

GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

REALIZACIÓN DE UN CATÁLOGO DE ACEROS BASADO EN METALOGRAFÍA



Estudiante: Nebreda Quiles, Eneko

Director/Directora: García Romero, Ane Miren

Codirector/Codirectora: Muñoz Ugartemendia, Jone

Curso: 2023-2024

Fecha: 19, Julio, 2024

Resumen

Este proyecto consiste en analizar y caracterizar una serie de aceros disponibles en el laboratorio de metales de la Escuela de Ingeniería de Bilbao. Para dicha caracterización, se han llevado a cabo diferentes ensayos metalográficos y tratamientos térmicos. Con el trabajo llevado a cabo se ha realizado un catálogo de los aceros para su posterior uso en el laboratorio.

Palabras clave: ANALIZAR, CARACTERIZAR, ACERO, ENSAYOS METALOGRAFICOS, TRATAMIENTOS TÉRMICOS, CATÁLOGO.

Abstract

This project involves analyzing and characterizing a series of steels that are available in the metals laboratory at the School of Engineering of Bilbao. For that characterization, different metallographic tests and heat treatments have been carried out. As a result of the work carried out a catalog of these steels has been created for their following use in the laboratory.

Key words: ANALYZE, CHARACTERIZE, STEEL, METALLOGRAPHIC TESTS, HEAT TREATMENTS, CATALOG.

Laburpena

Proiektu honen helburua, Bilboko Ingeniaritza Eskolako metalen laborategiko altzairuak aztertzea eta karakterizatzea da. Horretarako, proba metalografiko eta tratamendu termiko ezberdinak egin dira. Egindako lanarekin altzairu hauen katalogo bat egin da gero laborategian erabiltzeko.

Hitz gakoak: AZTERTU, KARAKTERIZATU, ALTZAIRU, PROBA METALOGRAFIKO, TRATAMENDU TERMIKOA, KATALOGO.

Índice de contenido

1.-Introducción	9
2.-Contexto	9
3.-Objetivos	9
4.-Descripción del proyecto.....	10
Etapa 1: Definición y alcance del trabajo a realizar.....	11
Etapa 2: Recopilación de muestras y recopilación de información disponible.....	12
Etapa 3: Caracterización microestructural	13
Etapa 4: Tratamientos térmicos	14
Etapa 5: Preparación del catálogo.....	14
6.-Catálogo	15
AC-01	18
SS-01	23
SS-02	26
SS-03	30
AC-02	33
AC-03	36
AC-04	40
AC-05	45
AC-06	50
AC-07	54
AC-08	58
SS-04	61
SS-05	64
7.-Consideraciones y conclusiones.....	67
ANEXO 1 – Descripción experimental	68
1. Empastilladora	68
2. Lijado y pulido.....	70
3. Ataque químico	71
4. Análisis de la microestructura	73
4.1 Software ImageJ	76
5. Dureza.....	77

6. Horno.....	79
ANEXO 2 – Catálogos y material recopilado.....	81
8.-Bibliografía	92

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama Gantt del proyecto	11
Figura 2. Ejemplo estado de recepción de una muestra	13
Figura 3. Muestra AC-01	18
Figura 4. Micrografía AC-01.....	19
Figura 5. Curva en U AC-01.....	20
Figura 6. Tratamiento Tempcore	20
Figura 7. Micrografía AC-01 Recocido	21
Figura 8. Curva en U AC-01 Recocido	21
Figura 9. Diagrama de fases AC-01	22
Figura 10. Muestra SS-01.....	23
Figura 11. Macrografía SS-01.....	24
Figura 12. Micrografía SS-01.....	24
Figura 13. Curva en U SS-01.....	24
Figura 14. Muestra SS-02.....	26
Figura 15. Macrografía SS-02.....	27
Figura 16. Micrografía SS-02.....	27
Figura 17. Curva en U SS-02.....	27
Figura 18. Diagrama CCT SS-02.....	28
Figura 19. Diagrama temperatura de revenido – Propiedades mecánicas SS-02	29
Figura 20. Muestra SS-03.....	30
Figura 21. Macrografía SS-03.....	31
Figura 22. Micrografía SS-03.....	31
Figura 23. Micrografía adicional SS-03	31
Figura 24. Curva en U SS-03.....	32
Figura 25. Muestra AC-02.....	33
Figura 26. Macrografía AC-02.....	34
Figura 27. Micrografía AC-02.....	34
Figura 28. Curva en U AC-02.....	34
Figura 29. Muestra AC-03.....	36
Figura 30. Macrografía AC-03.....	37
Figura 31. Micrografía AC-03.....	37
Figura 32. Curva en U AC-03.....	37
Figura 33. Diagrama CCT AC-03	38
Figura 34. Diagrama de revenido AC-03.....	39
Figura 35. Muestra AC-04.....	40
Figura 36. Macrografía AC-04.....	41
Figura 37. Micrografía AC-04.....	41
Figura 38. Curva en U AC-04.....	41
Figura 39. Microestructura AC-04 T+R	42
Figura 40. Curva en U AC-04 T+R.....	43
Figura 41. Diagrama temperatura de revenido – Propiedades mecánicas AC-04	43
Figura 42. Diagrama CCT AC-04.....	44

Figura 43. Muestra AC-05.....	45
Figura 44. Macrografía AC-05.....	46
Figura 45. Micrografía AC-05.....	46
Figura 46. Curva en U AC-05.....	46
Figura 47. Microestructura AC-05 Rec.....	47
Figura 48. Diagrama CCT AC-05.....	48
Figura 49. Diagrama temperatura de revenido – Propiedades mecánicas AC-05.....	49
Figura 50. Muestra AC-06.....	50
Figura 51. Macrografía AC-06.....	51
Figura 52. Micrografía AC-06.....	51
Figura 53. Curva en U AC-06.....	51
Figura 54. Microestructura AC-06 T.....	52
Figura 55. Curva en U AC-06 T.....	52
Figura 56. Diagrama CCT.....	53
Figura 57. Muestra AC-07.....	54
Figura 58. Macrografía AC-07.....	55
Figura 59. Micrografía AC-07.....	55
Figura 60. Curva en U AC-07.....	55
Figura 61. Micrografías AC-07 T.....	56
Figura 62. Curva en U AC-07 T.....	56
Figura 63. Muestra AC-08.....	58
Figura 64. Geometría del AC-08.....	59
Figura 65. Microestructuras AC-08.....	59
Figura 66. Muestra SS-04.....	61
Figura 67. Macrografía SS-04.....	62
Figura 68. Micrografía SS-04.....	62
Figura 69. Curva en U SS-04.....	62
Figura 70. Muestra SS-05.....	64
Figura 71. Macrografía SS-05.....	65
Figura 72. Micrografía SS-05.....	65
Figura 73. Curva en U SS-05.....	65
Figura 74. Empastilladora SimpliMet 2.....	68
Figura 75. Resina Fenólica.....	68
Figura 76. Calentador.....	69
Figura 77. Enfriador.....	69
Figura 78. Pastilla hecha con resina acrílica.....	69
Figura 79. Pastilla fallida.....	69
Figura 80. Pastilla correcta.....	69
Figura 81. Lijadora.....	70
Figura 82. Lijas usadas en el laboratorio.....	70
Figura 83. Lubricante 3µm.....	71
Figura 84. Lubricante 1µm.....	71
Figura 85. Lubricante 0,06µm.....	71
Figura 86. Muestra con un mal lijado y pulido.....	71

Figura 87. Muestra con un buen lijado y pulido.....	71
Figura 88. Reactivo Nital.....	72
Figura 89. Reactivo Kalling.....	72
Figura 90. Muestra sobreatacada.....	72
Figura 91. Muestra correctamente atacada.....	72
Figura 92. Microscopio Leica DM2500 M.....	73
Figura 93. Pantalla de inicio LAS.....	74
Figura 94. Zoom parte superior izquierda.....	74
Figura 95. Pestaña Configurar.....	75
Figura 96. Selección de objetivos.....	75
Figura 97. Panel de selección Barra de escala.....	75
Figura 98. Ventana inicial ImageJ.....	76
Figura 99. Imagen preparada para la medición de área.....	77
Figura 100. Tabla de resultados ImageJ.....	77
Figura 101. Durómetro Hoytom 1003 A.....	78
Figura 102. Muesca en SS-01.....	78
Figura 103. Horno Nabertherm B180.....	79
Figura 104. Panel del horno.....	80
Figura 105. Tiempo de espera.....	80
Figura 106. Tiempo de calentamiento.....	80
Figura 107. Temperatura de tratamiento.....	80
Figura 108. Tiempo de tratamiento.....	80

Índice de tablas

Tabla 1. Códigos de las muestras	15
Tabla 2. Composición AC-01	18
Tabla 3. Dureza AC-01	20
Tabla 4. Dureza AC-01 Recocido	21
Tabla 5. Equivalencias SS-01	23
Tabla 6. Composición SS-01	23
Tabla 7. Dureza SS-01	24
Tabla 8. Equivalencias SS-02	26
Tabla 9. Composición SS-02	26
Tabla 10. Dureza SS-02	27
Tabla 11. Temperaturas de tratamientos térmicos SS-02	29
Tabla 12. Dureza AC-03	32
Tabla 13. Equivalencias AC-02	33
Tabla 14. Composición AC-02	33
Tabla 15. Dureza AC-02	34
Tabla 16. Temperaturas de tratamientos térmicos AC-02	35
Tabla 17. Equivalencias AC-03	36
Tabla 18. Composición AC-03	36
Tabla 19. Dureza AC-03	37
Tabla 20. Temperatura de tratamientos térmicos AC-03	39
Tabla 21. Equivalencias AC-04	40
Tabla 22. Composición AC-04	40
Tabla 23. Dureza AC-04	41
Tabla 24. Dureza AC-04 T+R	43
Tabla 25. Temperatura de tratamientos térmicos AC-04	43
Tabla 26. Equivalencias AC-05	45
Tabla 27. Composición AC-05	45
Tabla 28. Dureza AC-05	46
Tabla 29. Temperaturas de tratamientos térmicos AC-05	49
Tabla 30. Equivalencias AC-06	50
Tabla 31. Composición AC-06	50
Tabla 32. Dureza AC-06	51
Tabla 33. Dureza AC-06 T	52
Tabla 34. Equivalencias AC-07	54
Tabla 35. Composición AC-07	54
Tabla 36. Durezas AC-07	55
Tabla 37. Durezas AC-07 T	56
Tabla 38. Dureza SS-04	62
Tabla 39. Dureza SS-05	65

Tabla 40. Valores de calibrado del durómetro..... 79

1.-Introducción

Este documento contiene información sobre cómo se ha realizado el trabajo de fin de grado, que tiene como objetivo la caracterización y catalogación de diversos materiales que se encuentran en el laboratorio de metales de la Escuela de Ingeniería de Bilbao.

Para empezar, se presenta el contexto del proyecto y su razón de ser. Posteriormente se encuentran los objetivos y la planificación del trabajo que se ha llevado a cabo. A continuación, se describen una por una las fases del proyecto y se presenta el catálogo producido, el cual contiene la información pertinente sobre cada uno de los materiales empleados, para finalizar con las conclusiones que se han sacado después de realizar el proyecto.

Finalmente se presentan dos anexos. En el primero de ellos aparece información sobre el material y equipamiento empleado en el laboratorio y sobre cómo se ha operado en cada una de las fases del proyecto. En el segundo se incluyen imágenes de catálogos y certificados de las muestras.

2.-Contexto

El proyecto se ha desarrollado en la Escuela de Ingeniería de Bilbao, concretamente en el laboratorio de metales, en la segunda planta del Edificio I-B. A lo largo de los años, el laboratorio ha ido acumulando una gran cantidad de muestras para la realización de las prácticas docentes asignadas al departamento. Algunas de estas muestras se encuentran correctamente catalogadas, pero hay otras que carecen de una correcta documentación y con el paso del tiempo y la jubilación de buena parte del profesorado que hizo acopio de las mismas, se ha perdido su trazabilidad.

El presente trabajo de fin de grado se centra en la catalogación y caracterización de los aceros almacenados en el citado laboratorio.

Este trabajo no está pensado solamente para mejorar la gestión de los recursos del laboratorio, sino que también está pensado para proporcionar una valiosa fuente de datos para el desarrollo de futuras prácticas.

3.-Objetivos

En este apartado se definen los objetivos del proyecto.

El objetivo principal de este trabajo es realizar un documento, al cual se ha denominado Catálogo, donde se reúnan las características de todos los aceros sin catalogar que se encuentran disponibles en el laboratorio de metales del Edificio I-B de la Escuela de Ingeniería de Bilbao. La finalidad del catálogo es incorporar la información relevante de los materiales disponibles, de manera sistemática y estructurada, con el fin de proveer al futuro profesorado de la asignatura de la información relevante acerca de los materiales disponibles que permita diseñar y organizar prácticas docentes mejoradas.

Para producir el catálogo se deberán implementar los conocimientos adquiridos durante la carrera sobre metalurgia, tratamientos térmicos y metalografía y se deberán poner a punto los instrumentos y maquinaria necesarios, la metodología y procedimientos para la consecución del proyecto.

Estos procedimientos son, así mismo, una parte importante del catálogo, ya que incluyen cuales son las condiciones necesarias para la preparación de las muestras de distintos tipos de aceros.

Al mismo tiempo se deberá documentar el proceso, incluyendo los fallos cometidos y la manera de solventarlos. Esta parte podrá servir de ayuda a futuros alumnos que se encuentren con las dificultades que aquí se documentan.

4.-Descripción del proyecto

En este apartado se realiza la definición de los paquetes de tareas para llevar a cabo el proyecto. El proyecto se compone de las siguientes etapas o fases:

Etapa 1: Definición del alcance del trabajo

Etapa 2: Recopilación de materiales e información

Etapa 3: Caracterización Microestructural

Etapa 4: Tratamientos Térmicos

Etapa 5: Preparación del Catálogo

Lo primero a la hora de comenzar el proyecto ha sido definir la idea del proyecto y cuál es el alcance que se puede abarcar.

Después se han recopilado las muestras y toda la información disponible sobre las mismas, para posteriormente cortarlas y prepararlas para su análisis.

Con los materiales correctamente preparados, comienza la etapa más crítica y larga del proyecto, la caracterización microestructural de las muestras.

Esta fase está dividida en diferentes etapas, tales como el lijado y pulido, ataque químico, análisis microestructural y ensayo de dureza. El objetivo de esta etapa es triple. Por un lado, se pretende comprobar que la microestructura del material y su dureza se corresponden con las especificaciones recopiladas en la etapa previa. Es decir, comprobar que los materiales no han sido confundidos, mezclados o cambiados de alguna manera a lo largo del tiempo debido a los cambios de profesorado y personas responsables de la custodia de los mismos.

Por otro lado, y como objetivo más relevante, se pretende poner a punto el procedimiento de preparación microestructural adecuado para cada muestra, recopilando además las dificultades experimentales más importantes encontradas, de manera que esta información pueda ser guía para el alumnado de futuras prácticas docentes que se lleven a cabo con estos materiales.

Finalmente, el tercer objetivo de esta etapa es sacar fotografías de las microestructuras y tomar medidas de dureza en distintas zonas, completando con esta información la información inicialmente disponible de cada muestra.

Cuando se ha finalizado la caracterización de los materiales originales, se han distribuido entre materiales susceptibles de bonificado y materiales no bonificables. En aquellos materiales bonificables se ha abordado una etapa para el estudio de su transformación microestructural mediante tratamientos térmicos. En estos

casos, se ha llevado a cabo la correspondiente preparación microestructural posterior para observación de su microestructura, toma de fotografías y medida de dureza.

Mientras todas estas etapas han ido sucediendo, se ha ido preparando el catálogo, que es la razón de ser de este proyecto.

La *Figura 1* muestra el cronograma para la realización de las distintas actividades.

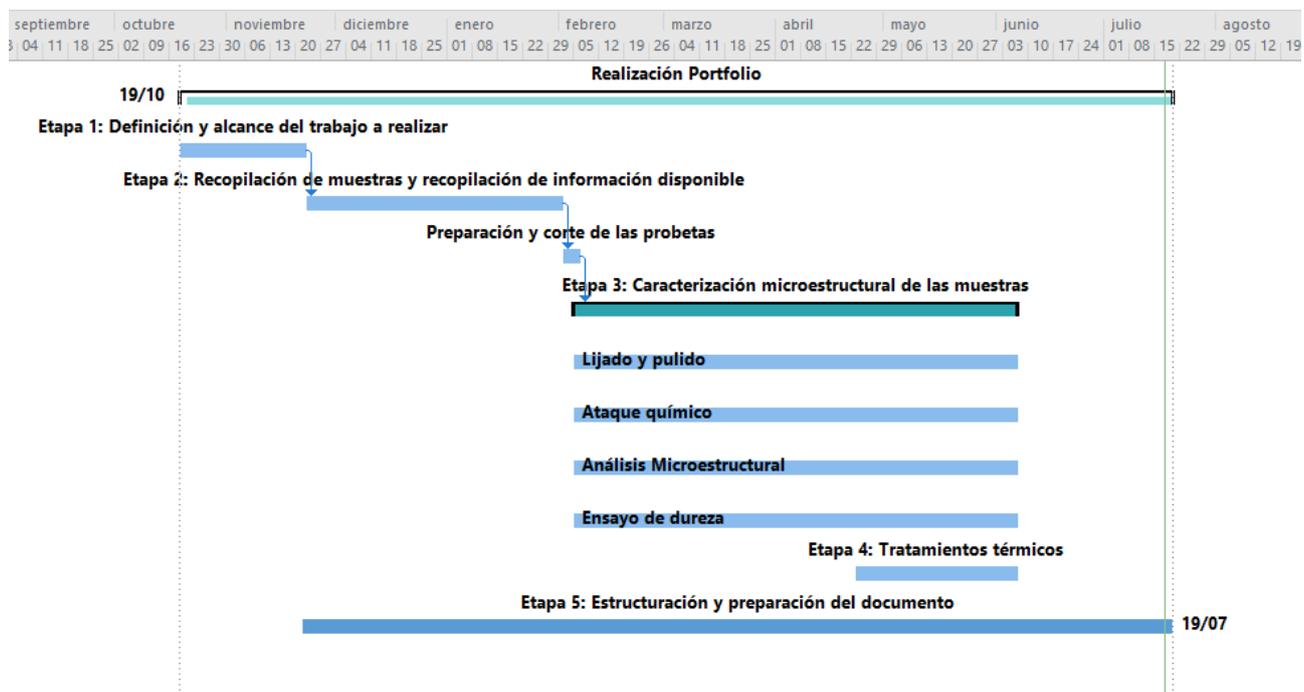


Figura 1. Diagrama Gantt del proyecto

A continuación, se describe sucintamente lo llevado a cabo en cada una de las etapas.

Etapa 1: Definición y alcance del trabajo a realizar

Al comenzar con este proyecto, después de marcar como objetivo solucionar el problema con la falta de información de algunos materiales almacenados en el laboratorio, se determinó con cuales de los materiales sin catalogar se iba a trabajar y cuál iba a ser el trabajo a realizar con cada uno de ellos. Se decidió centrar el trabajo en caracterizar las muestras de aceros descartando la posibilidad de caracterizar las fundiciones, las aleaciones de aluminio y muestras de otros materiales.

Para catalogar correctamente los materiales, se decidió crear una ficha técnica de cada uno de ellos, para posteriormente recogerlas todas en un portfolio de los materiales escogidos.

Se definió el tipo de información deberían contener las fichas, y tras valorar distintos aspectos e información que sería posible recoger en dichas fichas, se determinó que cada ficha debería contener la siguiente información:

- a. Identificación (nombre que se le da a la muestra)
- b. Estado de recepción
- c. Información suministrada por el suministrador
- d. Equivalencias entre distintas designaciones
- e. Composición química
- f. Caracterización microestructural del material recepcionado
- g. Dureza del material recepcionado
- h. Estado de tratamiento del material recepcionado
- i. Tratamientos y medidas adicionales realizadas sobre el material
- j. Información adicional relevante

Etapa 2: Recopilación de muestras y recopilación de información disponible

Se recopilaron los aceros disponibles en el laboratorio, ascendiendo el número de muestras iniciales a 17. A cada acero se le asignó una identificación, que en la medida de lo posible se mantuvo la referencia que el material tenía asignada previamente. Los aceros referenciados son los siguientes, con sus respectivas identificaciones iniciales:

- 1.2379 (Recocido Globular)
- 355J2
- Acero Corrugado 8mm
- Acero Corrugado 10mm
- Acero Corrugado 20mm
- AISI 304L (Hipertemple)
- AISI 431
- CNE
- Engranaje
- F1120
- F1140 10mm
- F1140 30mm
- F1142 (Recocido)
- F1142(Temple+Revenido)
- Inoxidable Desconocido
- Ref. Cromo
- VSC

Durante la realización del catálogo, se ha decidido hacer una única ficha conjunta para los tres aceros corrugados por la pequeña diferencia que pueden mostrar entre ellos. Así mismo, se decidió eliminar del estudio dos de las muestras, las identificadas como F1140 10mm y Ref. Cromo. Se tomó la decisión de eliminar el F1140 10mm por disponer de una muestra con diámetro superior y equivalente composición y estado de entrega. El material identificado como Ref. Cromo se eliminó del estudio por no disponer de los medios para realizar un correcto análisis que permita identificarlo con suficiente certeza.

Después de recopilar los materiales a utilizar se recopiló toda la información disponible sobre los mismos. Cabe destacar que no se dispone de la misma información para cada una de las muestras, siendo algunas

incluso completamente desconocidas, hecho que se mencionará en las fichas correspondientes. Entre la información disponible, en algunos casos se pueden encontrar certificados de compra de diferentes aceros, fichas técnicas proporcionadas por el suministrador y certificados de calidad varios.

Etapa 3: Caracterización microestructural

La mayoría de materiales se encuentran almacenados en el laboratorio en forma de barras. Para su posterior análisis ha sido necesario cortar probetas del tamaño adecuado para una correcta manipulación. También se ha decidido cortar unas probetas más largas para poder realizar tratamientos térmicos con temple en algunas de las muestras. Este trabajo ha sido desempeñado por el técnico de laboratorio.



Figura 2. Ejemplo estado de recepción de una muestra

Para las probetas de un tamaño diametral por debajo de los 10mm ha habido que realizar un trabajo adicional con el fin de permitir su correcta preparación microestructural. Para estas muestras se ha decidido realizar un empastillado, con el fin de que la muestra sea más manejable y facilitar su posterior análisis. La descripción e información relativa a este proceso se ha incluido en el [Anexo 1](#).

Una vez que las probetas han sido correctamente preparadas, las muestras están listas para su caracterización. La caracterización de cada muestra consta de diferentes etapas, que son las siguientes:

3.1 Lijado y pulido

El primer paso a la hora de caracterizar las muestras es el lijado y el pulido. En esta etapa el objetivo es dejar una superficie lo suficientemente plana y lisa para su posterior estudio en el microscopio. En el [Anexo 1](#) se encuentra una información detallada sobre el proceso llevado a cabo.

3.2 Ataque químico

Para que se vea bien la estructura en el microscopio es necesario realizar un ataque químico.

De este modo, es posible visualizar claramente las características microestructurales de las muestras, facilitando la diferenciación de fases, tamaños de grano, y otros aspectos importantes de la estructura interna del material. Dependiendo del material se utilizarán diferentes reactivos, en el [Anexo 1](#) se detallan los diferentes reactivos y como se realiza el proceso en sí.

3.3 Análisis microestructural

Las muestras ya lijadas y atacadas, serán examinadas bajo un microscopio para documentar su microestructura y realizar un análisis detallado de las diferentes fases y características presentes. Es de vital importancia que los dos anteriores pasos estén realizados correctamente para poder ver claramente la microestructura en el microscopio. El uso del microscopio para el análisis microestructural de las muestras se encuentra en el [Anexo 1](#).

3.4 Ensayo de dureza

La dureza del material es una información interesante a la hora de estudiar las muestras. Alguna de las muestras, debido a su geometría, no ha sido capaz de someterse a dicho ensayo, cosa que se comentará en su respectiva ficha. La información respectiva a la descripción experimental del ensayo de dureza se encuentra en el [Anexo 1](#).

Etapa 4: Tratamientos térmicos

En algunas de las muestras de los diferentes aceros se han realizado varios tratamientos térmicos, con el fin de estudiar sus cambios en la microestructura y dureza. La información respectiva al uso del horno y a la descripción experimental de los tratamientos llevados a cabo se encuentra recogida en el [Anexo 1](#).

Etapa 5: Preparación del catálogo

Finalmente, toda la información recogida, los procedimientos realizados y los resultados obtenidos han sido recopilados en este trabajo de fin de grado. Adicionalmente a los resultados obtenidos experimentalmente en el trabajo de laboratorio realizado, se ha buscado información bibliográfica adicional sobre los diagramas de tratamientos térmicos de cada acero, y se han incluido en las correspondientes fichas.

Este documento sigue la estructura habitual de un trabajo de fin de grado. Como apartado más importante se incluye el Catálogo con las fichas de las diferentes muestras. Por otro lado, se ha decidido implementar un [Anexo 1](#) en el que están recogidas las descripciones de las diferentes técnicas utilizadas para la consecución del trabajo. En el [Anexo 1](#) también se documentarán los diferentes fallos cometidos a la hora de realizar estas técnicas y como solucionarlos.

6.-Catálogo

En este apartado se muestra el catálogo realizado juntando las diferentes fichas de los aceros seleccionados. Para facilitar la gestión de las muestras se le ha asignado un código a cada acero, que podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 1. Códigos de las muestras

Corrugado $\varnothing 20$	AC-01
AISI 304L (Hipertemple)	SS-01
AISI 431	SS-02
Inoxidable Desconocido	SS-03
F1120	AC-02
F1140	AC-03
F1142 (Recocido)	AC-04
F1142 (Temple+Revenido)	AC-05
1.2379 (Recocido Globular)	AC-06
355J2	AC-07
Engranaje	AC-08
CNE	SS-04
VSC	SS-05

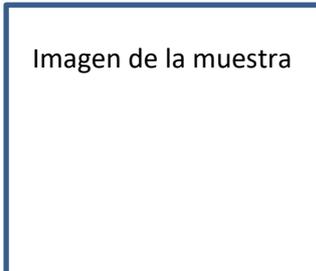
AC: Acero al Carbono

SS: Acero inoxidable (Stainless Steel)

A continuación, se presenta un modelo de ficha con una breve explicación de cada apartado.

