B	C	D
1	PARTE I: DESCRIPCIÓN, OBJETIVOS Y CÁLCULOS			
2		Puntuación máxima	Valoración	Puntuación
3	<b>1. Tratamientos térmicos de aceros</b>	50		0
4	<b>1.1. Breve descripción y objetivo del mismo.</b>			
5	Breve descripción del acero de partida	10		
6	TEMPLE: breve descripción del tratamiento	7		
7	TEMPLE: objetivos del tratamiento	3		
8	NORMALIZADO: breve descripción del tratamiento	7		
9	NORMALIZADO: objetivos del tratamiento	3		
10	REVENDO: breve descripción del tratamiento	7		
11	REVENDO: objetivos del tratamiento	3		
12	RECOCIDO: breve descripción del tratamiento	7		
13	RECOCIDO: objetivos del tratamiento	3		
14				
15	<b>2. Ensayos de dureza</b>	70		0
16	<b>2.1. Breve descripción de los ensayos y objetivos de los mismos, importancia de la existencia de distintas escalas de dureza.</b>			
17	Objetivos de los ensayos	10		
18	Descripción de ensayos de medida por observación de huellas	10		
19	Descripción de ensayos de medida por comparador	10		
20	<b>2.2. Resultados obtenidos y forma de calcularlos.</b>			
21	Forma de calcular HB	5		
22	Ejemplo de cálculo HB	5		
23	Forma de calcular HV	5		
24	Ejemplo de cálculo HV	5		
25	Forma de mostrar los resultados	5		
26	Congruencia de los resultados obtenidos	15		
27				
28	<b>3. Ensayo de Charpy</b>	50		0
29	<b>3.1. Breve descripción del ensayo y objetivo del mismo.</b>			
30	Objetivo del ensayo	10		
31	Descripción del ensayo	10		
32	<b>3.2. Resultados: energía (J/m<sup>2</sup>) y aspecto de la fractura.</b>			
33	Cálculo de los resultados	10		
34	Descripción de aspecto de las fracturas	10		
35	<b>3.3. Ordenar las probetas según su resistencia al impacto.</b>	10		
36				

Figura 2.1: Imagen de la rúbrica, realizada en hoja de cálculo, para la evaluación del informe de prácticas.

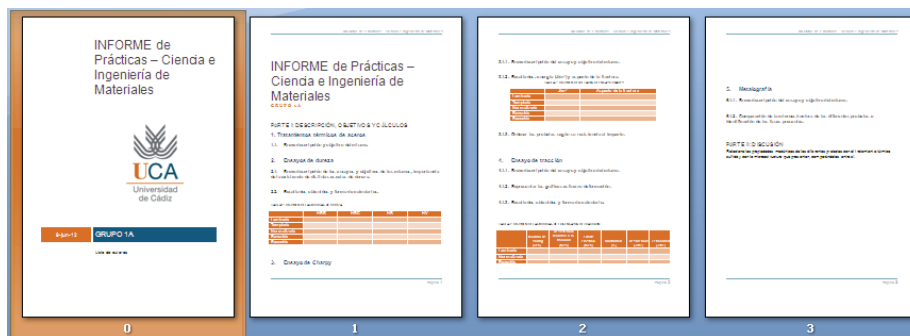


Figura 2.2: Imagen del modelo de informe que dispondrán los alumnos para reportar los resultados de las prácticas.

- La capacidad para utilizar con fluidez la informática a nivel avanzado (competencia T21) se evaluará en el manejo adecuado de hojas de cálculo (Excel, Calc) y de procesadores de texto, mediante el análisis de las gráficas y resultados del cálculo generados en el primero, y el correcto uso de las funciones de formato en el segundo.