Acero X

1. Estado de recepción de la muestra



2. Equivalencia entre distintas designaciones

Designación			
UNE-EN 10027		AFNOR	AISI-SAE
Simbólica	Numérica		

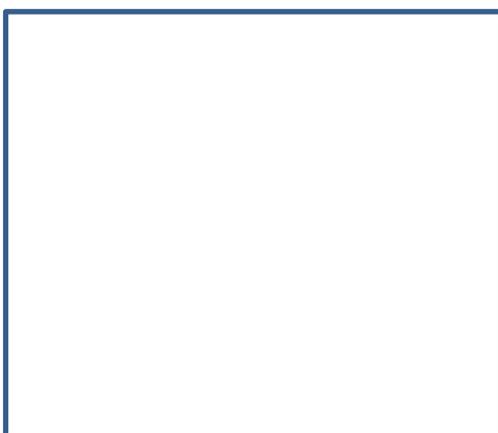
3. Composición química

Composición Química					
C	Si	Mn	P	S	N

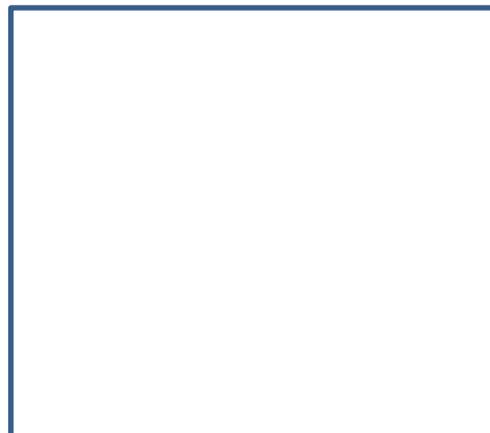
4. Información suministrada por el suministrado

5. Caracterización del material recepcionado

Macrografía



Micrografía



6. Dureza del material recepcionado

Dureza

Curva en U

Distancia	HRC



7. Estado de tratamiento del material recepcionado

8. Tratamientos y medidas adicionales realizadas sobre el material

9. Información adicional relevante

Como se puede observar, cada ficha contiene la información comentada en el [Apartado 4](#). Todas las fichas comienzan con la identificación que se le ha asignado. Continúa con una imagen y una breve explicación sobre el estado de recepción de la muestra.

Después sigue con las diferentes equivalencias de designación de acuerdo a las normativas más habitualmente empleadas en la designación de aceros, la composición química y la información recibida por parte del suministrador. Dicha información, entre la que se encuentran catálogos, certificados... se ha recopilado en el [Anexo 2](#).

Siguiendo con la ficha, encontramos la caracterización del material, la cual se compone de imágenes de la macroestructura, microestructura y valores de dureza a lo largo del diámetro de la muestra. Todo ello acompañado de sus respectivas explicaciones y anotaciones.

Para finalizar, se habla sobre el estado de tratamiento del material recepcionado, se analizan los tratamientos realizados sobre el material, si es que ha sido tratado, y se finaliza con más información relevante. Entre esta información podemos encontrar diagramas CCT, diagramas de revenido, temperaturas de realización de diferentes tratamientos...

AC-01

1. Estado de recepción de muestra



Figura 3. Muestra AC-01

El AC-01 ha sido recepcionado en forma de barras de 20mm de diámetro.

2. Información suministrada por el suministrador

No hay información del material. Suministrador desconocido.

3. Equivalencia entre distintas designaciones

El acero corrugado es un tipo especial de acero, por lo tanto, no sigue las designaciones usuales. Los aceros corrugados se identifican de la siguiente manera:

- Un número que indique el diámetro en mm, precedido por el símbolo \emptyset
- Una letra, indicando el tipo de acero (B= hormigón armado)
- Un número de tres cifras que indique el límite elástico nominal garantizado en N/mm²
- Una o dos letras que nos dan más información (T, SD, S), obtenido por trefilación, soldables de alta ductilidad o soldables respectivamente.

Por ejemplo, el acero \emptyset 20 B400T, es un acero de diámetro 20mm, que se usará para hormigón armado con un límite elástico nominal de 400 N/mm² obtenido por trefilación.

La muestra recepcionada en el laboratorio no dispone de ninguna información para designarlo de una manera concreta.

4. Composición química

Tabla 2. Composición AC-01

Composición Química					
C	Si	Mn	P	S	N
0,2	0,15-0,35	0,3-1,5	<0,05	<0,05	0,012

Dado que no se dispone de información concreta referente a la muestra caracterizada, se ha estimado la posible composición en base a literatura. No obstante, se decidió confirmar el porcentaje de carbono, mediante el software ImageJ, disponible en el microscopio óptico empleado en el laboratorio. En el [Anexo 1](#) se puede encontrar una breve explicación de cómo usar este software y cómo se llevó a cabo la identificación

del %C de la muestra. De acuerdo a el análisis mediante este software la muestra presenta un contenido de Carbono de 0,22%.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

En el laboratorio se encuentran disponibles tres aceros corrugados, se ha caracterizado únicamente la probeta de \varnothing 20 mm debido a que este diámetro es de fácil manipulación en la preparación microestructural. El procedimiento de preparación microestructural se encuentra en el [Anexo 1](#).

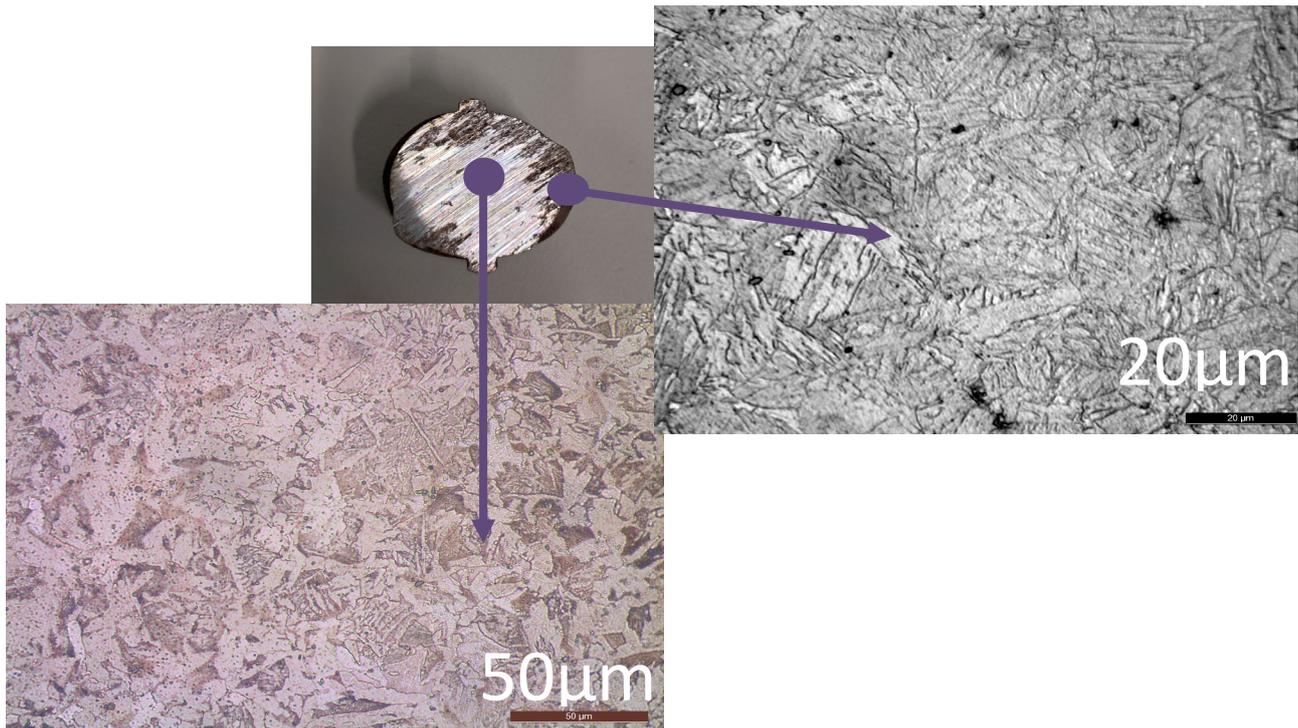


Figura 4. Micrografía AC-01

Como se puede observar en la *Figura 4*, la estructura de la zona central de la probeta tiene una microestructura ferrítico-perlítica. Esta zona proporciona ductilidad y tenacidad.

En la capa superficial o corona se observa martensita revenida, que proporciona alta resistencia y dureza.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 3. Dureza AC-01

Distancia	HRC
-1	36,5
-0,75	28
-0,5	30
-0,25	27
0	28
0,25	25
0,5	26
0,75	30
1	37,2

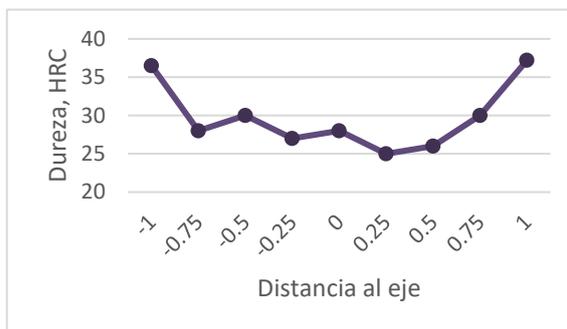


Figura 5. Curva en U AC-01

Como se puede ver en los resultados obtenidos, la dureza en la zona central tiene un valor en torno a los 27 HRC, y a medida que se acerca a la superficie aumenta a un valor en torno a los 37 HRC, totalmente lógico si se tiene en cuenta lo explicado en los anteriores apartados.

(*) Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

No hay ninguna información sobre el estado de tratamiento del material. Habitualmente los aceros corrugados se consiguen mediante el tratamiento llamado tempcore, que se explica sucintamente a continuación. Este tratamiento consiste en enfriar con chorros de agua las barras de acero, que salen del tren de laminación en caliente, controlando el caudal de agua y creando de esta manera una superficie exterior de martensita. Después de esto, el calor residual del núcleo se transfiere al exterior realizando un "autorevenido". De esta manera, como podemos ver en la Figura 6, queda un acero con una superficie exterior de martensita revenida y un interior de ferrita-perlita.

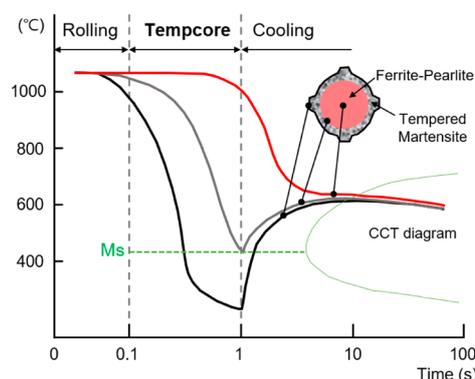


Figura 6. Tratamiento Tempcore

La caracterización microestructural y el ensayo de dureza indican que el material había sido sometido a un tempcore, como se había predicho.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizadas sobre el material

- **Tratamiento de recocido**

Se ha realizado un tratamiento de recocido completo. Para ello, el material se calienta a una temperatura por encima de la curva A₃ y cuando se alcanza esa temperatura en toda la pieza se deja enfriar lentamente dentro del horno. Para seleccionar la temperatura de tratamiento se emplea el diagrama de fases de la Figura

9. Así, el acero ha sido calentado a 865 °C durante 20 minutos y se ha dejado enfriar un día completo dentro del horno. El tiempo de austenización se ha determinado en base a datos habituales de experiencias previas en el laboratorio.

La *Figura 7* muestra la micrografía del material tras este tratamiento de recocido completo.

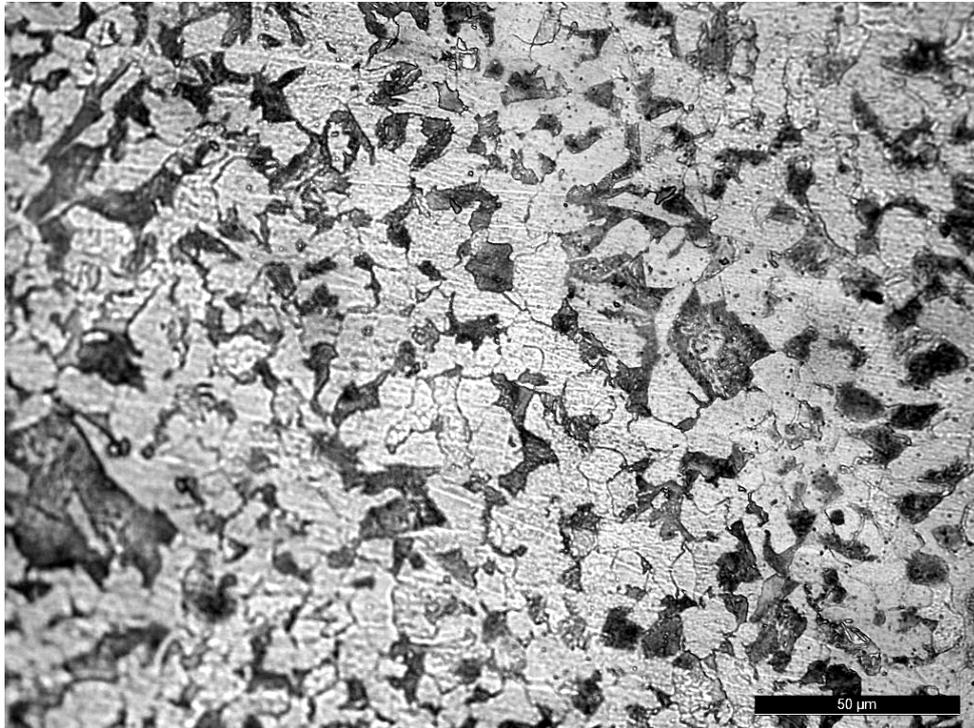


Figura 7. Micrografía AC-01 Recocido

Podemos apreciar en la microestructura la perlita gruesa (oscuro), y la ferrita (blanquecino).

Además de la observación microestructural, se ha determinado la evolución de la dureza en la muestra en comparación con la muestra original recepcionada:

Tabla 4. Dureza AC-01 Recocido

Distancia	HRC
-1	19
-0,75	25
-0,5	25
-0,25	27
0	28
0,25	26
0,5	26
0,75	24
1	23

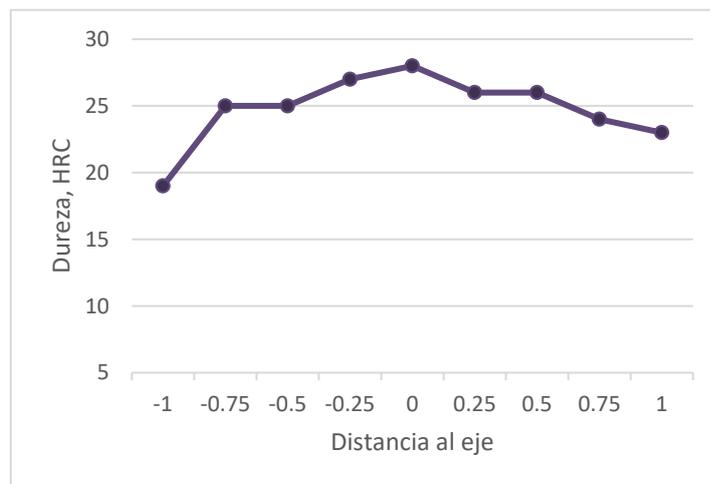


Figura 8. Curva en U AC-01 Recocido

Como se puede apreciar en la nueva curva en U, el material tiene una dureza uniforme en toda la superficie propia de una estructura ferrítico perlítica. El despunte que aparece en la distancia -1 se debe a un achafalamiento en el proceso de lijado manual.

(* *Dureza alterada desajuste en el durómetro.*)

Es decir, es un valor erróneo experimentalmente. Pero dado que el objetivo de este documento es didáctico, se han incluido dichos valores para ilustrar el efecto que puede tener una preparación mal realizada en la determinación de la dureza.

- **Condiciones de austenización**

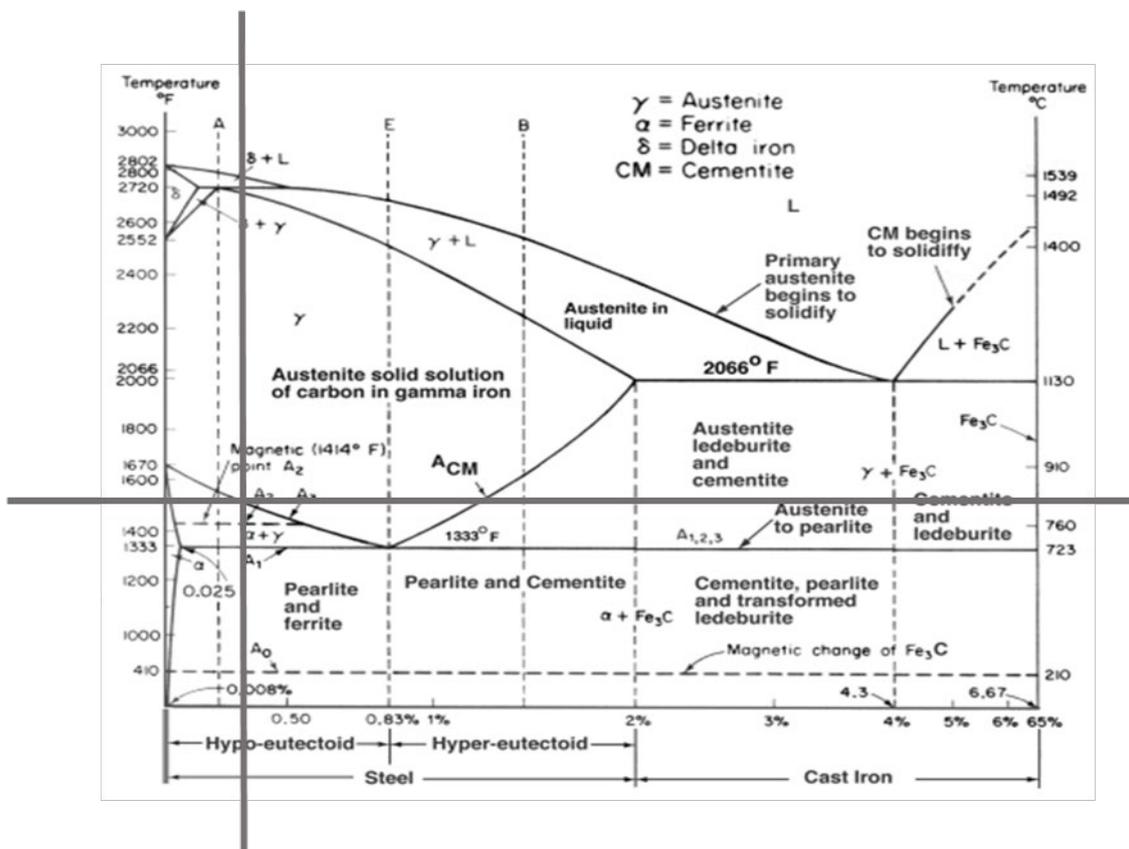


Figura 9. Diagrama de fases AC-01

Como se puede apreciar en el diagrama de fases de la *Figura 9*, con el porcentaje de carbono previamente calculado, la temperatura de austenización es de 865°C aproximadamente.

9. Información adicional relevante

No se ha decidido implementar información adicional relevante.

SS-01

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 10. Muestra SS-01

El SS-01 ha sido recepcionado en forma de barras de 25mm de diámetro.

2. Información suministrada por el suministrador

En cuanto al acero SS-01 se dispone de un certificado de calidad del material, en el que se puede ver que el suministrador es Aceros IMS. En el certificado se puede encontrar información tal como quien es el cliente, fecha de entrega, el estado de entrega del material, el peso, la composición química, las características mecánicas... El certificado en cuestión se encuentra en el [Anexo 2](#).

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Tabla 5. Equivalencias SS-01

Designación			
UNE-EN 10027		AFNOR	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	Z3CN 18-10	304L
X2CrNi19-10	1.4307		

El acero ha sido recepcionado bajo el nombre de AISI 304L, la L indica que el acero es bajo en carbono (Low carbon steel).

4. Composición química

Tabla 6. Composición SS-01

Contenido (%)							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N
0,025	1,950	0,370	0,04	0,027	18,220	8,100	0,087

En la *Tabla 6* se muestra la composición química extraída de la información proporcionada por el suministrador Aceros IMS.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

Al ser un acero inoxidable se ha procedido de manera diferente a la convencional para realizar la caracterización. La información relativa a los cambios a la hora de caracterizar la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).

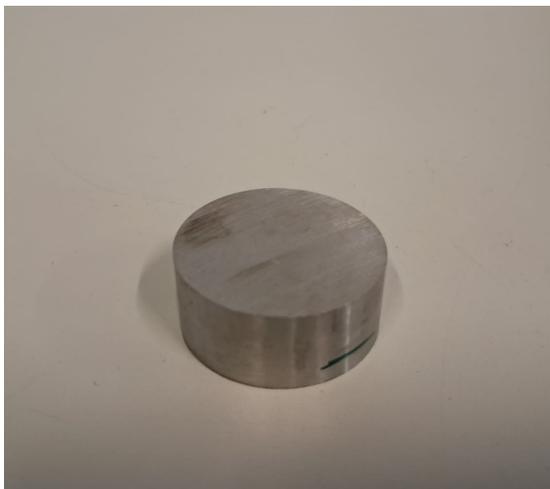


Figura 11. Macrografía SS-01

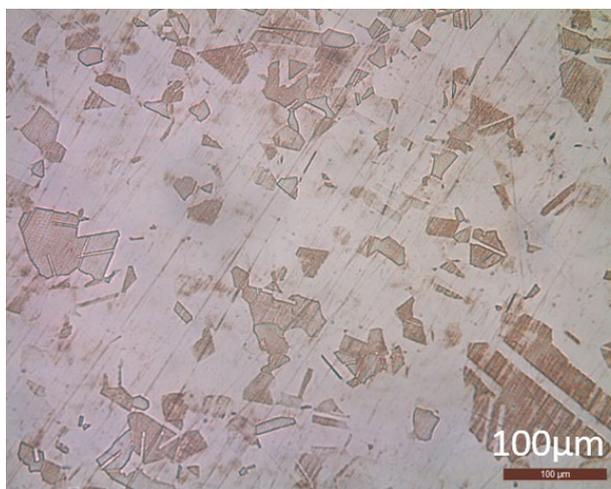


Figura 12. Micrografía SS-01

El acero SS-01 es un acero inoxidable austenítico, se pueden ver en la *Figura 12* los granos austeníticos del material. En las características proporcionadas por el suministrador aparece que esta muestra ha sufrido un hipertemple, luego aun siendo un acero inoxidable austenítico se pueden observar agujas martensíticas en diagonal.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 7. Dureza SS-01

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	29
-0,75	18
-0,5	26
-0,25	25
0	24
0,25	22
0,5	27
0,75	27
1	31

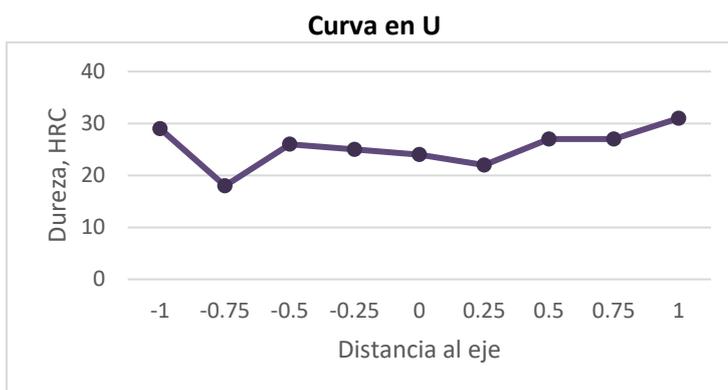


Figura 13. Curva en U SS-01

En el certificado de calidad proporcionado por Aceros IMS no se hace referencia a la dureza. No obstante, la muestra es conocida, y tras investigar acerca de la dureza del Acero AISI 304L se ha determinado que su dureza está en torno a los 11 HRC. El acero SS-01 ha recibido un hipertemple, por lo tanto, es lógico que la dureza calculada en el laboratorio sea mayor.

(* *Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.*

El despunte que aparece en la distancia -0,75 se debe a una muesca en el material. Es un valor erróneo experimentalmente, pero se ha decidido incluirlo para demostrar la importancia de una buena preparación previa a la hora de estudiar la dureza.

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

Este acero se ha sometido a un *hipertemple*, es un tratamiento térmico en el que la pieza se calienta a una temperatura muy alta, en torno a 1050-1100 °C, con el fin de disolver carburos. Después se somete a un enfriamiento brusco en agua. Normalmente se realiza un hipertemple para lidiar con los problemas de corrosión intergranular.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

No se ha realizado ningún tipo de tratamiento adicional.

9. Información adicional relevante

No se ha decidido implementar ningún tipo de información adicional.

SS-02

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 14. Muestra SS-02

El SS-02 ha sido recepcionado en forma de barras de 25mm de diámetro.

2. Información suministrada por el suministrador

En cuanto al acero SS-02 se dispone de un certificado de calidad del material, en el que se puede ver que el suministrador es Aceros IMS. En el certificado se puede encontrar información tal como quien es el cliente, fecha de entrega, el estado de entrega del material, el peso, la composición química, la dureza, las características mecánicas... Adicionalmente al certificado de calidad, este acero posee una página para él en el catálogo de Aceros Especiales de Aceros IMS en la que se puede encontrar información adicional.

El certificado y las páginas del catálogo se encuentran en el [Anexo 2](#).

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Tabla 8. Equivalencias SS-02

Designación			
UNE-EN 10027		AFNOR	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	Z15CN 16-2	431
X17CrNi16-2	1.4057		

4. Composición química

Tabla 9. Composición SS-02

Contenido (%)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co
0,190	0,410	0,570	0,03	0,002	15,690	1,650	0,05

En este caso disponemos del certificado de calidad proporcionado por el suministrador. En la *Tabla 9* se muestra la composición exacta del material.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

Al ser un acero inoxidable se ha procedido de manera diferente a la convencional para realizar la caracterización. La información relativa a los cambios a la hora de caracterizar la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 15. Macrografía SS-02

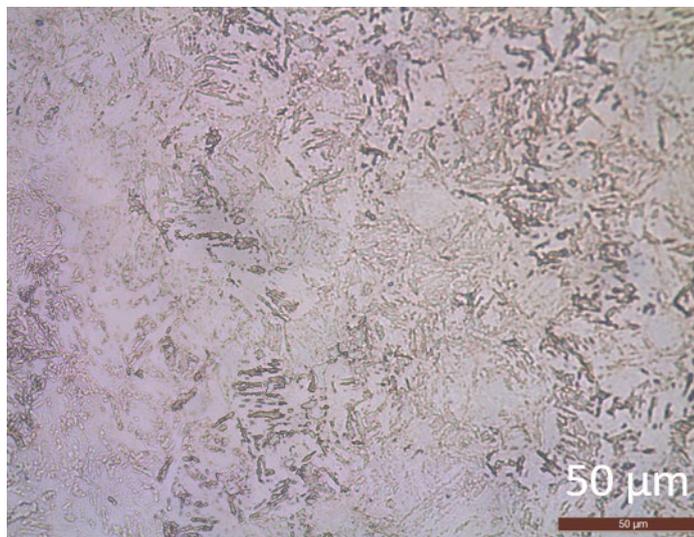


Figura 16. Micrografía SS-02

El acero SS-02 es un acero inoxidable martensítico, como se puede apreciar en la *Figura 16*, la microestructura está formada por unas lascas mínimas de martensita sobre un fondo blanco de austenita.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 10. Dureza SS-02

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	40
-0,75	40
-0,5	41
-0,25	41
0	40
0,25	39
0,5	41
0,75	41
1	40

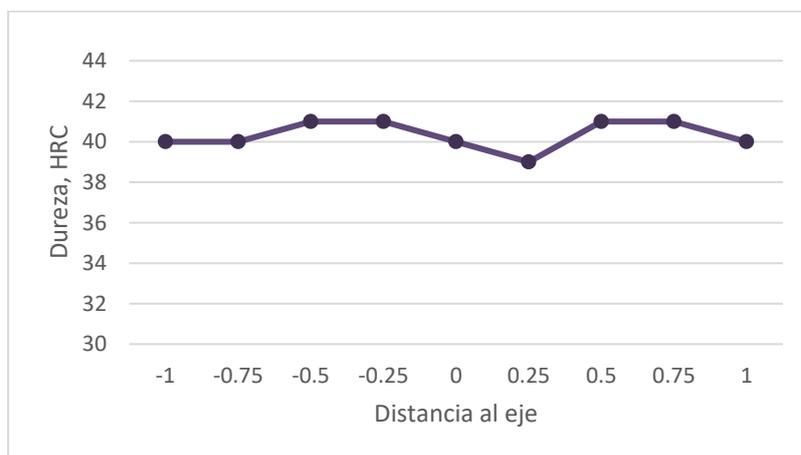


Figura 17. Curva en U SS-02

El valor de la dureza no se corresponde al valor que aparece en el certificado. El valor que aparece en el certificado es 29 HRC. Como se explica en el [Anexo 1](#), esto se debe a un desajuste en el durómetro el cual causa que las durezas tomadas estén aproximadamente 10 HRC por encima. Con este cambio sí que coincidiría con el valor que aporta el suministrador.

(* *Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.*)

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

Aparece que está tratado y el suministrador indica el tratamiento con una T, se asume que se trata de un temple.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

No se ha realizado ningún tipo de tratamiento adicional.

9. Información adicional relevante

En este apartado se presenta información adicional extraída de *SteelSelector*:

Diagrama CCT

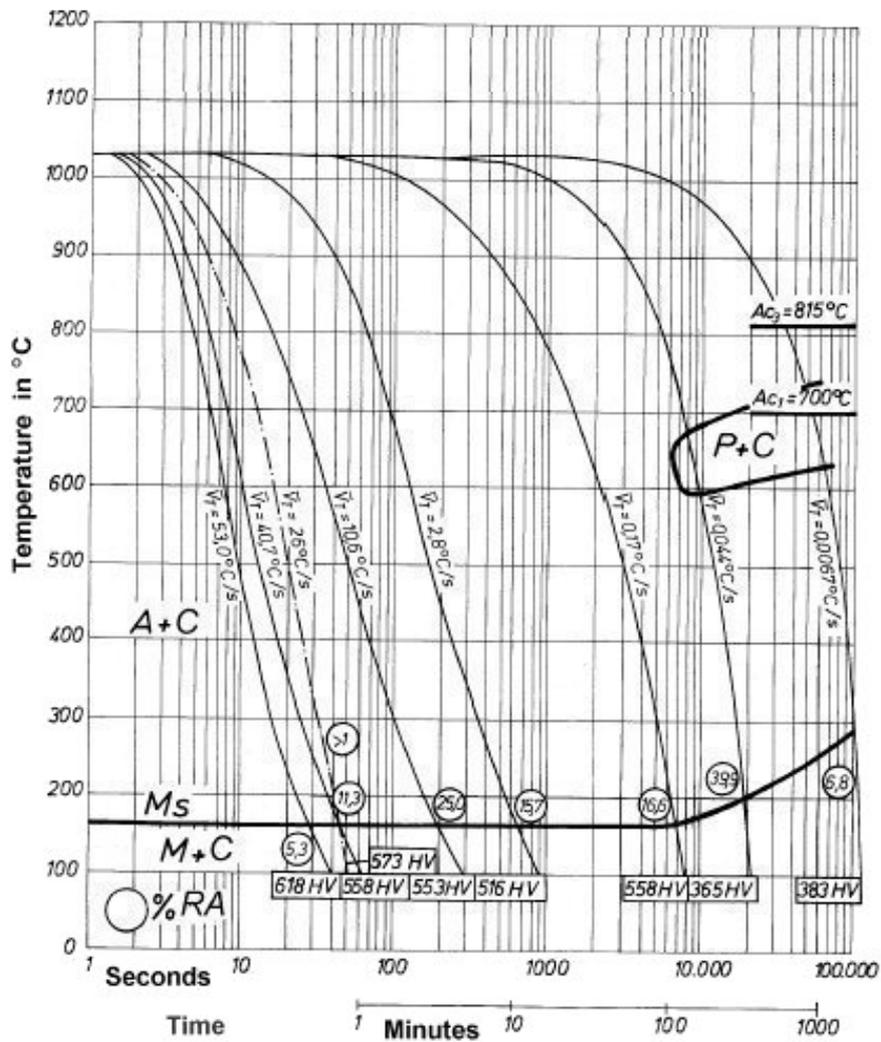


Figura 18. Diagrama CCT SS-02

Diagrama temperatura de revenido – Propiedades mecánicas

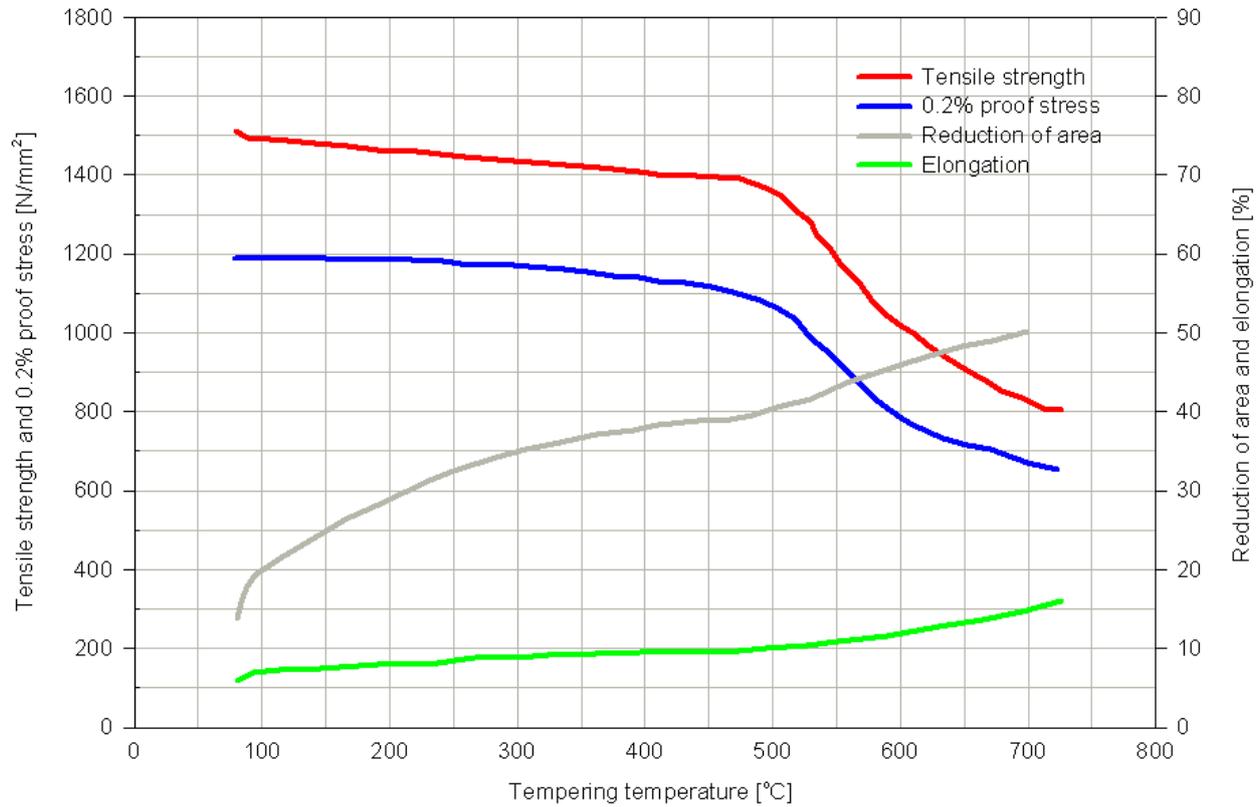


Figura 19. Diagrama temperatura de revenido – Propiedades mecánicas SS-02

Tabla 11. Temperaturas de tratamientos térmicos SS-02

	Temperatura
Recocido blando	660-750 °C
Endurecimiento	980-1030 °C (seguido por templado en aire o aceite)
Revenido	Para Q+T 800 °C (750-800 °C), para Q+T 900 °C (600-650 °C)

SS-03

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 20. Muestra SS-03

El SS-03 ha sido recepcionado en forma de barras de 10mm de diámetro. Debido al pequeño tamaño de la muestra se ha tenido que empastillar para poder manipularla. En el [Anexo 1](#) se encuentra información detallada sobre el proceso de empastillado.

2. Información suministrada por el suministrador

No hay información del material. Suministrador desconocido.

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Designación			
UNE-EN 10027		UNE 36009	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	-	-
-	-		

Se desconoce la designación del material.

4. Composición química

Contenido (%)					
C	Si	Mn	P	S	...
-	-	-	-	-	-

Se desconoce la composición química del material.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

Al ser un acero inoxidable se ha procedido de manera diferente a la convencional para realizar la caracterización. La información relativa a los cambios a la hora de caracterizar la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 21. Macrografía SS-03

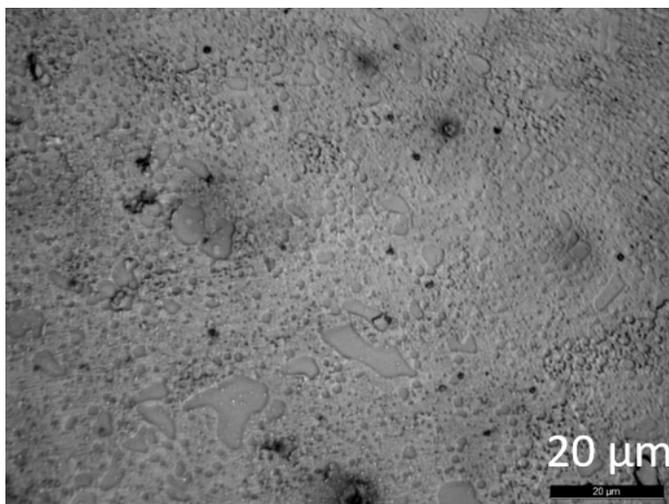


Figura 22. Micrografía SS-03

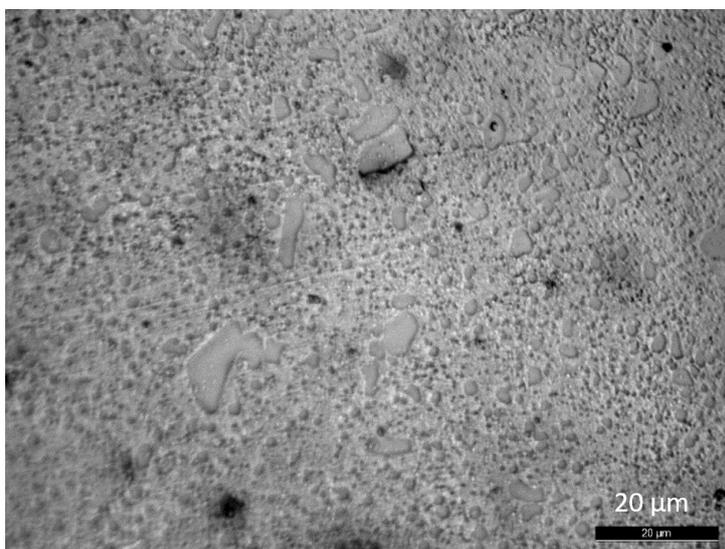


Figura 23. Micrografía adicional SS-03

No se observa bien la microestructura de este acero. Se sabe que es un acero inoxidable pero no se asemeja ni a un austenítico, ni a un martensítico, ni a un ferrítico. Puede tratarse de un acero inoxidable dúplex. Las partículas que se observan en las Figuras 22 y 23 tienen un aspecto mucho más duro que la matriz, la cual parece desgastada. Esto nos indicaría que la matriz es mucho más blanda que las partículas. Se podría tratar de una matriz ferrítica con partículas de austenita.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 12. Dureza AC-03

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	18
-0,75	30
-0,5	33
-0,25	27
0	32
0,25	36
0,5	33
0,75	34
1	27

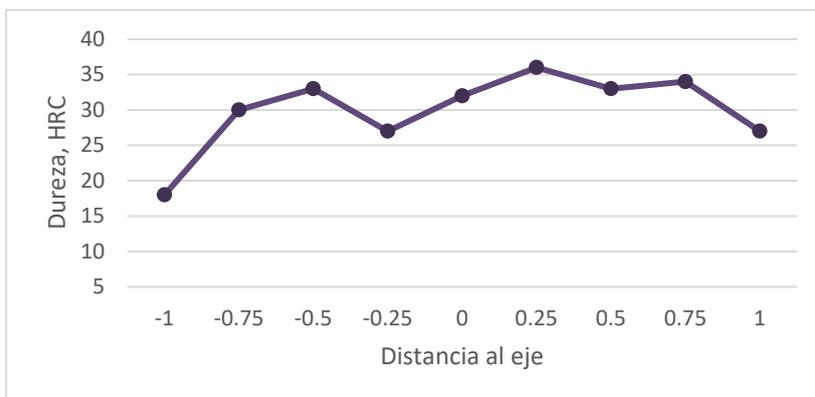


Figura 24. Curva en U SS-03

Los valores en los extremos son más bajos que en el resto de la muestra. Son valores erróneos, pero esto deja en claro que para realizar los ensayos de dureza es de vital importancia una superficie de apoyo lo suficientemente plana para evitar medidas fallidas como estas.

(*) Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

No hay información sobre el estado de tratamiento del material.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

No se ha realizado ningún tipo de tratamiento adicional.

9. Información adicional relevante

No se ha decidido implementar ningún tipo de información adicional.

AC-02

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 25. Muestra AC-02

El AC-03 ha sido recepcionado en forma de barras de 35mm de diámetro.

2. Información suministrada por el suministrador

No hay información sobre este acero, pero se ha asumido que el suministrador es el mismo que el de los demás aceros. En el catálogo aparece su composición química y distintas equivalencias entre designaciones que se utilizarán en la realización de la ficha.

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Tabla 13. Equivalencias AC-02

Designación			
UNE-EN 10027		UNE 36009	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	F-1120	1023
C25E	1.1158		

4. Composición química

Tabla 14. Composición AC-02

Contenido (%)					
C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
0,2-0,3	0,15-0,4	0,5-0,8	-	-	-

Composición extraída del catálogo de Aceros Especiales de Aceros IMS, supuesto administrador.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

El procedimiento de preparación microestructural de la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 26. Macrografía AC-02

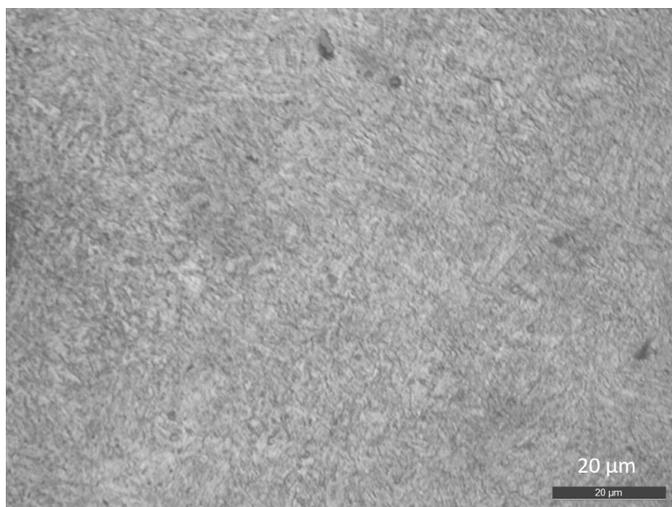


Figura 27. Micrografía AC-02

Atendiendo a la identificación del material, el acero AC-02 es un acero F-1120. Este acero corresponde a un acero al carbono sin muchos aleantes, como se puede comprobar en su composición química.

A pesar de que no se pueda observar correctamente, la microestructura de la *Figura 27* se asemeja a una microestructura martensítica, este tipo de microestructura no se corresponde con un acero al carbono como es el F-1120 sin tratar.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 15. Dureza AC-02

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	41,8
-0,75	43
-0,5	43
-0,25	42
0	41
0,25	43
0,5	43,5
0,75	42,2
1	44

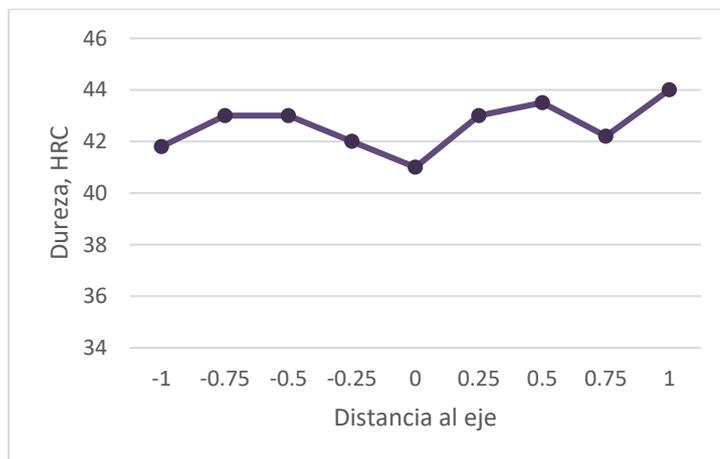


Figura 28. Curva en U AC-02

Después de estudiar los resultados obtenidos en el ensayo de dureza, se puede determinar que tiene una dureza propia de un acero con una microestructura martensítica.

Con la información obtenida al estudiar la microestructura y la dureza, se ha decidido determinar que el acero AC-02 es un acero F-1120 el cual ha sufrido un tratamiento térmico seguido de un temple.

(*) Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.

7. Estado de tratamiento del material recibido

No hay información sobre el estado de tratamiento del material, pero visto lo comentado anteriormente se podría asegurar que ha sufrido un tratamiento térmico seguido de un temple.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

No se ha realizado ningún tipo de tratamiento adicional.

9. Información adicional relevante

En este apartado se presenta información adicional extraída de *SteelSelector*:

Tabla 16. Temperaturas de tratamientos térmicos AC-02

	Temperatura
Recocido blando	650-700 °C
Normalizado	880-920 °C
Endurecimiento	860-900 °C con templado en agua
Revenido	550-660 °C
Forjado en caliente	1100-850 °C

AC-03

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 29. Muestra AC-03

El AC-03 ha sido recepcionado en forma de barras de 25mm de diámetro.

2. Información suministrada por el suministrador

En cuanto al acero AC-03 se dispone de un certificado de calidad del material, en el que se puede ver que el suministrador es Aceros IMS. En el certificado se puede encontrar información tal como quien es el cliente, fecha de entrega, el estado de entrega del material, el peso, la composición química, las características mecánicas, ensayos Jominy... El certificado se encuentra en el [Anexo 2](#).

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Tabla 17. Equivalencias AC-03

Designación			
UNE-EN 10027		UNE 36009	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	F-1140	1045
C45E	1.1191		

4. Composición química

Tabla 18. Composición AC-03

Contenido (%)						
C	Si	Mn	P	S	Mo	...
0,46	0,220	0,720	0,009	0,02	0,02	

En este caso se dispone de la información proporcionada por el fabricante así que se puede saber la composición exacta del material. En el [Anexo 2](#) está el certificado de calidad en el que se encuentran todos los aleantes y sus respectivos porcentajes.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

El procedimiento de preparación microestructural de la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 30. Macrografía AC-03

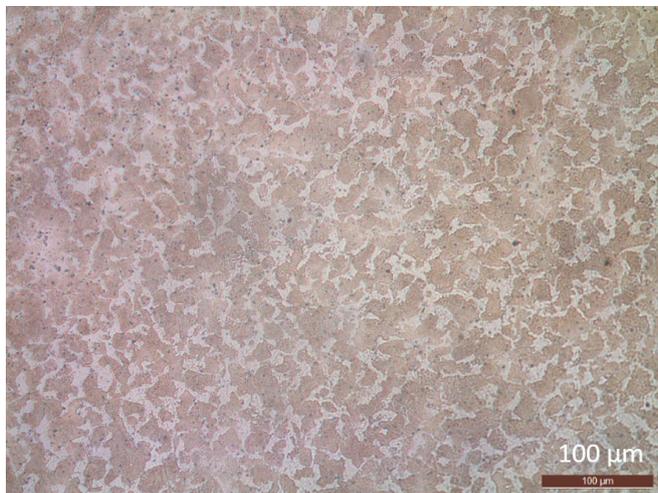


Figura 31. Micrografía AC-03

Como podemos apreciar en la *Figura 31*, corresponde a una estructura granular de ferrita y perlita.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 19. Dureza AC-03

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	26
-0,75	27
-0,5	27,2
-0,25	28
0	26
0,25	28
0,5	26,7
0,75	27
1	27

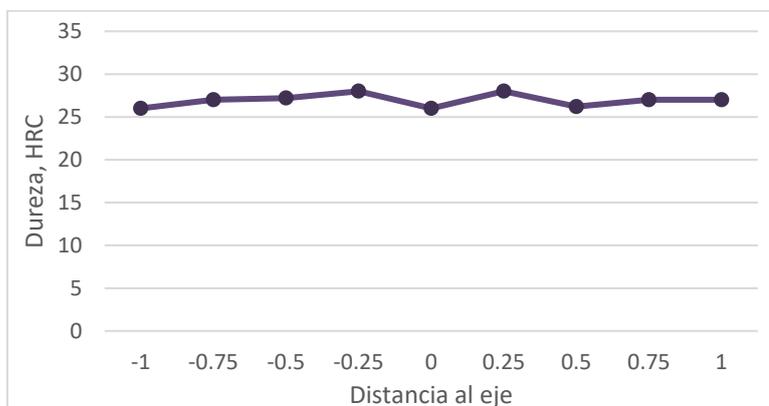


Figura 32. Curva en U AC-03

Como se puede ver en los resultados obtenidos en el ensayo de dureza, la muestra presenta una dureza uniforme en toda la superficie de la muestra.

(*) Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

Sin tratamiento.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

No se ha realizado ningún tipo de tratamiento adicional.

9. Información adicional relevante

En este apartado se presenta información adicional extraída de *SteelSelector*:

Diagrama CCT

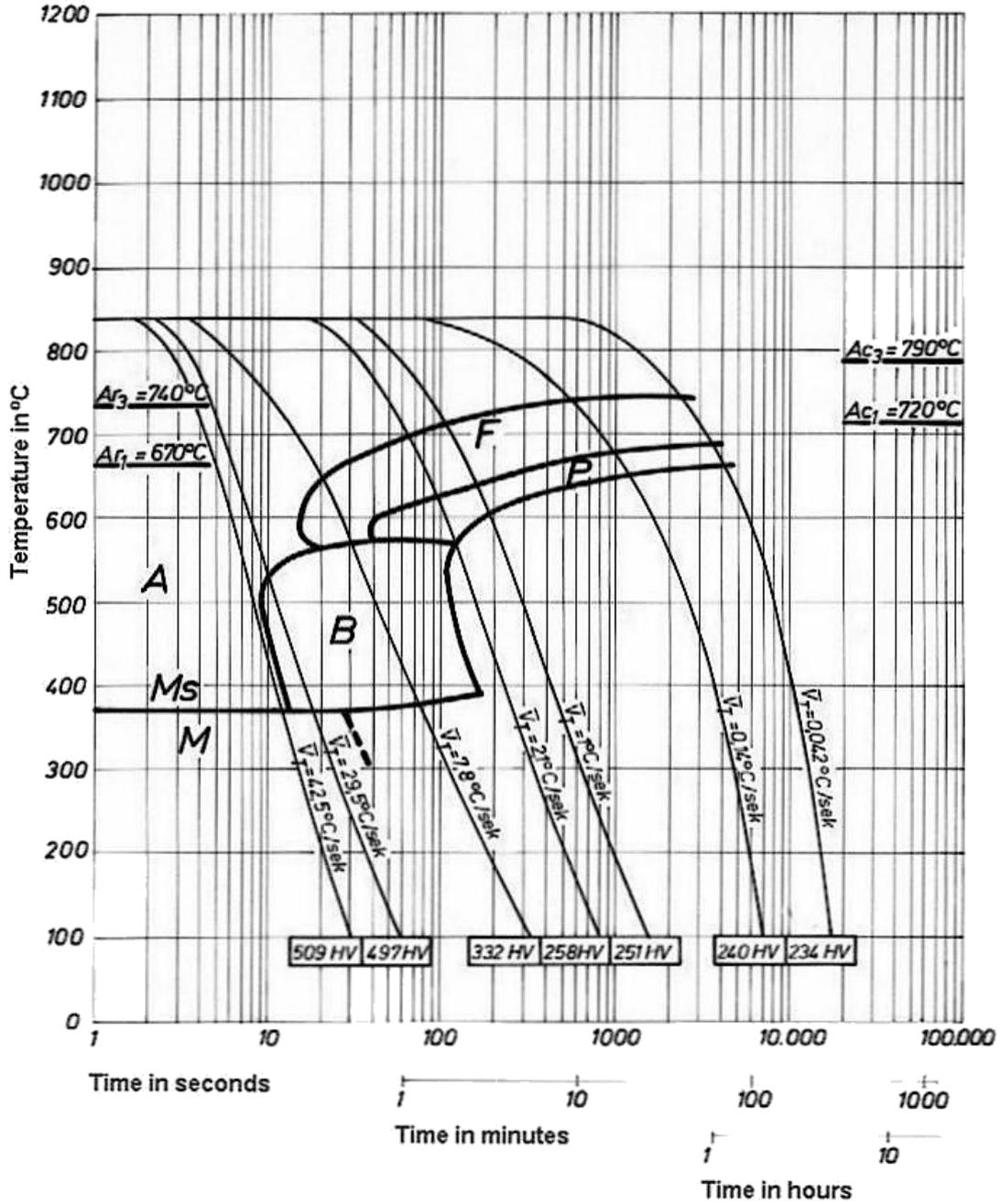


Figura 33. Diagrama CCT AC-03

Diagrama de revenido

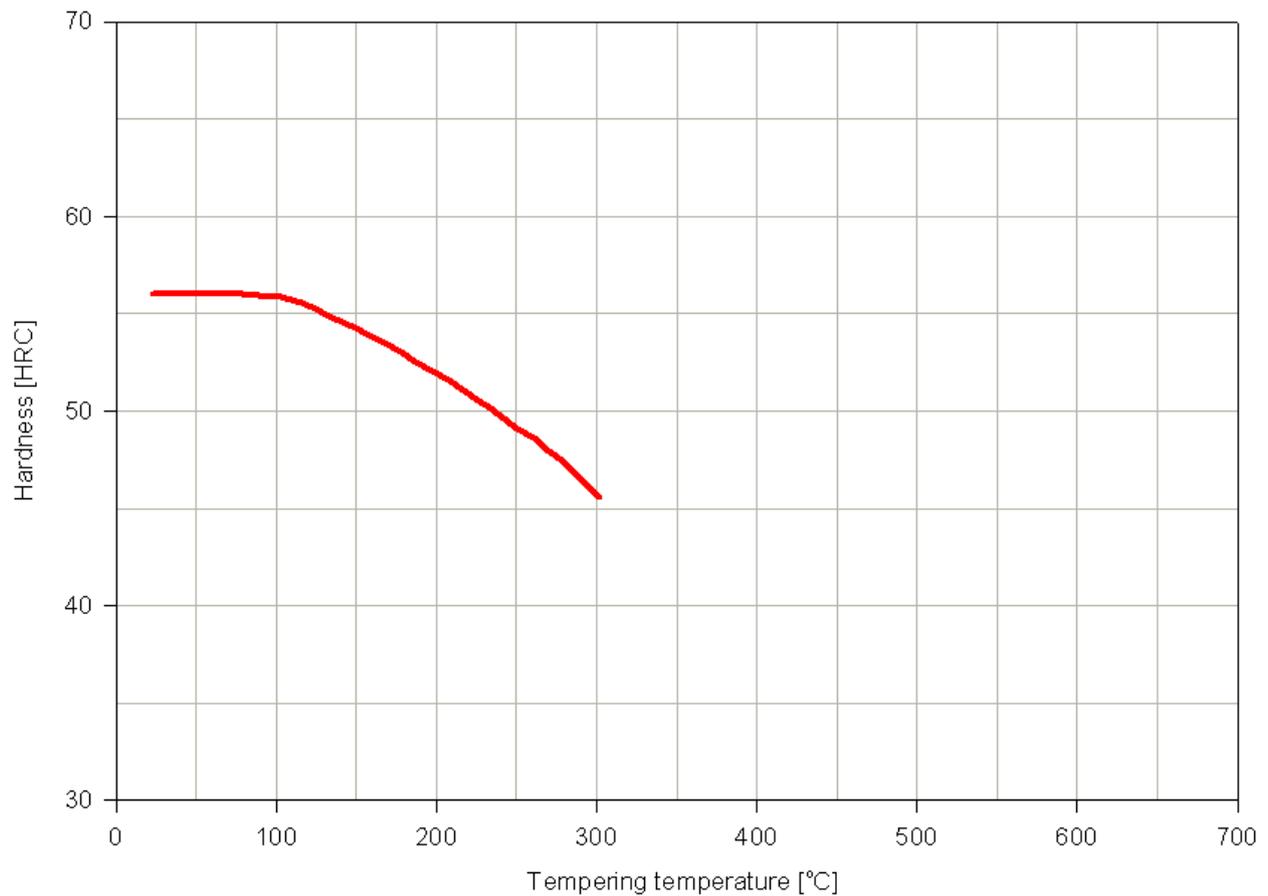


Figura 34. Diagrama de revenido AC-03

Tabla 20. Temperatura de tratamientos térmicos AC-03

	Temperatura
Recocido blando	650-700 °C
Endurecimiento	820-860 °C templado en agua o en aceite
Normalizado	840-870 °C

AC-04

1. Estado de recepción de la muestra



El AC-04 ha sido recepcionado en forma de barras de 25mm de diámetro.

Figura 35. Muestra AC-04

2. Información suministrada por el suministrador

En cuanto al acero AC-04 se dispone de un certificado de calidad del material, en el que se puede ver que el suministrador es Aceros IMS. En el certificado se puede encontrar información tal como quien es el cliente, fecha de entrega, el estado de entrega del material, el peso, la dureza, la composición química, las características mecánicas... El certificado se encuentra en el [Anexo 2](#).

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Tabla 21. Equivalencias AC-04

Designación			
UNE-EN 10083		UNE 36009	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	F-1252	4140
42CrMo4	1.7225		

Este acero ha sido recepcionado bajo el nombre F-1142 (Recocido), con la información de los certificados de calidad se ha determinado que es un error y que se corresponde a un acero F-1252.

4. Composición química

Tabla 22. Composición AC-04

Contenido (%)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
0,400	0,250	0,820	0,01	0,003	1,08	0,247	0,120	0,170

En este caso se dispone de la información proporcionada por el fabricante así que se puede saber la composición exacta del material.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

El procedimiento de preparación microestructural de la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 36. Macrografía AC-04

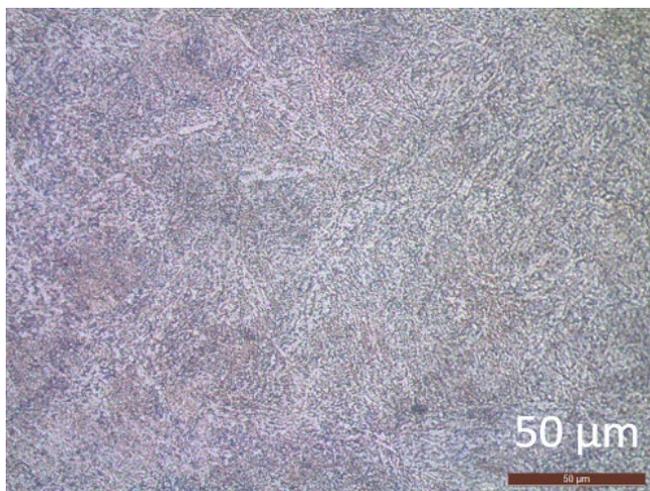


Figura 37. Micrografía AC-04

No se consigue ver una estructura granular clara con los aumentos que hay en el laboratorio, hay que tener en cuenta que es un acero con varios aleantes, por lo tanto, es más complicado visualizar su microestructura. Se puede ver en la *Figura 37* un fondo blanco ferrítico con una infinidad de granos de perlita.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 23. Dureza AC-04

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	29
-0,75	30
-0,5	29
-0,25	31
0	27,2
0,25	30
0,5	29,5
0,75	31,5
1	27,2

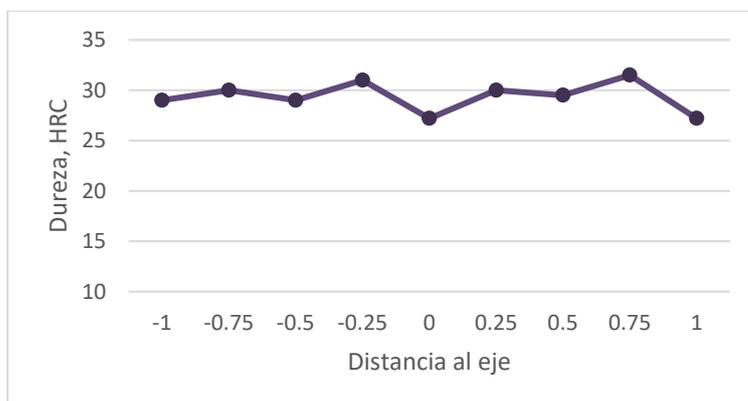


Figura 38. Curva en U AC-04

La dureza no se corresponde con la que da el fabricante, 14 HRC. Como ya se ha comentado, los valores de la dureza tomados experimentalmente no pueden ser tomados en consideración debido a un desajuste en el durómetro.

(*) Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

El acero AC-04 ha sido sometido a un recocido con el fin de ablandar el material.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

- **Tratamiento de temple y revenido**

Se ha realizado un tratamiento de temple y revenido. Primero se ha calentado el material a 850 °C durante 30 minutos y se ha enfriado rápidamente en agua. Para el revenido se ha calentado a 600 °C durante 30 minutos y se le ha dejado enfriar en otro horno disponible a temperatura ambiente. Para seleccionar las temperaturas de tratamiento se ha utilizado la información extraída de SteelSelector Incluida en la *Tabla 25*.

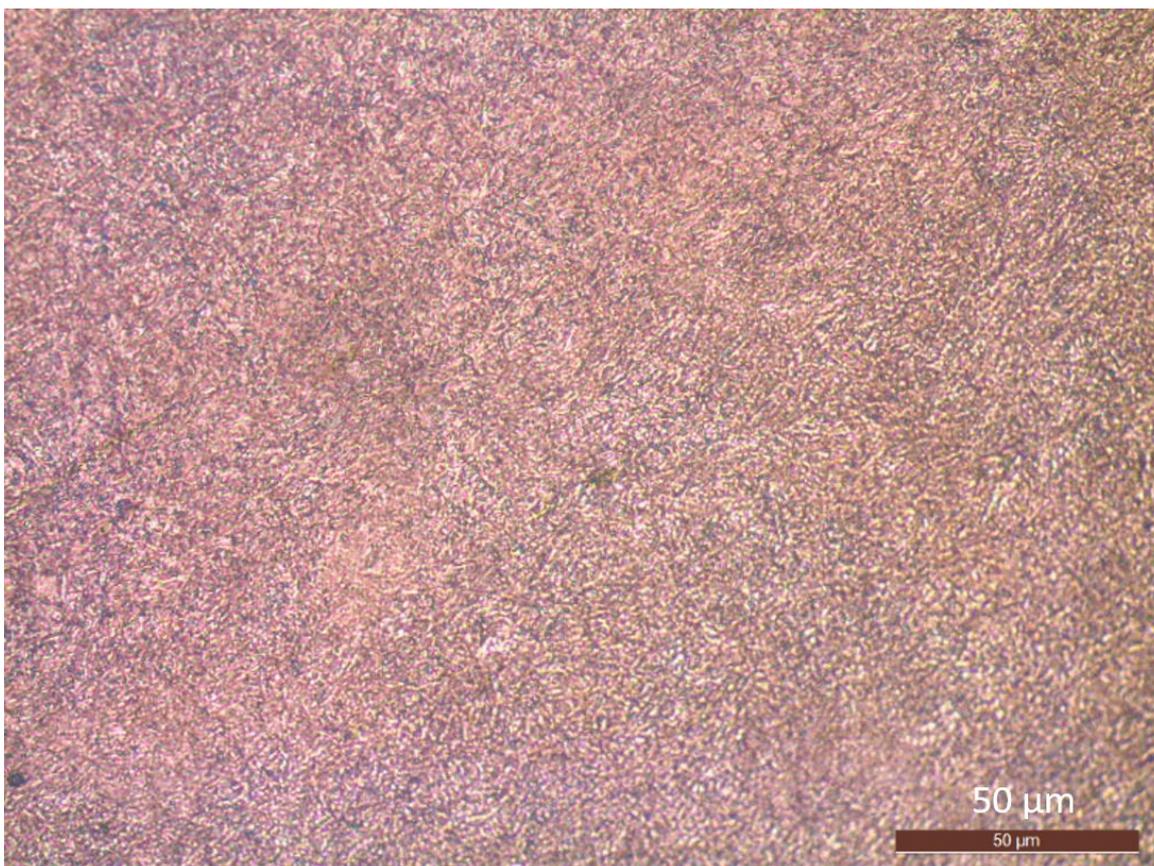


Figura 39. Microestructura AC-04 T+R

Como se aprecia en la *Figura 39*, la microestructura del acero después del temple y revenido, como era de esperar, es una microestructura martensítica.

Además de la microestructura se ha decidido realizar un estudio de la dureza del material post-tratamiento. En la curva en U de la *Figura 40* se observa que el temple no ha llegado totalmente al centro de la muestra y por eso la dureza es menor en el centro.

(* *Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.*)

Tabla 24. Dureza AC-04 T+R

Distancia	HRC
-1	46
-0,75	45
-0,5	42
-0,25	42
0	41
0,25	44
0,5	45
0,75	46
1	46

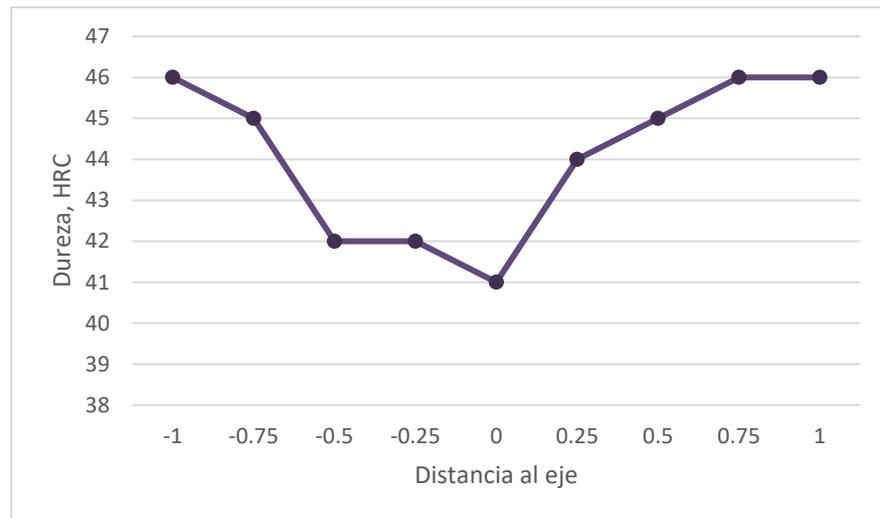


Figura 40. Curva en U AC-04 T+R

9. Información adicional relevante

En este apartado se presenta información adicional extraída de *SteelSelector*:

Tabla 25. Temperatura de tratamientos térmicos AC-04

	Temperatura
Recocido blando	680-720 °C
Endurecimiento	820-860 °C seguido por temple en agua o aceite
Normalizado	840-880 °C
Revenido	540-680 °C

Diagrama temperatura de revenido – Propiedades mecánicas

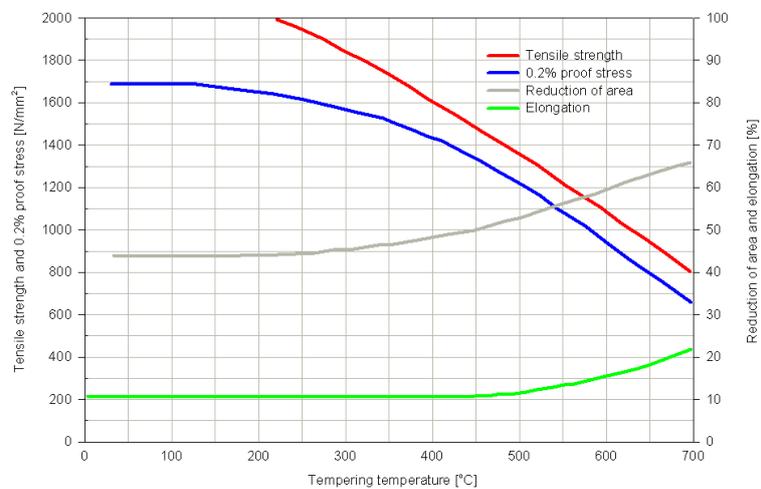


Figura 41. Diagrama temperatura de revenido – Propiedades mecánicas AC-04

Diagrama CCT

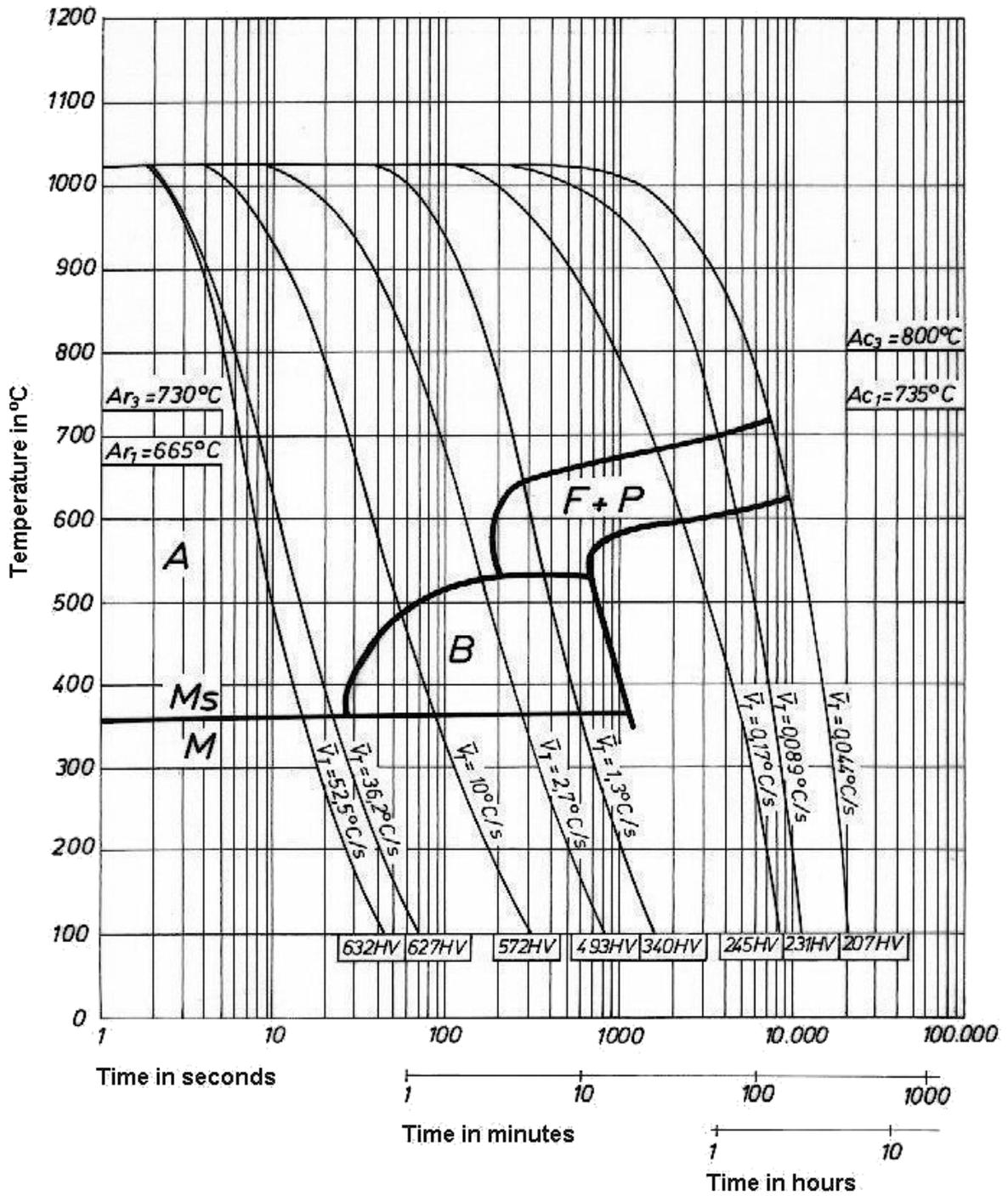


Figura 42. Diagrama CCT AC-04

AC-05

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 43. Muestra AC-05

El AC-05 ha sido recepcionado en forma de barras de 25mm de diámetro.

2. Información suministrada por el suministrador

En cuanto al acero AC-05 se dispone de un certificado de calidad del material, en el que se puede ver que el suministrador es Aceros IMS. En el certificado se puede encontrar información tal como quien es el cliente, fecha de entrega, el estado de entrega del material, la dureza, el peso, la composición química, las características mecánicas... El certificado se encuentra en el [Anexo 2](#).

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Tabla 26. Equivalencias AC-05

Designación			
UNE-EN 10083		UNE 36009	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	F-1252	4140
42CrMo4	1.7225		

Este acero ha sido recepcionado bajo el nombre F-1142 (Temple+Revenido), con la información de los certificados de calidad se ha determinado que es un error y que se corresponde a un acero F-1252.

4. Composición química

Tabla 27. Composición AC-05

Contenido (%)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
0,380	0,200	0,790	0,012	0,009	1,02	0,200	0,080	0,190

En este caso se dispone de la información proporcionada por el fabricante así que se puede saber la composición exacta del material.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

El procedimiento de preparación microestructural de la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 44. Macrografía AC-05

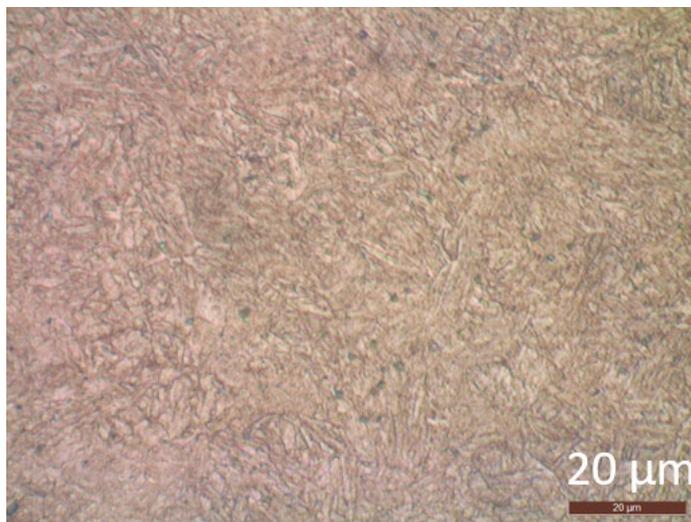


Figura 45. Micrografía AC-05

En la *Figura 45* se observan agujas de martensita difuminadas en un fondo de austenita blanco, microestructura propia de una muestra que ha sido sometida a un tratamiento de temple y revenido como indica el suministrador.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 28. Dureza AC-05

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	44,5
-0,75	46
-0,5	45
-0,25	44
0	45
0,25	45
0,5	45
0,75	48
1	45

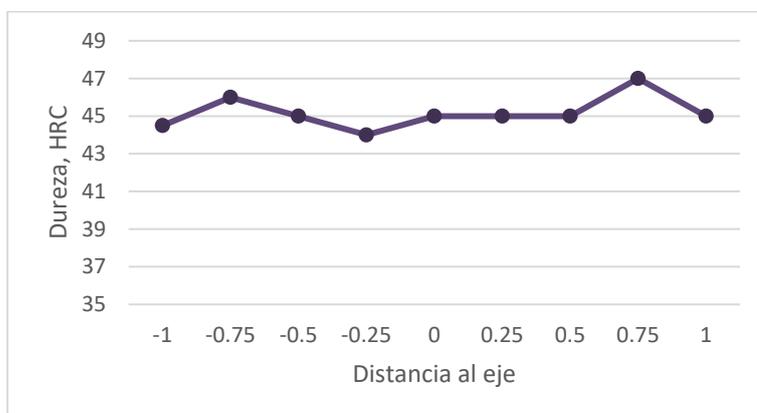


Figura 46. Curva en U AC-05

La dureza no se corresponde con la que da el fabricante, que se ajusta a un valor de 35 HRC. Ocurre lo mismo que con las otras muestras, si disminuimos la dureza en 10 HRC, que es lo que se ha asumido experimentalmente que es el desajuste del durómetro, obtenemos la misma dureza. En este caso, la microestructura es uniforme en toda la superficie.

(* *Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.*)

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

El acero AC-05 ha sido sometido a un temple y revenido con el fin de endurecer la superficie del material

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

- **Tratamiento de recocido**

Se ha intentado realizar un recocido de ablandamiento en el material. Primero se ha realizado una austenización a 850 °C durante 30 minutos y seguido se ha realizado un recocido a 700 °C durante 20 minutos. Debido al poco tiempo de espera entre la austenización y el recocido, el cambio en el material no ha sido el esperado. Para seleccionar las temperaturas de tratamiento se ha utilizado la información extraída de SteelSelector incluida en la Tabla 29.

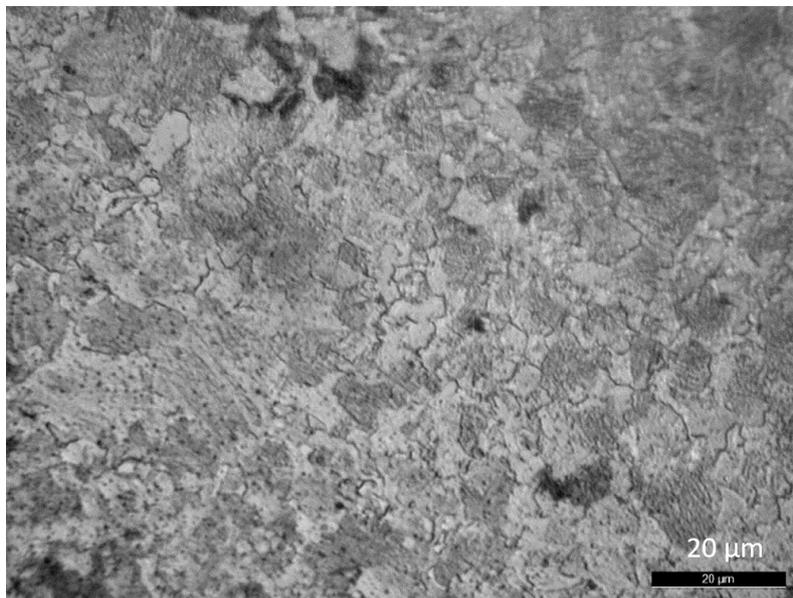


Figura 47. Microestructura AC-05 Rec.

Como podemos ver en la *Figura 47* la microestructura no tiene nada que ver con la microestructura del material original con el tratamiento hecho por el fabricante de la *Figura 37*.

Dureza media (HRC)	38
---------------------------	----

Tampoco se ha llegado a la dureza del material AC-04. En este ejemplo se puede observar la importancia de los tiempos de calentamientos y tiempos de espera a la hora de intentar conseguir unos resultados óptimos. Pese a que no se ha alcanzado el mismo valor que en la AC-04, el material se ha ablandado considerablemente.

(* *Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.*)

9. Información adicional relevante

En este apartado se presenta información adicional extraída de *SteelSelector*:

Diagrama CCT

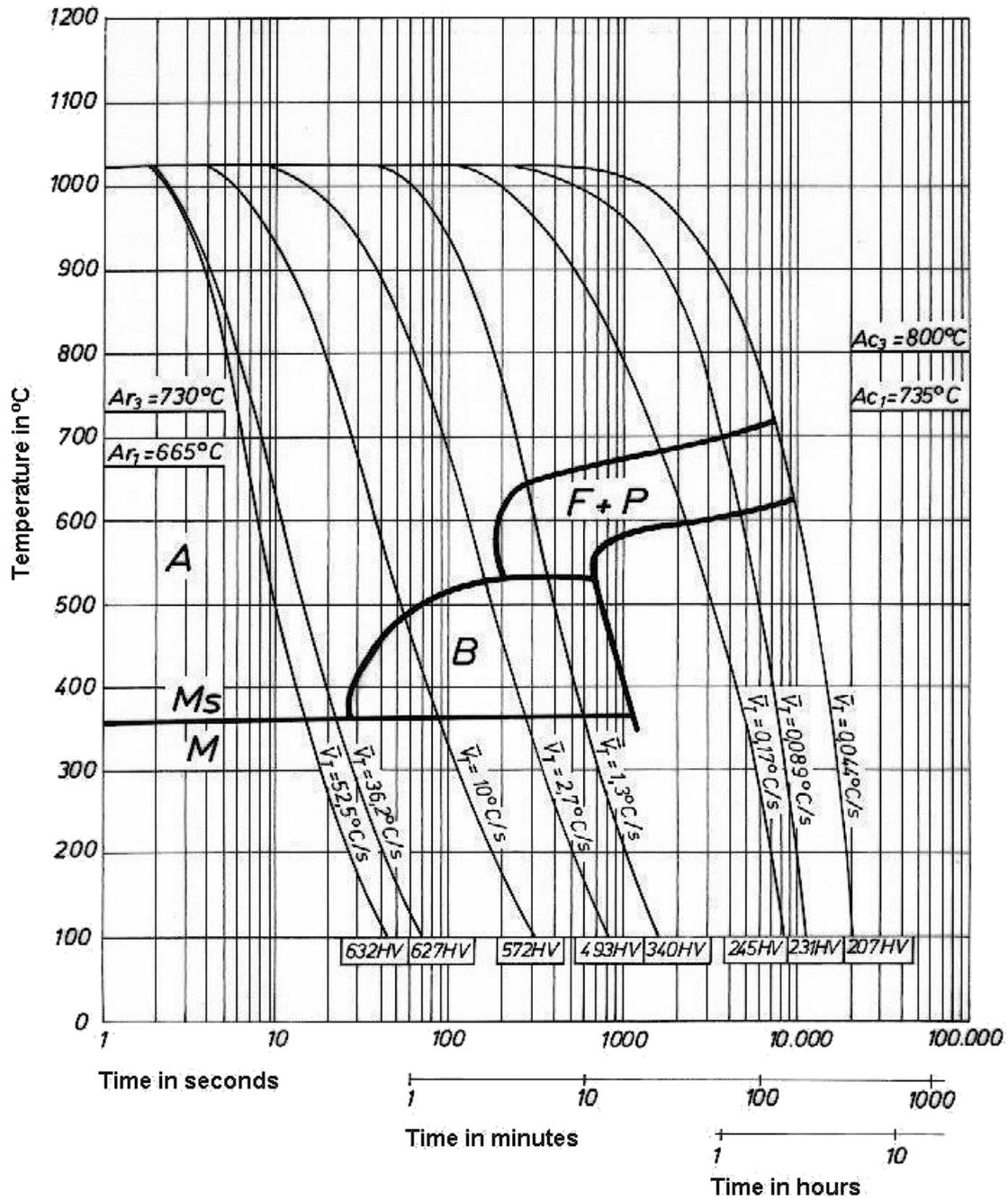


Figura 48. Diagrama CCT AC-05

Diagrama temperatura de revenido – Propiedades mecánicas

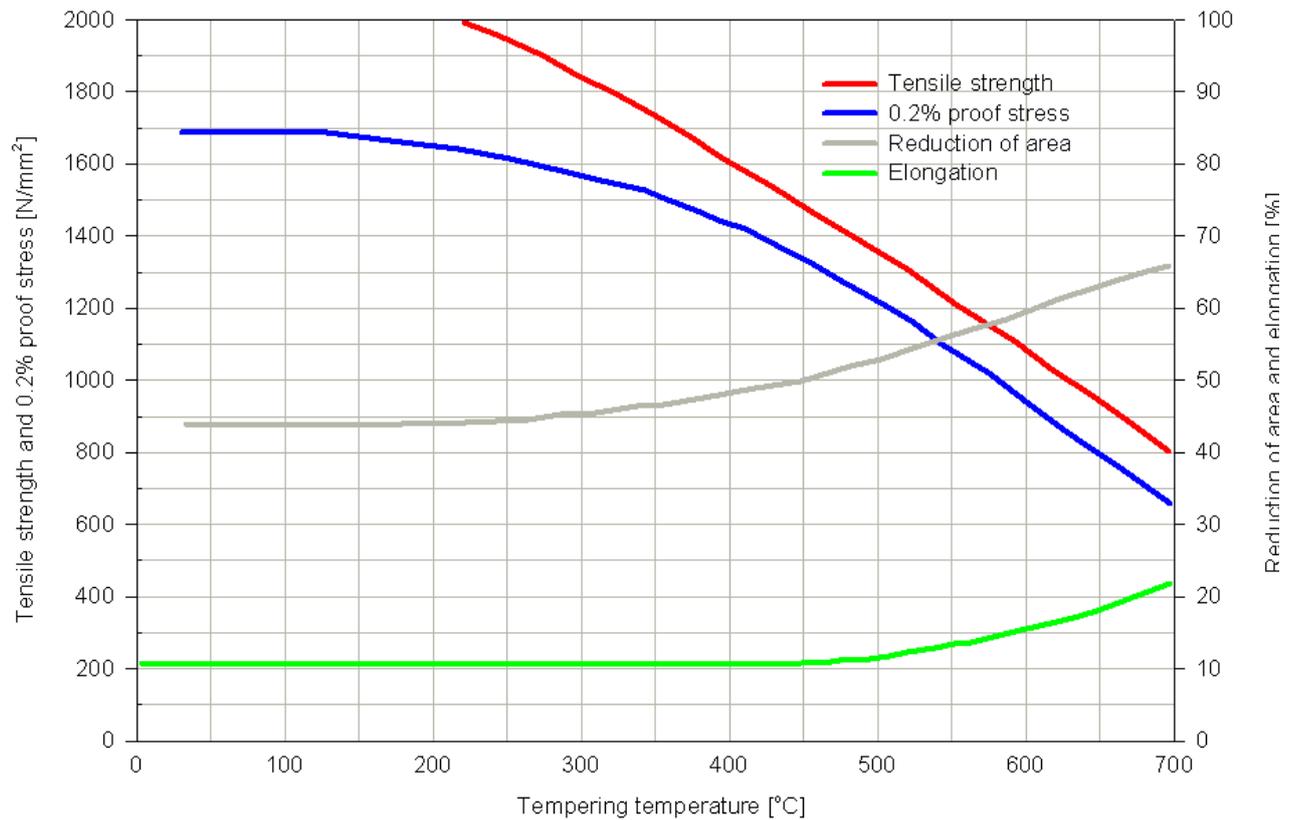


Figura 49. Diagrama temperatura de revenido – Propiedades mecánicas AC-05

Tabla 29. Temperaturas de tratamientos térmicos AC-05

	Temperatura
Recocido blando	680-720 °C
Endurecimiento	820-860 °C seguido por temple en agua o aceite
Normalizado	840-880 °C
Revenido	540-680 °C

AC-06

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 50. Muestra AC-06

El AC-06 ha sido recepcionado en forma de barras de 15mm de diámetro.

2. Información suministrada por el suministrador

En cuanto al acero AC-06 se dispone de una ficha técnica del material. En la ficha se puede encontrar información tal como la composición química, equivalencias entre designaciones, diferentes indicaciones para realizar tratamientos térmicos, diagrama de revenido ... Adicionalmente se han añadido sus páginas correspondientes del catálogo de Aceros Especiales de Aceros IMS en las que podemos encontrar el diagrama TTT del material, información sobre tratamientos térmicos...

La ficha y las páginas del catálogo se encuentran en el [Anexo 2](#).

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Tabla 30. Equivalencias AC-06

Designación			
UNE-EN 10027		UNE 36009	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	F-5211	D2
X155CrVMo 12-1	1.2379		

4. Composición química

Tabla 31. Composición AC-06

Contenido (%)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo
1,45-1,65	0,1-0,4	0,1-0,4	<0,03	0,03	11-12	0,75-1,10	0,60-0,80

A pesar de su alto contenido en cromo, este acero no se considera un acero inoxidable ya que su porcentaje en carbono es superior al 1,2%.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

El procedimiento de preparación microestructural de la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 51. Macrografía AC-06

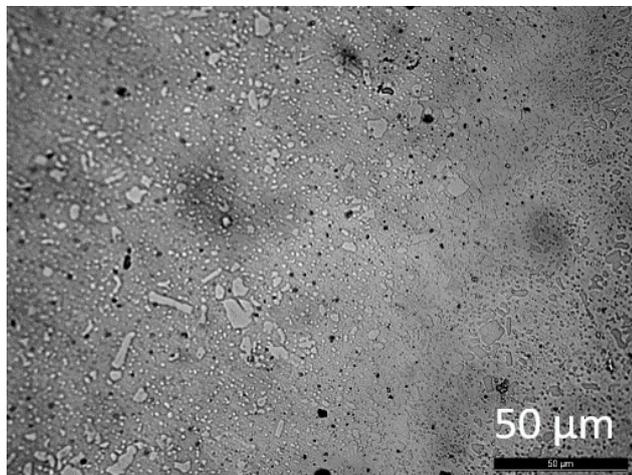


Figura 52. Micrografía AC-06

En la *Figura 52* podemos ver las placas de cementita redondeadas en una matriz de ferrita, microestructura propia de un acero que ha sido sometido a un recocido globular.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 32. Dureza AC-06

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	30
-0,75	30
-0,5	28,2
-0,25	31
0	27
0,25	29
0,5	28,2
0,75	29,5
1	30

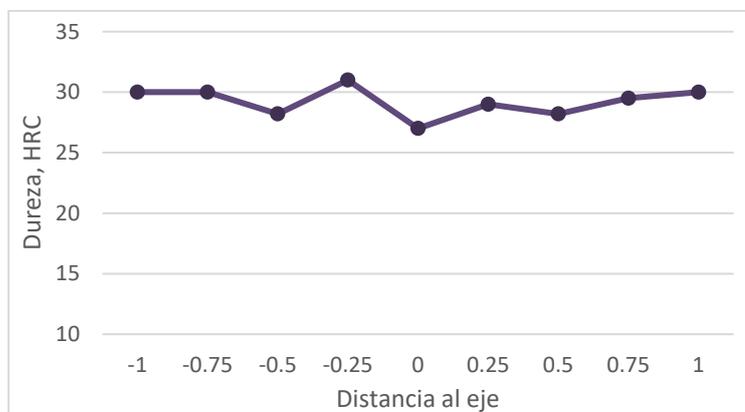


Figura 53. Curva en U AC-06

Los valores de los aceros con recocido globular suelen estar en torno a los 15-20 HRC, debido al desajuste en el durómetro los valores son superiores. Realizando la corrección anteriormente mencionada, son valores lógicos.

(*) Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

Esta probeta ha sufrido un tratamiento de recocido globular, se realiza en aceros hipereutectoides, para ablandar o con el fin de mecanizar o deformar. Se calienta a una T° cercana a la eutectoide durante un largo tiempo.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

- **Tratamiento de temple**

Se ha realizado un tratamiento de austenización seguido de un temple en agua. Primero se ha calentado el material a 1000 °C durante 25 minutos y se ha enfriado rápidamente en agua. Para seleccionar las temperaturas de tratamiento se ha utilizado la información extraída de la ficha que se muestra en el [Anexo 2](#). En dicha ficha aparece que para conseguir el resultado idóneo se debería hacer el temple en aceite, como el laboratorio no dispone de los medios para realizarlo se ha hecho en agua.

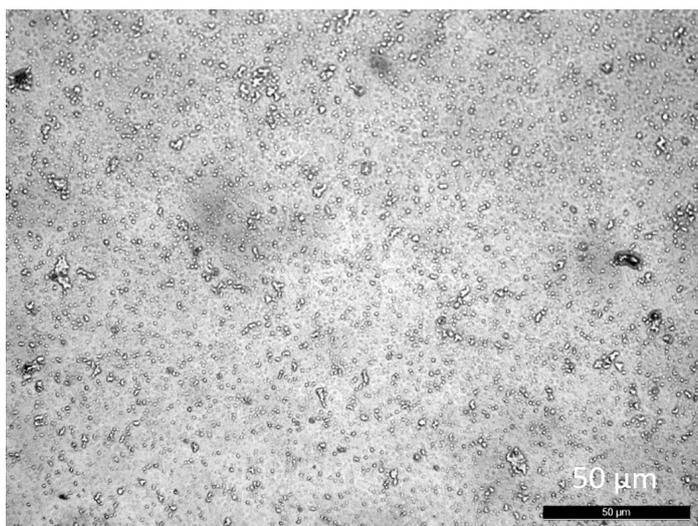
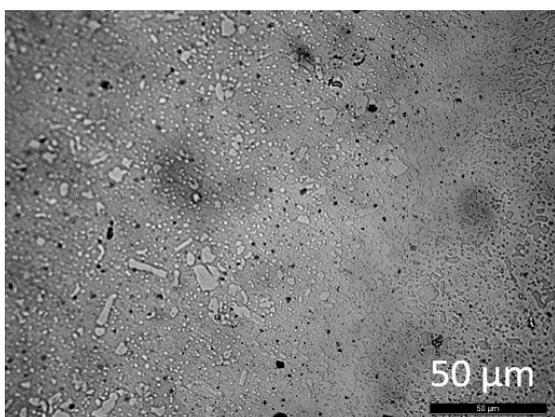


Figura 54. Microestructura AC-06 T

Se presenta la *Figura 54* al lado de la microestructura de la muestra original, podemos observar como los carburos no han desaparecido completamente y quedan esparcidos uniformemente con un tamaño menor. La matriz probablemente esté formada por minúsculas agujas de martensita pero no es posible analizarlo correctamente con los aumentos disponibles en el laboratorio.

La dureza del material no llega a la facilitada por el suministrador, pero la muestra se endurece considerablemente.

Tabla 33. Dureza AC-06 T

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	61
-0,75	62
-0,5	60
-0,25	61
0	62
0,25	60
0,5	60
0,75	61
1	60

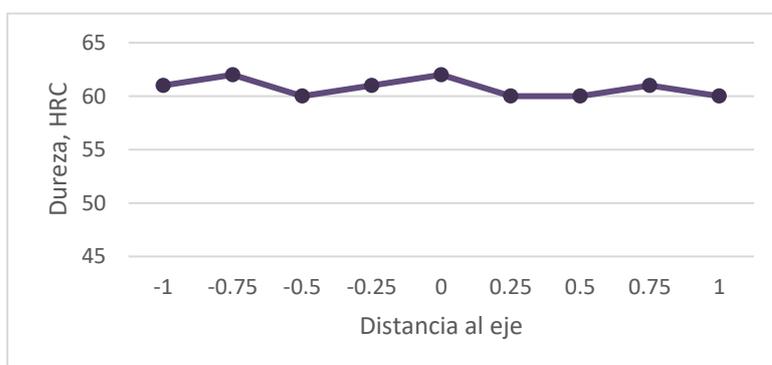


Figura 55. Curva en U AC-06 T

(*) Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.

9. Información adicional relevante

En este apartado se presenta información adicional extraída de *SteelSelector*:

Diagrama CCT

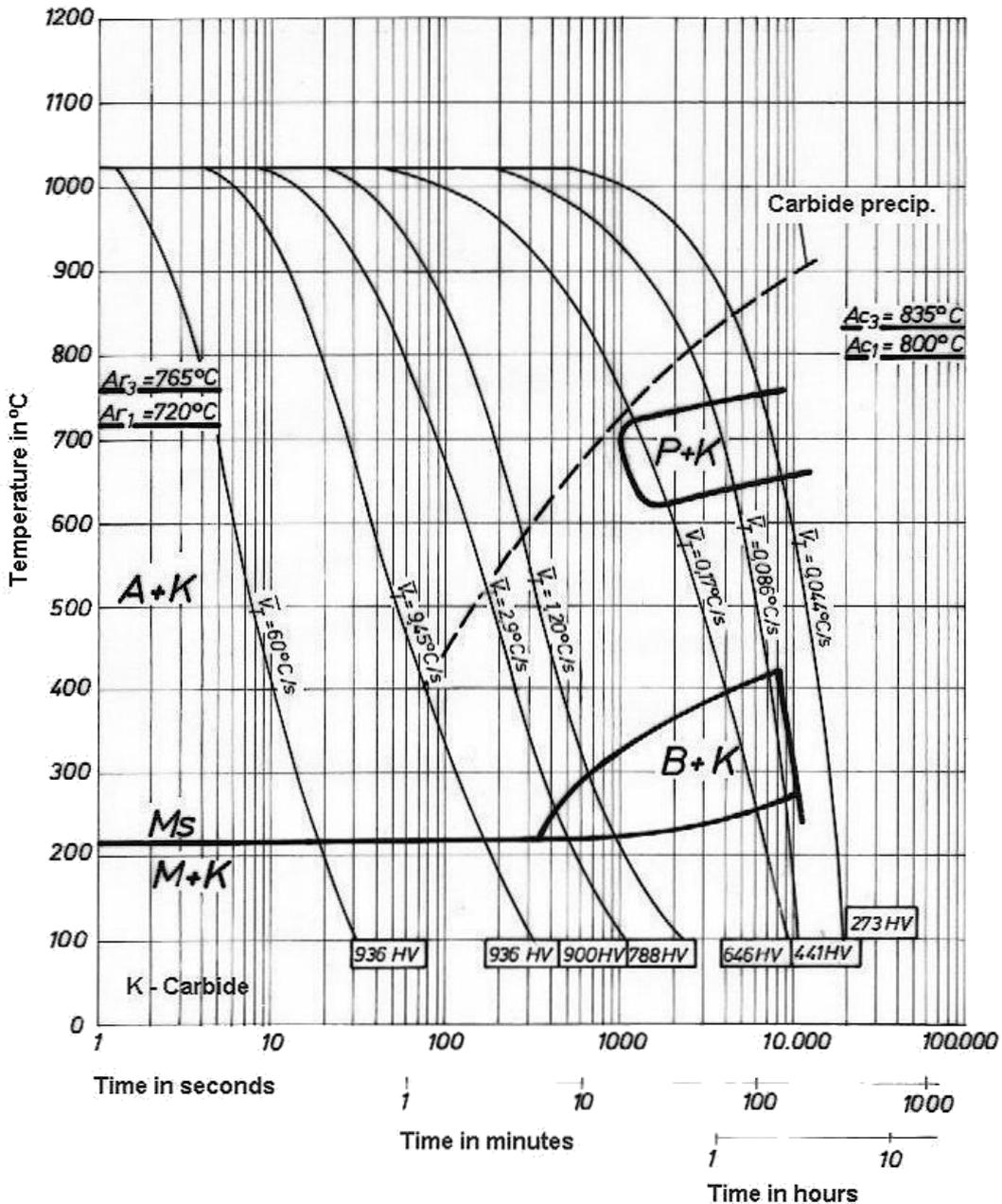


Figura 56. Diagrama CCT

AC-07

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 57. Muestra AC-07

El AC-07 ha sido recepcionado en forma de barras de 25mm de diámetro.

2. Información suministrada por el suministrador

En cuanto al acero AC-07 se dispone de un certificado de calidad del material, en el que se puede ver que el suministrador es Aceros IMS. En el certificado se puede encontrar información tal como quien es el cliente, fecha de entrega, el estado de entrega del material, el peso, la composición química, las características mecánicas... El certificado se encuentra en el [Anexo 2](#).

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Tabla 34. Equivalencias AC-07

Designación			
UNE-EN 10027		DIN 17100	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	St-52.3	A570
S355J2	1.0577		

4. Composición química

Tabla 35. Composición AC-07

Contenido (%)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	...
0,150	0,330	1,380	0,013	0,021	0,08	0,034	0,110	

En este caso se dispone de la información proporcionada por el fabricante así que se puede saber la composición exacta del material. En la ficha dada por el suministrador se encuentran todos los aleantes y sus respectivos porcentajes.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

El procedimiento de preparación microestructural de la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 58. Macrografía AC-07

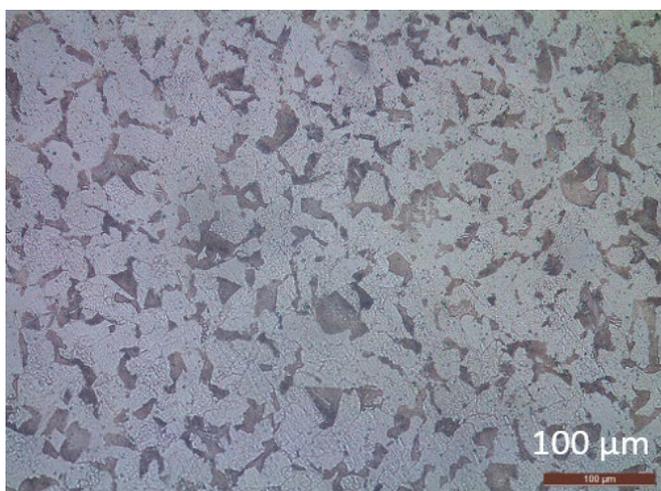


Figura 59. Micrografía AC-07

En la microestructura de la *Figura 59* se observa la ferrita (blanco) y la perlita (negro).

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 36. Durezas AC-07

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	18
-0,75	26
-0,5	21
-0,25	22,8
0	23
0,25	20
0,5	21
0,75	21
1	19

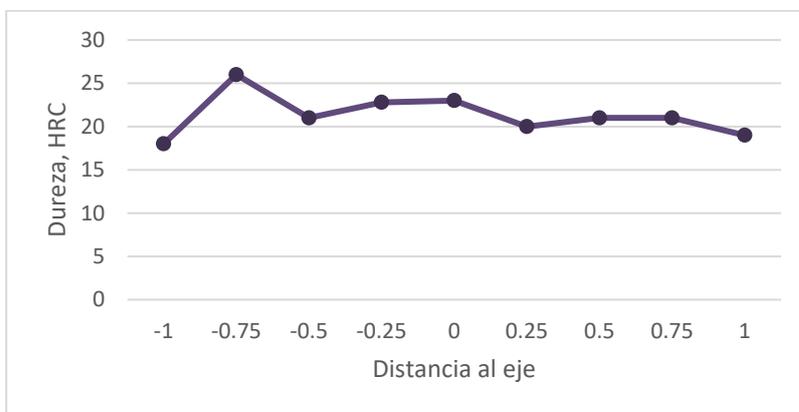


Figura 60. Curva en U AC-07

Se tiene otro material que no se corresponde con la dureza indicada por el suministrador, 11 HRC. Como se ha mencionado repetidas veces en el documento, si tenemos en cuenta el desajuste del durómetro tendría un valor similar al aportado por el suministrador.

(* *Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.*)

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

Sin tratamiento térmico.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

- **Tratamiento de temple**

Se ha realizado un tratamiento de austenización seguido de un temple en agua. Primero se ha calentado el material a 865 °C durante 30 minutos y se ha enfriado rápidamente en agua. Para la temperatura de tratamiento se ha seleccionado una superior a la curva A₃ del material teniendo en consideración su porcentaje de carbono. El tiempo de austenización se ha determinado en base a datos habituales de experiencias previas en el laboratorio.

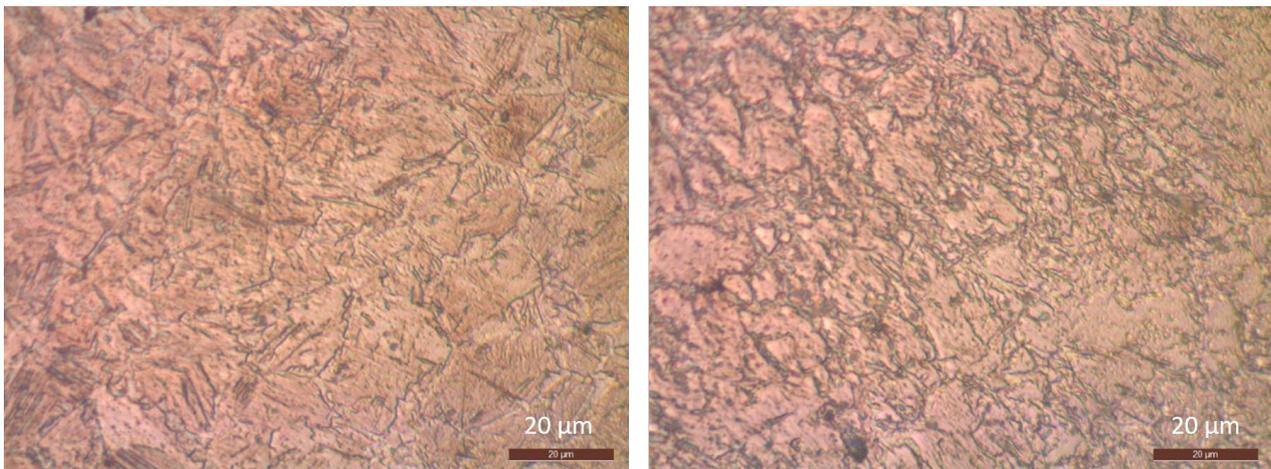


Figura 61. Micrografías AC-07 T

En la *Figura 61* se pueden observar dos microestructuras de la muestra, la imagen de la izquierda ha sido tomada en la periferia de la muestra y la de la derecha, más en el centro. La imagen de la izquierda muestra claramente una microestructura martensítica, pero llegando al centro, el temple no ha logrado penetrar.

Adicionalmente se ha realizado un ensayo de dureza, y cómo se puede ver en la *Figura 62*, las durezas se corresponden a lo visto en las microestructuras.

Tabla 37. Durezas AC-07 T

Distancia	HRC
-1	48
-0,75	39
-0,5	34
-0,25	31
0	33
0,25	32
0,5	33
0,75	42
1	47

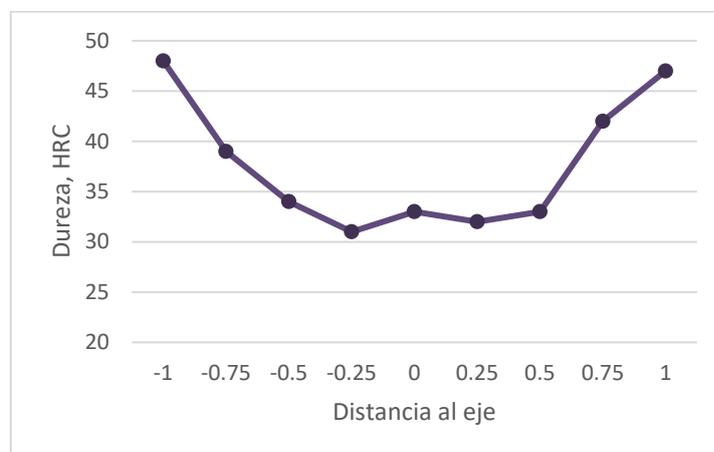


Figura 62. Curva en U AC-07 T

(*) *Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.*

9. Información adicional relevante

No se ha decidido implementar ningún tipo de información adicional.

AC-08

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 63. Muestra AC-08

El AC-08 ha sido recepcionado en forma de engranaje, el cual ha sido cortado en pequeñas partes.

2. Información suministrada por el suministrador

No hay información del material. Suministrador desconocido.

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Designación			
UNE-EN 10027		UNE 36009	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	-	-
-	-		

Se desconoce el tipo de acero.

4. Composición química

Contenido (%)					
C	Si	Mn	P	S	...
-	-	-	-	-	-

Se desconoce la composición química.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

El procedimiento de preparación microestructural de la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).

La geometría de la pieza ha dificultado considerablemente la caracterización de la muestra.

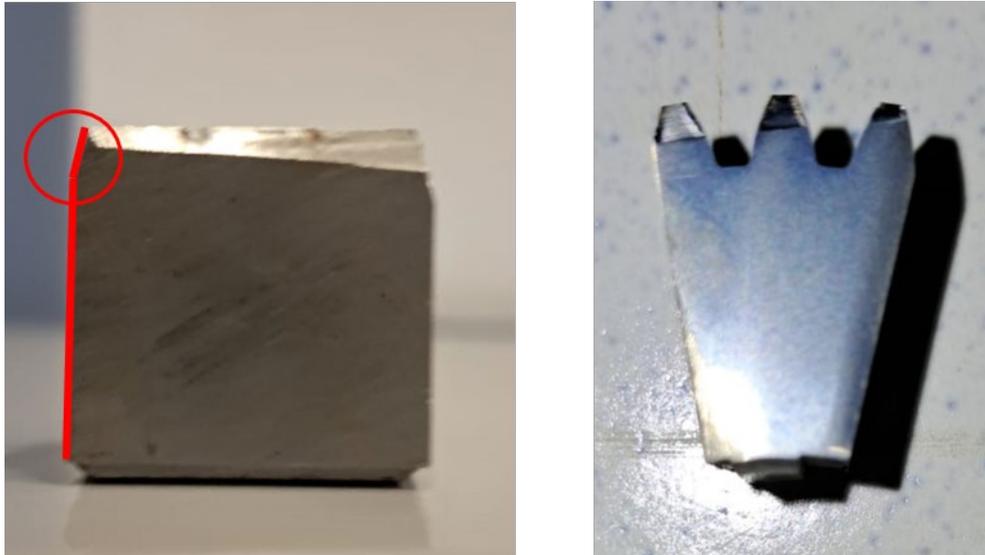


Figura 64. Geometría del AC-08

Como se puede observar en la *Figura 64*, la geometría de la pieza es complicada. Los engranajes son mecanismos que se utilizan para transmitir potencia, para ello tienen que ser lo suficientemente duros y tenaces. En los engranajes se suelen utilizar tratamientos como la cementación o la nitruración para obtener dichas propiedades.

A la hora de estudiar su microestructura es de suma importancia incidir en los propios dientes, ya que ahí es donde se podría ver el efecto de los tratamientos típicos para engranajes. En este caso ha sido muy tedioso el proceso de desbaste para conseguir que el diente y el propio engranaje estuviesen en el mismo plano para poder analizarlo.

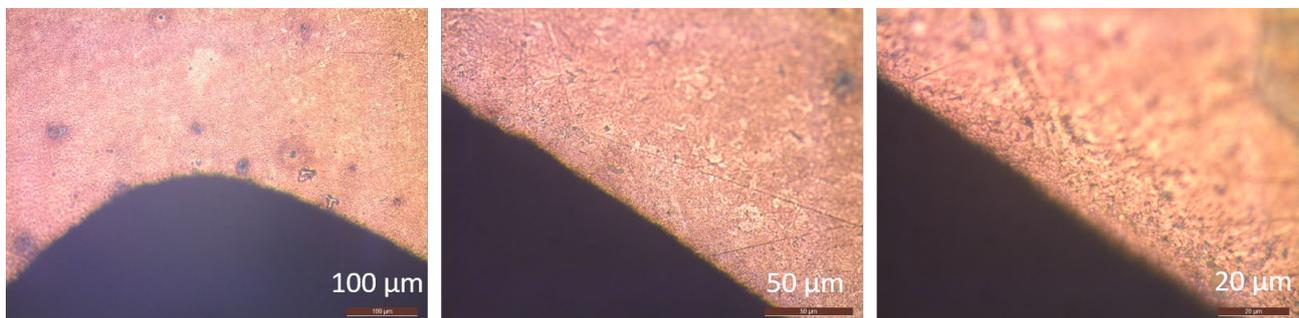


Figura 65. Microestructuras AC-08

Debido a la difícil geometría de la pieza, el lijado y pulido ha sido ineficiente, de ahí la mala calidad de las microestructuras de la *Figura 65*. Aun así, se han añadido las imágenes para mostrar que, aunque las microestructuras no son óptimas, no se logra ver ninguna capa de nitruración o cementación.

6. Dureza del material recepcionado

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	-
-0,75	-
-0,5	-
-0,25	-
0	-
0,25	-
0,5	-
0,75	-
1	-

Debido a la inclinación de la probeta, no ha sido posible realizar un ensayo de dureza.

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

No hay información al respecto.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

No se ha realizado ningún tipo de tratamiento.

9. Información adicional relevante

No se ha decidido implementar ningún tipo de información adicional.

SS-04

1. Estado de recepción de la muestra



El SS-04 ha sido recepcionado en forma de barras de 10mm de diámetro. Debido al pequeño tamaño de la muestra se ha tenido que empastillar para poder manipularla. En el [Anexo 1](#) se encuentra información detallada sobre el proceso de empastillado.

Figura 66. Muestra SS-04

2. Información suministrada por el suministrador

No hay información del material. Se conoce que el suministrador es Rolls Royce.

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Designación			
UNE-EN 10027		UNE 36009	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	-	-
-	-		

Se desconoce el tipo de acero inoxidable.

4. Composición química

Contenido (%)					
C	Si	Mn	P	S	...
-	-	-	-	-	-

Se desconoce la composición química.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

Al ser un acero inoxidable se ha procedido de manera diferente a la convencional para realizar la caracterización. La información relativa a los cambios a la hora de caracterizar la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 67. Macrografía SS-04

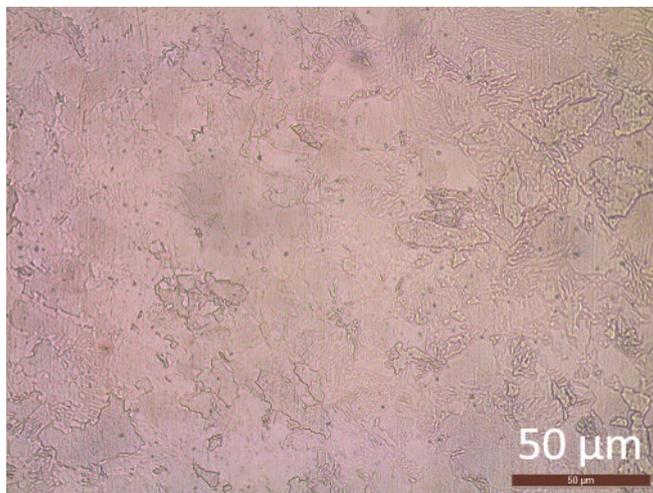


Figura 68. Micrografía SS-04

Se sabe que es un acero inoxidable pero no se asemeja ni a un austenítico, ni a un martensítico, ni a un ferrítico. Dado que no tenemos medios para hacer un análisis composicional no podemos determinar qué tipo de acero es. Como el suministrador es Rolls Royce y se dedican a hacer motores y turbinas en el sector aeroespacial, se asume que se puede tratar de un acero inoxidable PHP.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 38. Dureza SS-04

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	33
-0,75	32
-0,5	34
-0,25	32
0	30
0,25	35
0,5	32
0,75	30
1	29

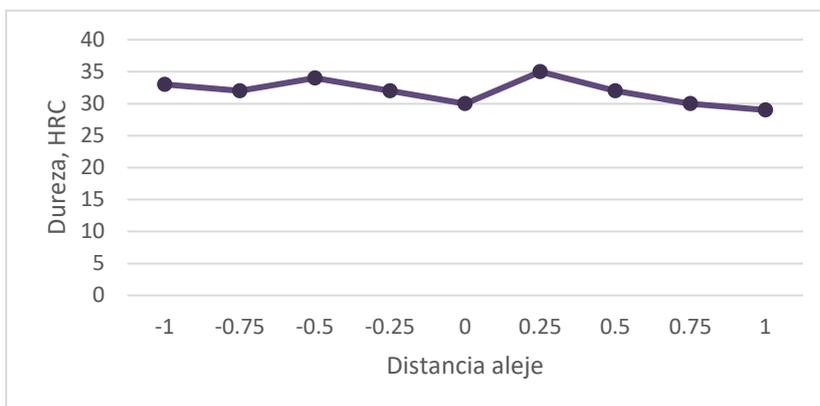


Figura 69. Curva en U SS-04

El acero presenta una dureza uniforme en toda su superficie.

(*) Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

No hay información al respecto.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

No se ha realizado ningún tipo de tratamiento adicional.

9. Información adicional relevante

No se ha decidido implementar ningún tipo de información adicional.

SS-05

1. Estado de recepción de la muestra



Figura 70. Muestra SS-05

El SS-05 ha sido recepcionado en forma de barras de 10mm de diámetro. Debido al pequeño tamaño de la muestra se ha tenido que empastillar para poder manipularla. En el [Anexo 1](#) se encuentra información detallada sobre el proceso de empastillado.

2. Información suministrada por el suministrador

No hay información del material. Se conoce que el suministrador es Rolls Royce.

3. Equivalencia entre distintas designaciones

Designación			
UNE-EN 10027		UNE 36009	AISI-SAE
Simbólica	Numérica	-	-
-	-		

Se desconoce el tipo de acero inoxidable.

4. Composición química

Contenido (%)					
C	Si	Mn	P	S	...
-	-	-	-	-	-

Se desconoce la composición química.

5. Caracterización microestructural del material recepcionado

Al ser un acero inoxidable se ha procedido de manera diferente a la convencional para realizar la caracterización. La información relativa a los cambios a la hora de caracterizar la muestra se encuentra en el [Anexo 1](#).



Figura 71. Macrografía SS-05

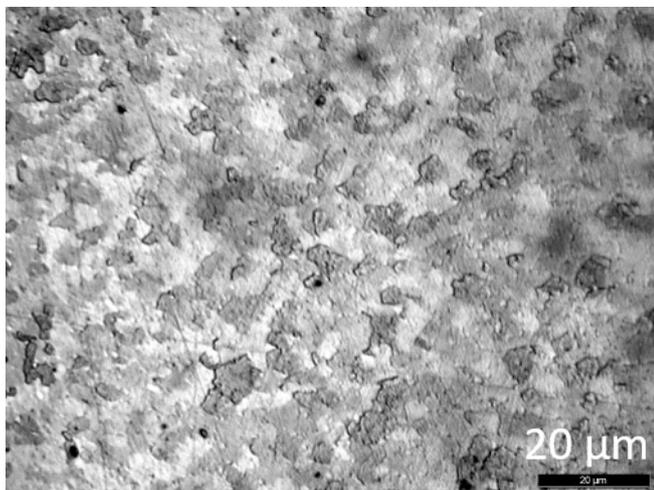


Figura 72. Micrografía SS-05

Se sabe que es un acero inoxidable pero no se asemeja ni a un austenítico, ni a un martensítico, ni a un ferrítico. Como se ha comentado en el otro acero de Roll Royce, no se dispone del material necesario para determinar su microestructura exacta, pero se puede intuir que, debido al suministrador, es un acero PHP.

6. Dureza del material recepcionado

Tabla 39. Dureza SS-05

Distancia al centro	Dureza en Rockwell C
-1	38
-0,75	39
-0,5	37
-0,25	37,5
0	34
0,25	38
0,5	36
0,75	38
1	38

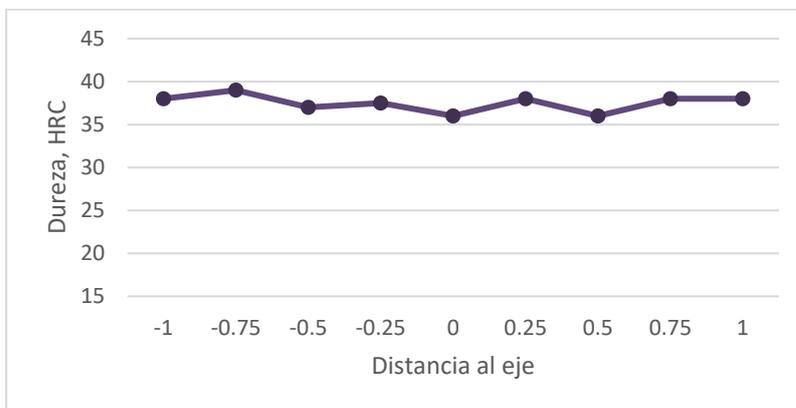


Figura 73. Curva en U SS-05

El acero presenta una dureza uniforme a lo largo de la superficie.

(* Dureza alterada debido a desajuste en el durómetro.

7. Estado de tratamiento del material recepcionado

No hay información al respecto.

8. Tratamientos y medidas adicionales realizados sobre el material

No se ha realizado ningún tratamiento adicional al material.

9. Información adicional relevante

No se ha decidido implementar ningún tipo de información adicional.

7.-Consideraciones y conclusiones

Este documento recoge toda la información que se ha obtenido experimentalmente de los aceros implicados en el proyecto. Después de realizar todos los procesos experimentales y completar el catálogo se han determinado estas consideraciones y conclusiones:

- El laboratorio de metales del Edificio I-B de la Escuela de Ingeniería de Bilbao está adecuadamente equipado para llevar a cabo el análisis metalográfico de aceros estándar. Sin embargo, cuando se trata de aceros de una tecnología avanzada, el análisis puede complicarse.
- El lijado y el pulido son el núcleo de la preparación metalográfica. Un buen lijado y pulido son fundamentales para la realización de los posteriores análisis microscópicos.
- Aunque la preparación de las muestras puede parecer un proceso sencillo y mecánico, es muy complejo realizar un buen trabajo que permita realizar un posterior análisis preciso y confiable.
- La manipulación de muestras muy pequeñas requiere que sean embutidas en pastillas. Sin embargo, la empastilladora del laboratorio necesitaría una reparación antes de poder usarla de manera efectiva.
- Para realizar correctamente los ensayos de dureza es importante que tanto la superficie a analizar como la superficie en la que se apoya estén totalmente planas.
- Los ensayos de dureza no se han podido realizar correctamente debido a un desajuste en el durómetro. Se ha comprobado que el durómetro Hoytom 1003 A tiene un desajuste utilizando los patrones de dureza disponibles en el laboratorio.
- A la hora de realizar tratamientos térmicos con temple solo se pueden realizar temple en agua. El cubo para realizar dichos temple tiene un tamaño pequeño y dificulta el realizar varios temple a la vez.

ANEXO 1 – Descripción experimental

En este anexo se va a recoger información sobre los distintos instrumentos y maquinaria utilizados, y el proceso para la consecución de los diferentes pasos a la hora de caracterizar las muestras. También se añadirán imágenes de los distintos catálogos y certificados que corresponden a los aceros seleccionados.

1. Empastilladora

Para la manipulación de algunas muestras, debido a su pequeño tamaño, ha sido necesario el uso de la empastilladora. Esta máquina se ha utilizado en las muestras de un diámetro de 10mm o menor y en muestras con geometrías que dificultasen su manipulación.

La empastilladora que disponemos en el laboratorio es una empastilladora SimpliMet 2 marca Buehler como la de la *Figura 74*, y la resina que hemos utilizado para hacer las pastillas es una resina fenólica de la misma marca.



Figura 74. Empastilladora SimpliMet 2



Figura 75. Resina Fenólica

El funcionamiento de la máquina es bastante sencillo, primero hay que colocar la muestra en la parte superior, y envolverla con la resina. El pistón en el que debe colocarse se ajusta mediante la palanca y la válvula de la empastilladora.

Una vez la muestra está correctamente colocada se introduce presión en la máquina mediante la palanca hasta llegar a la presión de moldeo que aparece en el barómetro. Cuando la presión sea la adecuada, se utiliza el calentador para calentar la resina y se deja que la presión vaya disminuyendo hasta llegar a cero.

Después de llegar a cero se introduce presión una vez más y se deja calentado durante el tiempo suficiente para que la pastilla coja una forma compacta. Pasado este tiempo, se utiliza el enfriador de molde deslizante para enfriar la pastilla.

Cuando la pastilla haya enfriado correctamente, se retira el enfriador, se quita la presión mediante la válvula y se saca la muestra empastillada.

En la *Figura 76* y *Figura 77* se pueden observar el calentador y el enfriador respectivamente.



Figura 76. Calentador



Figura 77. Enfriador

A la hora de realizar las pastillas hay varias resinas en el laboratorio. Algunas de ellas mal conservadas y en unas condiciones que imposibilitan su uso. En un primer intento de hacer las pastillas se intentó usar una resina acrílica de la marca Struers pero los moldes eran demasiado blandos y se desgastaban rápidamente en la etapa de lijado. Después se usó la empastilladora obteniendo así los mejores resultados.

En el proceso de realizar el empastillado es de suma importancia calentarlas durante el tiempo suficiente, de este modo la resina se fundirá correctamente y quedará una pastilla totalmente compacta.

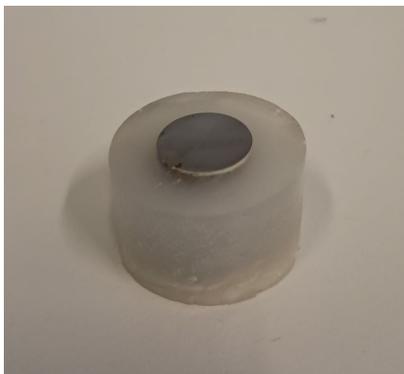


Figura 78. Pastilla hecha con resina acrílica



Figura 79. Pastilla fallida



Figura 80. Pastilla correcta

Durante el uso de la maquina se averió 2 veces, el técnico afirma que se debe a un desalineado entre ejes y es posible que siga ocurriendo en un futuro pese a haberla arreglado para la realización del proyecto.

2. Lijado y pulido

En el laboratorio disponemos de lijas con diferentes rugosidades, tenemos lijas desde un grano de 80 a 2400. A medida que subimos el número de grano de la lija, disminuye la rugosidad. Por lo tanto, el proceso a seguir es empezar desde un número de lija pequeño y acabar con un número de lija alto.

Estas lijas van colocadas en las lijadoras que tenemos en el laboratorio, modelo TE200 de JeanWirtz. Para un correcto lijado no es necesario usar todas las lijas que hay de menor a mayor, con usar 4 lijas es más que suficiente. En este proyecto los mejores resultados se han conseguido utilizando las lijas de 120, 400, 800 y 1200.



Figura 81. Lijadora



Figura 82. Lijas usadas en el laboratorio

El funcionamiento es sencillo, se abre la tapa, se coloca la lija que vamos a utilizar en el disco, se abre el grifo, se selecciona la velocidad deseada y se comienza a lijar la muestra. El uso de agua mientras se lija la muestra se debe a la reducción de calor, el proceso de lijado genera un calor considerable debido a la fricción entre la muestra y la lija y el agua sirve de refrigerante. Otra función es actuar como lubricante, reduce la fricción entre la muestra y la lija y permite obtener un acabado superficial más suave y uniforme.

Es importante mover la pieza de arriba abajo mientras se lija e ir cambiando la orientación 45° o 90° para conseguir una superficie uniforme después de usar cada lija. Cuando la muestra queda con la superficie deseada, se limpia la pieza con agua para que no queden partículas que puedan estropear la muestra y se cambia a una lija de menor rugosidad.

Una vez terminada la etapa de lijado, se pasa a la etapa de pulido. El procedimiento es similar, pero en el pulido, en vez de utilizar lijas se utilizan unos paños para pulido, y no se utiliza agua, se utilizan lubricantes con suspensión de diamante de la marca Tecmicro S.A, primero se utiliza el de 3 μm y para finalizar con el de 1 μm . Para los aceros inoxidables, con el fin de conseguir observar mejor la microestructura, se realiza un pulido final con alúmina en suspensión de 0,06 μm , de este modo los límites de grano son mucho más visibles en el microscopio.

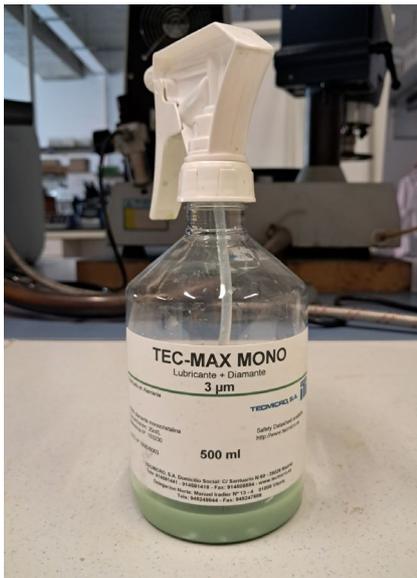


Figura 83. Lubricante 3µm

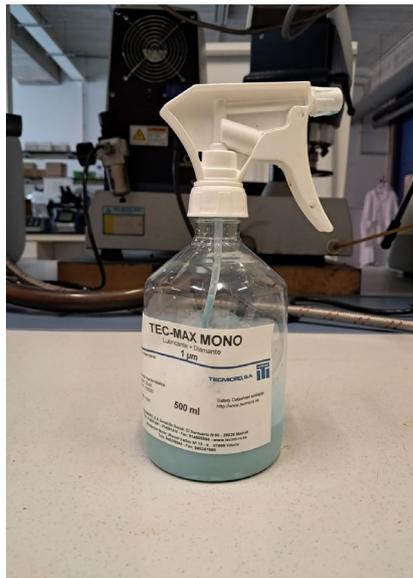


Figura 84. Lubricante 1µm



Figura 85. Lubricante 0,06µm

Este es uno de los procesos críticos a la hora de estudiar la microestructura, es importante hacerlo bien ya que si la superficie no está totalmente plana o tiene algún tipo de imperfección no será posible analizarla correctamente en el microscopio.

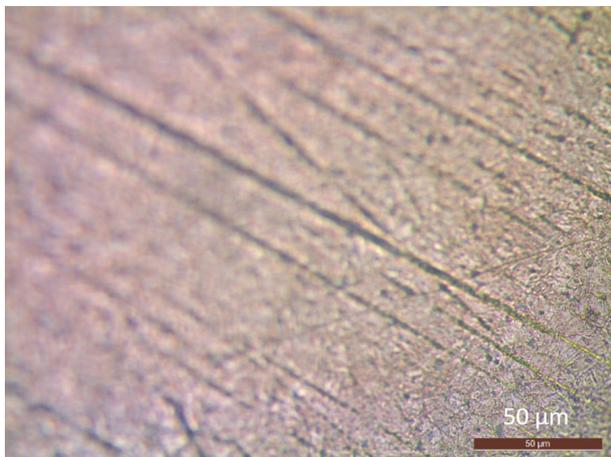


Figura 86. Muestra con un mal lijado y pulido

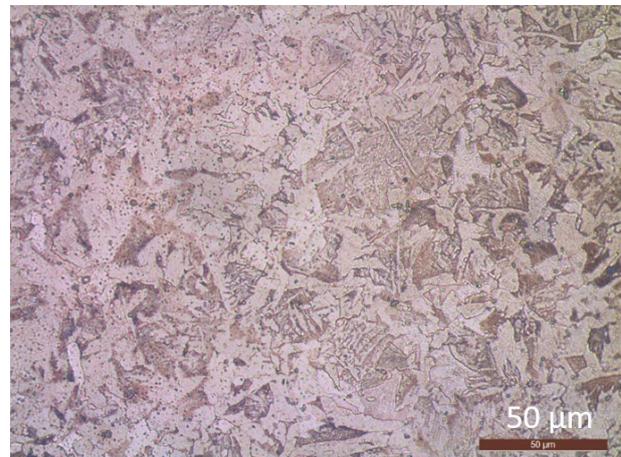


Figura 87. Muestra con un buen lijado y pulido

Como podemos ver en la *Figura 86*, está llena de rayas y la parte izquierda se encuentra borrosa debido a la falta de planitud de la muestra. Esto se debe a un lijado y pulido ineficiente.

3. Ataque químico

Una vez la muestra ha sido correctamente lijada y pulida, para ver correctamente la microestructura, es necesario realizar un ataque químico. El ataque químico consiste en aplicar un reactivo químico sobre la superficie previamente lijada y pulida. Este reactivo ataca selectivamente ciertas fases o componentes del material, revelando así la estructura interna.

Dependiendo del material, según su composición química, se han utilizado diferentes reactivos. En el caso de los aceros con código AC (aceros al Carbono) se ha utilizado Nital y en los aceros con código SS (aceros inoxidables) se ha utilizado reactivo Kalling.



Figura 88. Reactivo Nital



Figura 89. Reactivo Kalling

A la hora de aplicar el reactivo, se ha realizado una inmersión directa de la superficie pulida del material en el propio reactivo. El tiempo de exposición es una variable de vital importancia en el proceso, una exposición demasiado prolongada puede provocar un sobreataque que puede distorsionar la microestructura del material.

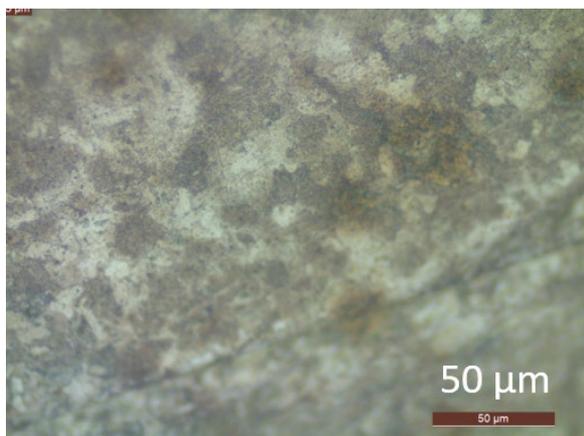


Figura 90. Muestra sobreatacada

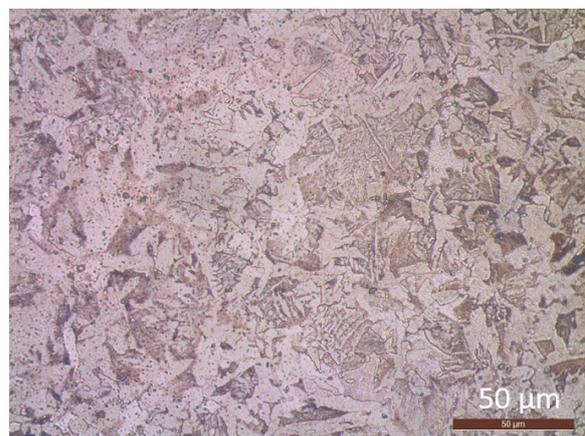


Figura 91. Muestra correctamente atacada

La diferencia entre las microestructuras de la *Figura 90* y la *Figura 91* es notoria. Para evitar los sobreataques, es recomendable atacar la muestra durante un periodo de tiempo muy reducido e ir comprobando en el microscopio tras cada ataque hasta poder observar la microestructura correctamente.

Después de cada ataque, las muestras deben ser lavadas y secadas para eliminar cualquier residuo de reactivo remanente. El lavado se ha realizado con etanol y el secado con un secador disponible en el laboratorio.

4. Análisis de la microestructura

Realizados los pasos anteriores la muestra está finalmente preparada para analizar su microestructura. Para realizar dicho análisis se ha utilizado el microscopio de la *Figura 92*, que se corresponde a un microscopio Leica DM2500 M ,de la marca Leica Microsystems.

Un microscopio óptico funciona a través de un complejo sistema de lentes que amplían la imagen de una muestra iluminada. Es de vital importancia que la superficie de la muestra a analizar esté completamente plana para obtener imágenes claras y enfocadas, y de esta manera realizar una caracterización precisa y fiable.

El microscopio está equipado con una cámara digital para capturar y analizar imágenes en tiempo real. La obtención de las imágenes de las microestructuras usadas en el Catálogo ha sido mediante esta cámara.



Figura 92. Microscopio Leica DM2500 M

El microscopio dispone del software de análisis avanzado Leica Application Suite (LAS) para gestionar y analizar las imágenes capturadas. El procedimiento a la hora de utilizar el microscopio se explica a continuación.

Primero se coloca la muestra a analizar en la bandeja del microscopio. Mediante la ruleta que aparece en la izquierda de la *Figura 92* se ajusta la altura de los objetivos para enfocarla, y mediante la ruleta de la derecha, la que cuelga de la bandeja, la posición.

Cuando la muestra está correctamente colocada es hora de comenzar a analizar la microestructura de la misma. El microscopio utilizado dispone de una torreta portaobjetivos que permite al usuario seleccionar entre varios lentes objetivos con diferentes aumentos (x5,x10,x20,x50,x100). Se deberá probar con los diferentes objetivos hasta encontrar el que más se ajuste a la hora de analizar la microestructura. Se puede observar la microestructura tanto mediante los lentes oculares del propio microscopio, como en la pantalla del ordenador al que está conectada la cámara.

Una vez el proceso de análisis se ha completado, es necesario documentar la muestra, este proceso se ha realizado mediante el software anteriormente mencionado.

Al iniciar el software nos aparece la pantalla de inicio de la *Figura 93*.

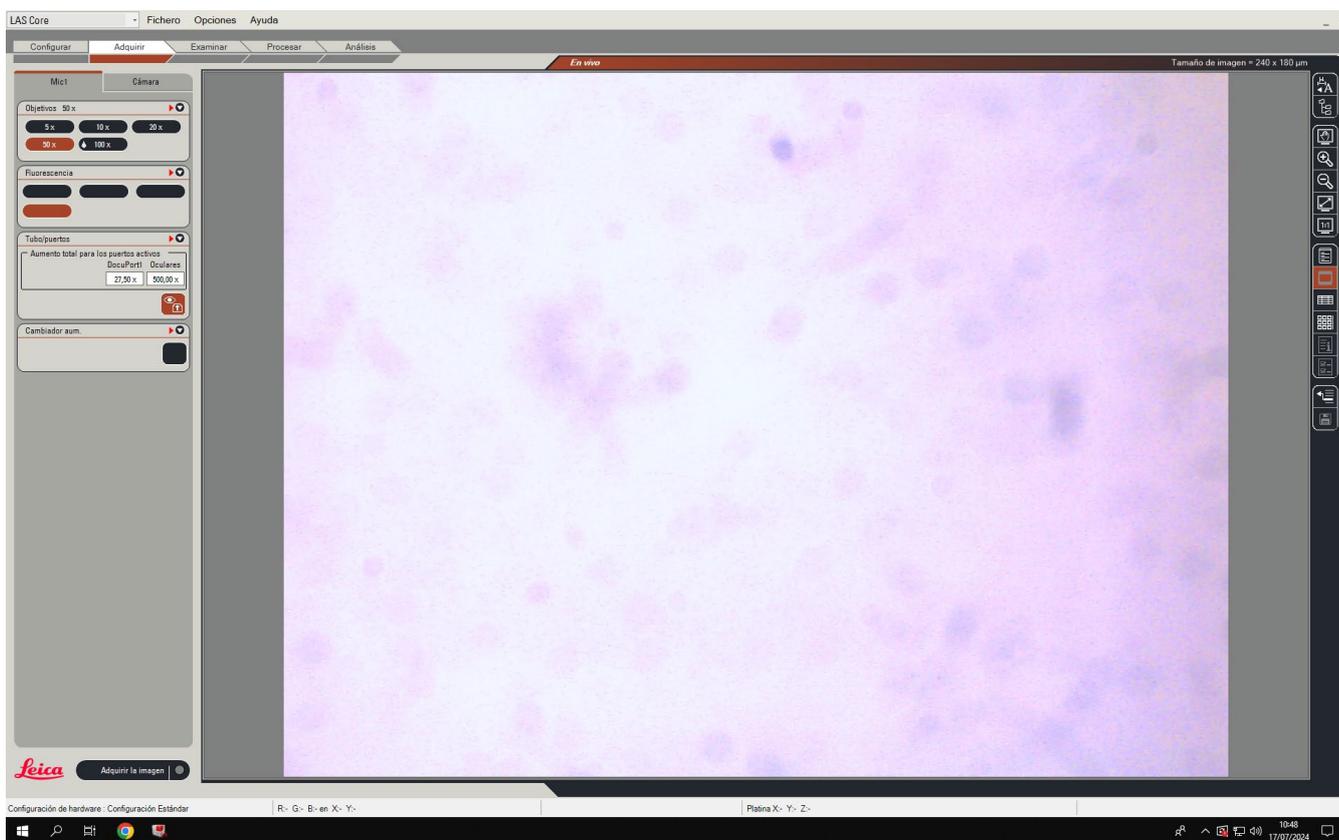


Figura 93. Pantalla de inicio LAS

En la parte superior izquierda se encuentra el menú que utilizaremos para navegar por el software.

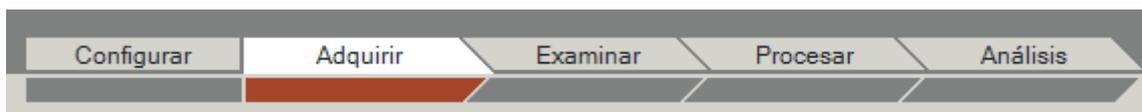


Figura 94. Zoom parte superior izquierda

Lo primero a tener en cuenta es que el microscopio, la cámara y los demás elementos del microscopio estén correctamente configurados, todo ello se puede ajustar en la pestaña *Configurar*. Como se puede ver en la *Figura 95*, el propio software permite ajustar los diferentes componentes del microscopio.



Figura 95. Pestaña Configurar

Luego se pasaría a la pestaña *Adquirir*, en esta pestaña se puede observar la imagen de la microestructura y se debe elegir el objetivo que se está utilizando en el momento. Para obtener la imagen, una vez el objetivo es el correcto, simplemente hay que hacer click en *Adquirir Imagen* situado abajo a la izquierda.

En la pestaña *Procesar* podemos realizar varias funciones de edición sobre la imagen adquirida. Realizar anotaciones, cambiar el brillo, convertir la imagen a blanco y negro... En la documentación de las muestras la función que más se ha utilizado es la de añadir una barra de escala. De este modo se dispone de una información adicional que aporta una referencia de tamaño útil para comprender mejor las dimensiones y proporciones de las microestructuras. En el propio software se puede elegir color, posición o tamaño de la misma.



Figura 96. Selección de objetivos

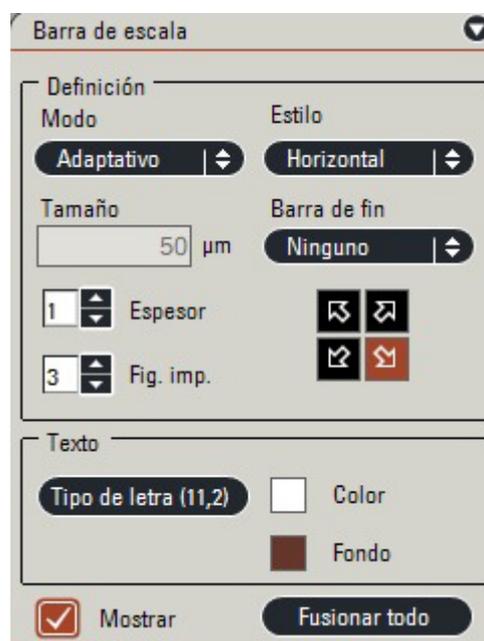


Figura 97. Panel de selección Barra de escala

Finalmente, para obtener la imagen de la microestructura final, en la pestaña *Examinar* se puede añadir un nombre a la imagen y también se puede seleccionar el lugar en el que se va a guardar.

4.1 Software ImageJ

Adicionalmente al análisis microestructural realizado con el microscopio, se ha decidido implementar el uso del software ImageJ. ImageJ es un software de procesamiento de imágenes ampliamente utilizado en la investigación científica. Se ha decidido utilizar ImageJ ya que, además de ser una herramienta útil, es totalmente gratuita.

En concreto se ha decidido utilizar la función de medición de áreas con el fin de determinar el porcentaje de Carbono de una de las muestras. Primero se convertirá la imagen a blanco y negro, resaltando las diferentes fases y después se utilizará la función de medición de áreas para medir el porcentaje de una de las fases. Con el porcentaje obtenido se usará la regla de la palanca para calcular el carbono de la muestra. A continuación, se explica sucintamente el proceso a seguir:

Al abrir el programa aparece la ventana de la *Figura 98*. Para añadir una imagen hay que hacer click en File>New>Image.

Una vez la imagen ha sido seleccionada, se va a convertir en una imagen de 16 bits, de esta manera se preserva la calidad y precisión de la imagen. Para ello debemos clicar en Image>Type>16-bit.

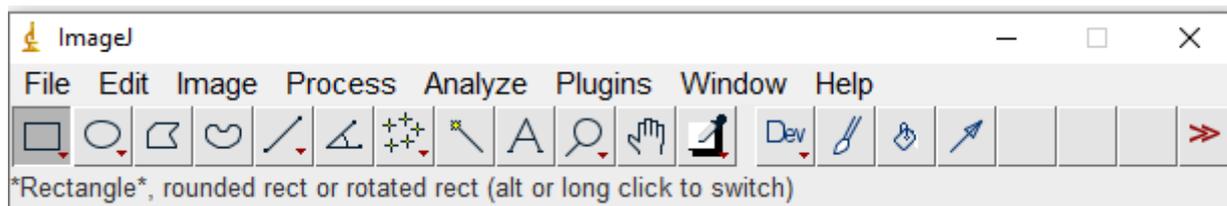


Figura 98. Ventana inicial ImageJ

El siguiente paso es convertir la imagen a blanco y negro. Para ello debemos hacer click en Image>Adjust>Threshold. Este ajuste se utiliza para segmentar la imagen, resaltando de esta manera las diferentes fases. En la *Figura 87* se puede observar cómo se diferencian claramente las fases de perlita y ferrita.

Para que a la hora de medir aparezca el porcentaje de área se debe pinchar en Analyze>Set Measurements y seleccionar la casilla de Area Fraction y Display Label. Con todos los pasos previos realizados, para ver el área calculado por el software se clicca en Analyze>Measure.



Figura 99. Imagen preparada para la medición de área

Después de realizar lo anteriormente mencionado, aparece una pestaña como la de la *Figura 100* con la información necesaria para determinar el porcentaje de Carbono.

File Edit Font Results					
	Area	Mean	Min	Max	%Area
1	7.907	133.654	81	250	26.739

$$0,26739 = \frac{0,022 - \%C}{0,022 - 0,77} \rightarrow \%C = 0,222$$

Figura 100. Tabla de resultados ImageJ

Aplicando la regla de la palanca como se ha comentado antes, obtenemos el porcentaje de carbono, que en este caso nos queda un %C en torno al 0,22%.

5. Dureza

El ensayo de dureza es de gran importancia a la hora de estudiar las muestras, ya que gracias a la dureza del material podemos obtener mucha información del mismo. En el laboratorio hay varias máquinas para hacer ensayos de dureza. En este estudio se ha utilizado el durómetro Hoytom modelo 1003 A de la *Figura 101*.



Figura 101. Durómetro Hoytom 1003 A

El funcionamiento del durómetro es bastante sencillo. Lo primero es elegir el indentador correcto, dependiendo el tipo de ensayo que se va a realizar. En este proyecto se han realizado ensayos de dureza Rockwell C, así que se ha utilizado el indentador cónico de diamante.

Una vez elegido el indentador, se selecciona la carga a aplicar, se coloca la muestra en la máquina y se gira la llave hasta que la aguja pequeña que aparece en el durómetro coincida con el punto rojo. Después se gira el dial que se encuentra a la derecha del durómetro hasta que la aguja grande esté en el cero y se empuja levemente la palanca. Cuando las agujas dejan de girar, se tira de la palanca y se recoge el valor que aparece en el durómetro.

Como se ha mencionado en el Catálogo, para realizar este ensayo es importante que la muestra tenga planitud tanto en la superficie a indentar como en la superficie en la que se apoya. Después del proceso de corte de las probetas, varias de ellas han quedado con muescas y rebabas difíciles de eliminar y esto ha afectado a los diferentes ensayos de dureza. En la *Figura 102* podemos ver un ejemplo de una muesca en uno de los materiales.



Figura 102. Muesca en SS-01

Los valores medidos de esta manera no coincidían con los valores dados por el suministrador. Debido a estas incongruencias se ha realizado un calibrado del durómetro utilizando patrones de dureza y se ha determinado que el durómetro tiene un desajuste de aproximadamente 10 HRC. Se ha comunicado esta incidencia al profesorado.

A continuación, en la *Tabla 40* se muestra los valores recogidos al realizar el calibrado.

Tabla 40. Valores de calibrado del durómetro

Valor esperado	Valor real
62,5 ± 1	72
62,5 ± 1	71
62,5 ± 1	71

6. Horno

Se han decidido hacer varios tratamientos térmicos a una serie de materiales para analizar sus cambios en la microestructuras y durezas. Para hacer estos tratamientos se ha utilizado uno de los hornos disponibles en el laboratorio, el Nabertherm modelo B180 de la *Figura 103*.



Figura 103. Horno Nabertherm B180

Pese a que el laboratorio disponía del material necesario para utilizar el horno, se ha tenido que pedir ayuda al técnico de laboratorio. Se le ha pedido ayuda para arreglar unas pinzas para manipular las muestras, ya que la mayoría eran demasiado cortas para garantizar la seguridad a la hora de meter y sacar la muestra del horno y las que tenían una longitud óptima estaban en mal estado. El técnico también ha proporcionado unas botas de seguridad para realizar los tratamientos de una manera segura.

En los tratamientos seguidos de un temple se ha utilizado un cubo metálico disponible en el laboratorio.

Todos los temple han sido realizados en agua ya que el laboratorio de metales del Edificio I-B no está preparado para realizar temple en aceite. Realizar un temple en aceite generaría humo, y la ausencia de extractores no posibilita realizarlos.

A continuación, se explica brevemente como configurar el horno para realizar un tratamiento.

En la *Figura 104* podemos ver el panel del horno en el que vamos a introducir la información necesaria para realizar los tratamientos.



Figura 104. Panel del horno

Para realizar un tratamiento, se debe elegir el tiempo de espera para empezar el calentamiento del horno, el tiempo que se desea que tarde el horno en calentarse, la temperatura de tratamiento y el tiempo que va a aguantar el horno a esa temperatura.

Primero se introduce el tiempo de espera apretando la tecla de la flecha y después introduciendo el tiempo con el teclado numéricos. Una vez introducido el tiempo se confirma la entrada mediante el símbolo de guardado de abajo a la derecha.

Se repite el proceso, pero ahora con el tiempo de calentamiento, la temperatura, y el tiempo de operación. Cuando se hayan introducido todos los datos se confirma la entrada mediante el símbolo de guardado.

Cuando se quiera iniciar el programa que se acaba de configurar, se mantiene presionado el botón de start hasta que se escuche un leve sonido.



Figura 105. Tiempo de espera



Figura 106. Tiempo de calentamiento



Figura 107. Temperatura de tratamiento



Figura 108. Tiempo de tratamiento

Como se puede ver en las *Figuras* que se muestran, una luz verde se ilumina a la hora de introducir cada dato. En el caso del tratamiento ideado en las imágenes, el horno empezaría a calentarse instantáneamente, se calentaría lo más rápido posible, y se mantendría a una temperatura de 700°C durante 4 horas.

ANEXO 2 – Catálogos y material recopilado

SS-01

CLIENTE / CUSTOMER		EXPEDICIÓN / EXPEDITION									
UGARTE LANTEGIAK, S.L. POL. IND. SITUA-APART. 45 48240 BERRIE BIZKAIA		ALBARÁN / DELIVERY NOTE: 386657- 3 N° PEDIDO / ORDER N°: FECHA / DATE: 18.07.17									
PRODUCTO SOLICITADO / REQUIRED PRODUCT											
CALIDAD / GRADE	AISI304L/14307	COLADA / HEAT	4527								
ESTADO / DELIVERY COND.	HIPERTERMIBLE	PESO (KG) / WEIGHT:	44								
MEDIDA / SIZE	35,00	N° PIEZAS / N° OF PIECES									
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA COLADA / CHEMICAL COMPOSITION											
C	MM	SI	P	S	CR	NI	N				
0,025	1,950	0,370	0,044	0,027	18,220	8,100	0,087				
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS / MECHANICAL PROPERTIES											
TRATAMIENTO TÉRMICO DE PROBETA / HEAT TREATMENT TEST PIECES	RM N/mm2	RE N/mm2	A (%)	Z (%)	DUREZA HB HARDNESS	RESILIENCIA (J) / RESILIENCÉ 20 °C TIPO PROBETA / TEST PIECE EV					
ENSAYOS EN HIPERTERMIBLE	612,00	290,00	56,00	76,00		190,0	198,0				
OBSERVACIONES / REMARKS:											
NORMA EN 10088 - 14307				AISI 304 L							
MICROINCLUSIONES / MICRO INCLUSIONS				TAMAÑO GRANO / GRAIN SIZE							
NORMA / NORM: AFNOR NFA 04-106 S / JERNKONTORET				MATERIAL LIBRE DE RADIOACTIVIDAD							
A		B						C		D	
F	G	F	G					F	G	F	G
0,5	-	-	-					0,5	-	-	0,5
OBSERVACIONES / REMARKS:											
ENSAYOS JOMINY / JOMINY TEST											
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS / OTHER TESTS											
CONTROL ULTRASONIDOS / ULTRASONIC TEST				ASTM A 388/A 388H							
CONTROL ANTIMEZCLAS / ANTIMIXING CONTROL				100							
CONTROL DEFECTOS SUPERFICIALES / SURFACE DEFECT CONTROL				OK							
OBSERVACIONES / REMARKS											
Los datos de este certificado son copia de los emitidos por el fabricante según norma EN 10204-3.1, cuyo original queda archivado en nuestro Departamento de Calidad.											

TRANSCRIPCIÓN DEL CERTIFICADO DEL FABRICANTE / TRANSCRIPTION OF SUPPLIER'S CERTIFICATE



SS-02



Aceros[®]
IMS Int., S.A.

CERTIFICADO DE CALIDAD
QUALITY CERTIFICATE

EN 10088-2

CLIENTE / CUSTOMER

UCARTE LANTERNAK, S.L.
 POL. IND. EITUA-APART. 45
 48240 BERRIE
 BIZKAIA

EXPEDICIÓN / EXPEDITION

ALBARAN / DELIVERY NOTE: 069671- 1
 Nº PEDIDO / ORDER Nº:
 FECHA / DATE: 31.01.13

PRODUCTO SOLICITADO / REQUESTED PRODUCT

CALIDAD / GRADE: 1.4057
 TRATADO
 ESTADO / DELIVERY COND.: T
 MEDIDA / SIZE: 35,09

COLADA / HEAT: SC0364-A10
 PESO (KG) / WEIGHT: 40
 Nº PIEZAS / Nº OF PIECES: 1

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA COLADA / CHEMICAL COMPOSITION

C	SI	MN	P	S	CR	NI	Cu	N	Co	DUREZA (HB)
0,190	0,370	0,430	0,030	0,002	19,690	1,650	0,14	0,038	0,05	276

TRATAMIENTO TÉRMICO DE PROBETA / HEAT TREATMENT TEST PIECES

FM: 860,00
 RE: 680,00
 A (%): 20,00
 Z (%): 62,00

DUREZA / HB

276
 RESILIENCIA (J) / RESILIENCE
 °C TIPO PROBETA / TEST PIECE

OBSERVACIONES / REMARKS:

NORMA AISI 431 - 14057. EN 10088

NORMA / NORM: AFNOR NFA 04-106 S / JERNKONTORET

A		B		C		D	
F	G	F	G	F	G	F	G

GRANULOMETRÍA / GRAIN SIZE

OBSERVACIONES / REMARKS:

ENSAYOS JOHNSON / JOHNSON TEST

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS / OTHER TESTS

CONTROL ULTRASONIDOS / ULTRASONIC TEST
 CONTROL ANTIMEZCLAS / ANTIMIXING CONTROL
 CONTROL DEFECTOS SUPERFICIALES / SURFACE DEFECT CONTROL

OBSERVACIONES / REMARKS:

TRANSCRIPCIÓN DEL CERTIFICADO DEL FABRICANTE / TRANSCRIPTION OF SUPPLIER'S CERTIFICATE







1.4057

• Composición Química

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni			
0,22	1,50	1,00	0,04	0,03	17,00	2,50			
0.12	Máx	Máx	Máx	Máx	15.00	1.50			

• Equivalencias Internacionales

W.nr	1.4057
AFNOR	Z15CN16.2
AISI/SAE	431
EN 10088-3	X17CrNi16.2
Din 17350	X17CrNi16.2
BS	EN57

• Características Generales

Acero martensítico que combina una buena resistencia con, igualmente, una buena resistencia a la corrosión. En estado pulido es más resistente a la corrosión que el resto de los inoxidables martensíticos al Cr. La presencia de Ni lo hace menos susceptible al crecimiento de grano y a la fragilidad consiguiente que otros aceros inoxidables martensíticos al Cr.

Normalmente no se utiliza para piezas soldadas, no obstante, cuando es necesario hay que realizar precalentamiento entre 300/400°C y posterior distensionado tras la soldadura. Resiste bien el agua de mar, por ello es un acero inoxidable de construcción interesante en la fabricación de piezas que han de trabajar en ambientes marinos.

• Aplicaciones

Con este tipo de acero se fabrican ejes de cola para barcos, hélices, piezas de bombas, compresores, centrífugas, etc...

• Estado de Suministro

Bonificado o Recocido.

• Características Mecánicas a temperatura ambiente

Estado	Ø mm.	Rp 0,2 min. N/mm ²	Rm N/mm ²	A min. %	KV min. J	Dureza HB máx.
Bonificado a >800 N/mm ²	≤ 60	600	800÷950	14	25	
	60<Ø≤ 160			12	20	
Bonificado a >900 N/mm ²	≤ 60	700	900÷1050	12	20	
	60<Ø≤ 160			10	15	
Recocido			Máx. 950			295

• Tratamientos Térmicos de uso

Recocido: Calentar entre 700/800°C. El calentamiento debe ser lento y uniforme para evitar la aparición de tensiones térmicas ligadas a la baja conductibilidad calorífica que presentan estos aceros. Posteriormente mantener 1h. por pulgada y enfriar lentamente (20°C/h.) hasta 200°C, luego al aire.

Temple:

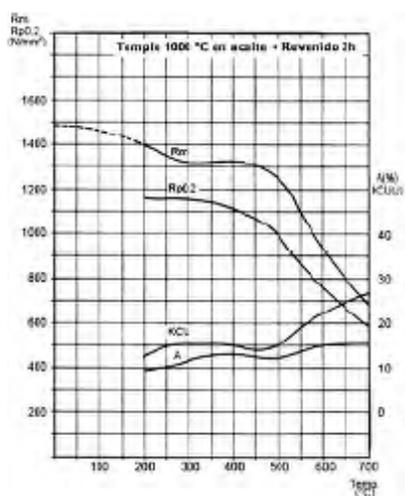
- **Precalentamiento:** Calentar las piezas lenta y uniformemente con mantenimiento de igualación a temperatura 700/750°C.
- **Austenización:** La Tª de austenización estará comprendida entre 980 y 1050°C con mantenimiento en función del espesor de la pieza (mínimo 30 minutos/pulgada).
- **Enfriamiento:**
 - Al aire.
 - En baño de aceite.

Dureza de trabajo: Las durezas que se obtienen tras el temple son de 40/45 HRc.

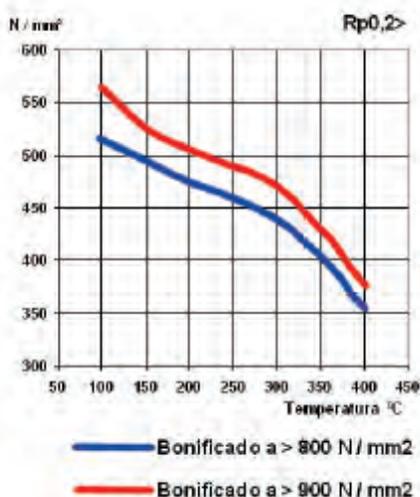
Revenido: Se deben realizar inmediatamente después del temple. La Tª de revenido en función de la aplicación final y de la dureza que se quiera conseguir (Ver diagrama de revenido). El tiempo de permanencia será como mínimo de 1h. por pulgada de espesor. No es recomendable efectuar revenidos entre 400 y 500°C ya que se obtendría una fragilidad elevada.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Enfriamiento
Recocido	700/780	Horno/Aire
Pre calentamiento	700/750	-
Temple	980/1050	Aceite/Aire
Revenido	s/diagrama	Aire

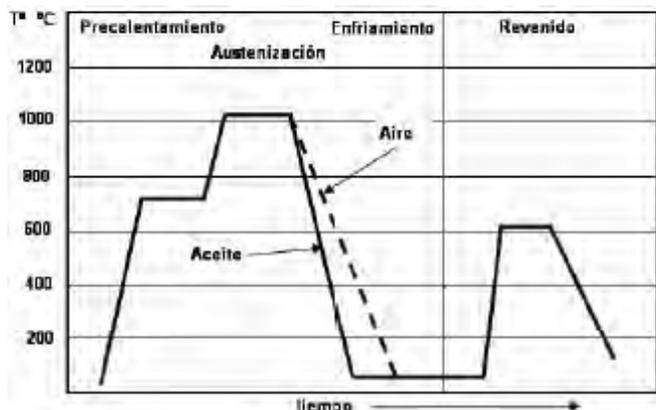
• Diagrama de revenido



• Características mecánicas a temperatura elevada



• Esquema de secuencia en el tratamiento térmico



• Características Físicas

Densidad	Módulo de Elasticidad					Coeficiente medio de Dilatación Térmica				Cond. Térmica	Calor Específico	Resistiv. Eléctrica
	20°C	100°C	200°C	300°C	400°C	entre 20°C y ...	entre 20°C y ...	entre 20°C y ...	entre 20°C y ...			
	100°C	200°C	300°C	400°C	100°C	200°C	300°C	400°C	a 20°C	a 20°C	a 20°C	
7,7	215	212	205	200	190	10,5	10,5	10,5	10,5	25	460	0,70
Kg./dm ³	kN/mm ² .					10 ⁻⁶ x K ⁻¹				$\frac{W}{m \times k}$	$\frac{J}{kg \times K}$	$\frac{\Omega \times mm^2}{m}$

AC-03



Aceros IMS
Int. S.A.

CERTIFICADO DE CALIDAD
QUALITY CERTIFICATE

EN 10204-3.1

CLIENTE / CUSTOMER

UGARTE LANTZOSIAK, S.L.
 POL. IND. ELTUA-APART. 43
 48240 BERRALE
 BIZKAIA

EXPEDICIÓN / EXPEDITION

ALBARÁN / DELIVERY NOTE: 399662-3
 Nº PEDIDO / ORDER Nº: 543
 FECHA / DATE: 10.10.17

PRODUCTO SOLICITADO / REQUIRED PRODUCT

CALIDAD / GRADE F-1140 C45R **COLADA / HEAT** 17/73734
ESTADO / DELIVERY COND. SIN TRATAMIENTO TERMICO **PERFIL / SHAPE** R **PESO (KG) / WEIGHT:** 235
MEDIDA / SIZE 35 **LONGITUD / LENGTH** **Nº PIEZAS / Nº OF PIECES**

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA COLADA / CHEMICAL COMPOSITION

C	MN	SI	P	S	CR	MO	NI	CU	AL	V	TI	NB	BN	O
0,460	0,720	0,220	0,009	0,020	0,100	0,020	0,050	0,110	0,020	0,001	0,005	0,001	0,006	0,011

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS / MECHANICAL PROPERTIES

TRATAMIENTO TÉRMICO DE PROBETA / HEAT TREATMENT TEST PIECES	RM / N/mm2	RE / N/mm2	A (%)	Z (%)	DUREZA / HB / HARDNESS	RESILIENCIA (J) / RESILIENCE / °C TIPO PROBETA / TEST PIECE
ENSAYOS EN NORMALIZADO	675,00	410,00	33,20	48,00		

OBSERVACIONES / REMARKS:

NORMA EN 10083-1

MICROINCLUSIONES / MICRO INCLUSIONS

NORMA / NORM: AFNOR NFA 04-106 S / JERNKONTORET							
A		B		C		D	
F	G	F	G	F	G	F	G
-	-	-	-	-	-	-	-

TAMAÑO GRANO / GRAIN SIZE

MATERIAL LIBRE DE RADIOACTIVIDAD 6

OBSERVACIONES / REMARKS: Norma DIN 50402 K3 = 26

ENSAYOS JOMINY / JOMINY TEST

MM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	20	25
HRC	59	57	54	42	30	23	28	28	27	27	26	25	24	21	20

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS / OTHER TESTS

CONTROL ULTRASONIDOS / ULTRASONIC TEST
CONTROL ANTIMEZCLAS / ANTIMIXING CONTROL 100
CONTROL DEFECTOS SUPERFICIALES / SURFACE DEFECT CONTROL

OBSERVACIONES / REMARKS

Los datos de este certificado son copia de los emitidos por el fabricante según norma EN 10204-3.1, cuyo original queda archivado en nuestro Departamento de Calidad.

TRANSCRIPCIÓN DEL CERTIFICADO DEL FABRICANTE / TRANSCRIPTION OF SUPPLIER'S CERTIFICATE



Management System
 ISO 9001:2008
 ISO 14001:2004
 OHSAS 18001:2007



ACEROS IMS Int. S.A.
 Departamento de Calidad
 Quality Department

AC-04



Aceros IMS S.L.

P.I.F. 4004040

CERTIFICADO DE CALIDAD QUALITY CERTIFICATE

EN 10204-3.1

CLIENTE / CUSTOMER					EXPEDICION / EXPEDITION										
UGARTE LANTEGIAK,S.L. POL.IND.EITUA-APART.45 48240 BERRIZ BIZKAIA					ALBARAN / DELIVERY NOTE: 1452980-2 Nº PEDIDO/ORDER Nº: 486 FECHA / DATE: 02.07.18										
PRODUCTO SOLICITADO / REQUIRED PRODUCT															
CALIDAD / GRADE		F-1252 42CRMO4		COLADA / HEAT		192146									
ESTADO / DELIVERY COND.		R RECOCIDO		PERFIL / SHAPE		R PESO (KG) / WEIGHT: 515									
MEDIDA / SIZE		35		LONGITUD / LENGTH		Nº PIEZAS / Nº OF PIECES									
COMPOSICION QUIMICA DE LA COLADA / MECHANICAL COMPOSITION															
C	MN	SI	P	S	CR	MO	NI	CU	AL	V	TI	NB	SN	DUREZA (HB)	
0,400	0,820	0,250	0,010	0,053	1,080	0,247	0,120	0,170	0,021	0,004	0,002	0,003	0,008	197	
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS / MECHANICAL PROPERTIES															
TRATAMIENTO TERMICO DE PROBETA HEAT TREATMENT TEST PIECES		RM N/mm2	RE N/mm2	A (%)	Z (%)	DUREZA HB HARDNESS		RESILIENCIA (J) RESILIENCE -40 °C TIPO PROBETA / TEST PIECE KV							
ENSAYOS EN BONTIFICADO		1126,00	976,00	16,20	57,10	28,0		28,0			29,0				
OBSERVACIONES / REMARKS: RESILIENCIA -20gr.:31-32-40 Julios															
MICROINCLUSIONES / MICRO INCLUSIONS								TAMANO GRANO / GRAIN SIZE							
NORMA / NORM: AFNOR NFA 04-106 S / JERNKONTORET								MATERIAL LIBRE DE RADIOACTIVIDAD		6					
A		B		C		D									
F	G	F	G	F	G	F	G								
0,5	0	2	0	0	0	1	0								
OBSERVACIONES / REMARKS:															
ENSAYOS JOMINY / JOMINY TEST															
mm	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
HRC	57,5	57,5	57	56	55,5	55	53,5	52	48,5	47	45,5	45	44,5	43,5	42,5
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS / OTHER TESTS															
CONTROL ULTRASONIDOS / ULTRASONIC TEST					EN10308 CLASE4										
CONTROL ANTIMEZCLAS / ANTIMIXING CONTROL					100										
CONTROL DEFECTOS SUPERFICIALES / SURFACE DEFECT CONTROL					OK										
OBSERVACIONES / REMARKS															
Los datos de este certificado son copia de los emitidos por el fabricante segun norma EN 10204-3.1, cuyo original queda archivado en nuestro Departamento de Calidad.															
TRANSCRIPCION DEL CERTIFICADO DEL FABRICANTE / TRANSCRIPTION OF SUPPLIER'S CERTIFICATE															

AC-05

 Aceros IMS Int., S.A.		CERTIFICADO DE CALIDAD QUALITY CERTIFICATE		EN 10204-3.1																									
CLIENTE / CUSTOMER UGARTE LANTZOSIAK, S.L. POL. IND. EITUA-APART. 45 48240 BERRIZ BIZKAIA		EXPEDICIÓN / EXPEDITION ALBARÁN / DELIVERY NOTE: 423168- 2 Nº PEDIDO / ORDER Nº: 118 FECHA / DATE: 13.02.18																											
PRODUCTO SOLICITADO / REQUIRED PRODUCT																													
CALIDAD / GRADE: P-1252 42CRMO4 TRATADO ESTADO / DELIVERY COND.: T MEDIDA / SIZE: 35 LONGITUD / LENGTH:	COLADA / HEAT: 17/78709 PESO (KG) / WEIGHT: 231 Nº PIEZAS / Nº OF PIECES:																												
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA COLADA / CHEMICAL COMPOSITION																													
C	NO	SI	P	S	CR	MO	NI	CU	AL	V	TI	NB	SN	DUREZA (HB)															
0,380	0,790	0,200	0,012	0,009	1,020	0,200	0,080	0,190	0,021	0,004	0,010	0,003	0,008	324															
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS / MECHANICAL PROPERTIES																													
TRATAMIENTO TÉRMICO DE PROBETA HEAT TREATMENT TEST PIECES		RM N/mm2	RE N/mm2	A (%)	Z (%)	DUREZA HB HARDNESS	RESILIENCIA (J) RESILIENCE -40 °C TIPO PROBETA / TEST PIECE KV																						
ENSAYOS SOBRE MATER. DE SUMINISTRO		1112,00	956,00	12,60	51,00		52,0	60,0	56,0																				
OBSERVACIONES / REMARKS:																													
MICROINCLUSIONES / MICRO INCLUSIONS																													
NORMA / NORM: AFNOR NFA 04-106 S / JERNKONTORET				TAMAÑO GRANO / GRAIN SIZE																									
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">A</td> <td colspan="2">B</td> <td colspan="2">C</td> <td colspan="2">D</td> </tr> <tr> <td>F</td><td>G</td> <td>F</td><td>G</td> <td>F</td><td>G</td> <td>F</td><td>G</td> </tr> <tr> <td>-</td><td>-</td> <td>-</td><td>-</td> <td>-</td><td>-</td> <td>-</td><td>-</td> </tr> </table>				A		B		C		D		F	G	F	G	F	G	F	G	-	-	-	-	-	-	-	-	MATERIAL LIBRE DE RADIOACTIVIDAD: 6	
A		B		C		D																							
F	G	F	G	F	G	F	G																						
-	-	-	-	-	-	-	-																						
OBSERVACIONES / REMARKS: Norma DIN 50602 Z4 = 16																													
ENSAYOS JOMINY / JOMINY TEST																													
mm	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50														
HRC	56	56	55	54	52	51	49	47	43	39	38	37	36	35	34														
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS / OTHER TESTS																													
CONTROL ULTRASONIDOS / ULTRASONIC TEST CONTROL ANTIMEZCLAS / ANTIMIXING CONTROL: 100 CONTROL DEFECTOS SUPERFICIALES / SURFACE DEFECT CONTROL																													
OBSERVACIONES / REMARKS																													
Los datos de este certificado son copia de los emitidos por el fabricante según norma EN 10204-3.1, cuyo original queda archivado en nuestro Departamento de Calidad.																													
TRANSCRIPCIÓN DEL CERTIFICADO DEL FABRICANTE / TRANSCRIPTION OF SUPPLIER'S CERTIFICATE																													
 Management System ISO 9001:2008 ISO 14001:2004 OHSAS 18001:2007 Approved by TÜV Rheinland		 Aceros IMS Int. S.A. Departamento de Calidad Quality Department																											

AC-06



ACEROS DE HERRAMIENTAS

CALIDAD: 1.2379



APLICACIONES:

Para matrices y cortantes de formas complicadas, elevada dureza y gran resistencia al desgaste, para trabajos en grandes series pero no sometidos a esfuerzos de flexión: cuchillas circulares y cizallas. Machos de peines de roscar, escariadores. Matrices de acuñación calibradas a prensas en frío.

COMPOSICION QUIMICA

	C	Mn	Si	P ≤	S ≤	Cr	V	Mo
min.	1,45	0,10	0,10	0,030	0,030	11,00	0,75	0,60
máx.	1,65	0,40	0,40			12,00	1,10	0,80

EQUIVALENCIAS APROXIMADAS

UNE	W-Nr	DIN	AFNOR	AISI
F-5211	1.2379	X155CrVMo 12-1	Z160XCDV12	D2

Tratamiento térmico	recocido blando 830-860 °C	enfriamiento horno	dureza HB máx. 250 HB
	temple de °C 1000-1050°C	en aceite, aire o baño caliente a 500- 550 °C	dureza después del temple : 63 HRC

Revenido	°C	100	200	300	400	500	525	550	600
	HRC	63	61	58	58	58	60	56	50

DIAGRAMA DE REVENIDO



Calidad 1.2379

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Acero caracterizado por su alta resistencia a la ruptura, buena templeabilidad y estabilidad dimensional después del tratamiento térmico.

Si es tratado a alta temperatura, puede presentar tras su revenido, el fenómeno de la "dureza secundaria". Esta característica permite a este acero someterlo a nitruración u a otros tratamientos de dureza superficial.

Entre los principales usos están la elaboración de punzones, cilindros para laminación en frío e hileras de laminación en frío.

ESTADO DE SUMINISTRO

Recocido de globulización ≤ 250 HB.

RECOMENDACIONES RESPECTO A TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Recocido Isotérmico:

- Calentamiento a $870 \div 880^\circ\text{C}$.
- Descenso de la Temperatura en el horno a 760°C , y mantenimiento a temperatura al menos durante 10 Horas.
- Descenso de la Temperatura $10^\circ\text{C}/\text{Hora}$ hasta 720°C .
- Enfriamiento al Aire.

Distensión:

Debe realizarse después de la mecanización, y antes del tratamiento térmico final:

- Calentamiento a $650 \div 700^\circ\text{C}$ con permanencia en el horno de 4/6 horas.
- Enfriamiento en el horno a $300 \div 350^\circ\text{C}$.
- Enfriamiento al Aire.

Temple:

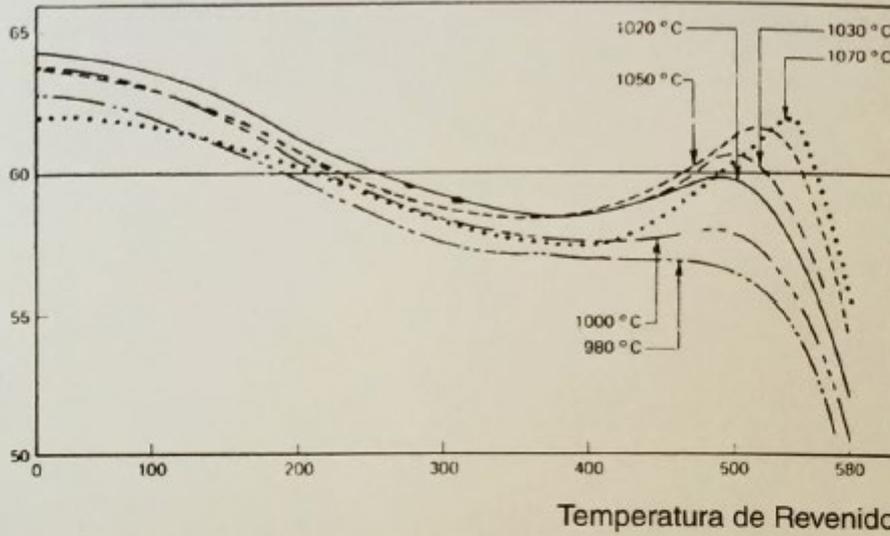
- Primer pre-calentamiento a $350 \div 400^\circ\text{C}$.
- Segundo pre-calentamiento a $750 \div 850^\circ\text{C}$.
- Austenización a $1010 \div 1040^\circ\text{C}$ o a $1080 \div 1100^\circ\text{C}$.
- Enfriamiento al aire, o en aceite para piezas de grandes dimensiones.

Dureza después de temple $62 \div 66$ HRC.

Revenido:

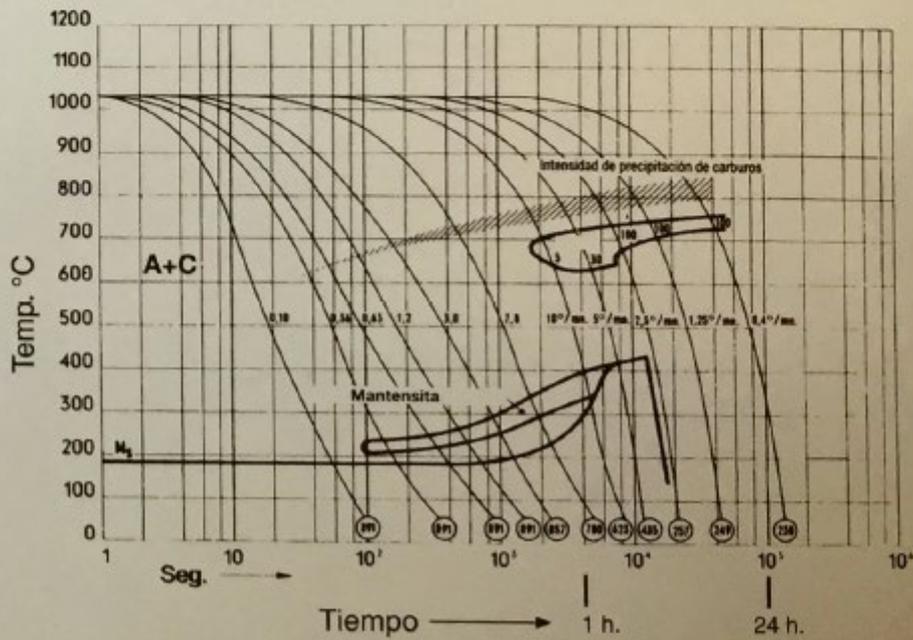
Ha de realizarse en el intervalo de temperatura comprendido entre $150 \div 300^\circ\text{C}$, con permanencia mínima de 3 horas. Para las piezas templadas entre $1080 \div 1100^\circ\text{C}$, previamente se deberá realizar un revenido a $500 \div 550^\circ\text{C}$. Para conseguir la dureza secundaria, seguido de un segundo revenido a $180/300^\circ\text{C}$.

Curva de temple en función de la temperatura de austenización y temperatura de revenido.

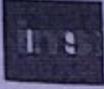


Curva T.T.T.

Austenización 1030°C



AC-07



Aceros IMS Int. S.A.
C.I.F. A-082644

CERTIFICADO DE CALIDAD

QUALITY CERTIFICATE

CLIENTE / CUSTOMER

UGARTE LANTEGIAK,S.L.
 POLIND.EITUA-APART.45
 48240 BERRIZ
 BIZKAIA

EXPEDICION / EXPEDITION

ALBARAN / DELIVERY NOTE: 1492240-1
 Nº PEDIDO/ORDER Nº: 101
 FECHA / DATE: 14.02.19

PRODUCTO SOLICITADO / REQUIRED PRODUCT

CALIDAD / GRADE	S355J2	COLADA / HEAT	203132
ESTADO / DELIVERY COND.	SIN TRATAMIENTO TERM	PERFIL / SHAPE	R
PESO (KG) / WEIGHT:	9,365		
MEDIDA / SIZE	35	LONGITUD / LENGTH	Nº PIEZAS / Nº OF PIECES

COMPOSICION QUIMICA DE LA COLADA / MECHANICAL COMPOSITION

C	MN	SI	P	S	CR	MO	NI	AL	TI	CU	V	BN	NB	N
0,150	1,380	0,330	0,013	0,021	0,080	0,034	0,110	0,021	0,002	0,180	0,031	0,009	0,003	0,009

CARACTERISTICAS MECANICAS / MECHANICAL PROPERTIES

TRATAMIENTO TERMICO DE PROBETA / HEAT TREATMENT TEST PIECES	RM N/mm2	RE N/mm2	A (%)	Z (%)	DUREZA HB HARDNESS	RESILIENCIA (J) / RESILIENCE -20 °C TIPO PROBETA / TEST PIECE	KV
ENSAYOS EN NORMALIZADO	545,00	385,00	30,10			242,0	240,0
						235,0	

OBSERVACIONES / REMARKS:

NORMA EN 10025-2.

MICROINCLUSIONES / MICRO INCLUSIONS

NORMA / NORM: AFNOR NFA 04-106 S / JERNKONTORET							
A		B		C		D	
F	G	F	G	F	G	F	G
1,9	2,	2	0	-	-	1	0

TAMAÑO GRANO / GRAIN SIZE

MATERIAL LIBRE DE RADIOACTIVIDAD
 MATERIAL IS FREE OF RADIOACTIVITY

6

ENSAYOS JOMINY / JOMINY TEST

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS / OTHER TESTS

CONTROL ULTRASONIDOS / ULTRASONIC TEST EN10308 CLASE4
 CONTROL ANTIMEZCLAS / ANTIMIXING CONTROL 100
 CONTROL DEFECTOS SUPERFICIALES / SURFACE DEFECT CONTROL OK

OBSERVACIONES / REMARKS:

Los datos de este certificado son transcripción de los emitidos por el fabricante según norma EN 10204-3.1, cuyo original queda archivado en nuestro Departamento de Calidad.
 The content of this document is a transcription of the certificate issued by the manufacturer according to Standard EN 10204-3.1, whose original is recorded in our Quality Department.

TRANSCRIPCIÓN DEL CERTIFICADO DEL FABRICANTE / TRANSCRIPTION OF SUPPLIER'S CERTIFICATE





Elaborado de acuerdo con la norma ISO 14959:2014

8.-Bibliografía

- [1] *Información Aceros Inoxidables*. (s.f.). Obtenido de <https://inoxidable.com/infoutil.htm>
- [2] *Esmerilado y pulido metalográfico | Struers.com* (s.f.). Obtenido de <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Grinding-and-polishing#>
- [3] Ricar. (2023, 16 diciembre). *Tipos de acero corrugado y como identificar al fabricante*. Ferros la pobla. Obtenido de <https://ferroslapobla.com/tipos-acero-corrugado-como-identificar-fabricante/#:~:text=Designaci%C3%B3n%20del%20acero%20corrugado&text=Se%20identifican%20con%20un%20c%C3%B3digo,B%20%3D%20acero%20para%20hormig%C3%B3n%20armado>)
- [4] *Tempcore*. (s.f.). CRM Group. Obtenido de <https://www.crmgroup.be/en/industrialised-results/bulk-processes/tempcore>
- [5] Aceros IMS. (2015). *Catálogo de aceros especiales*. Obtenido de <https://www.acerosims.com/files/CatalogoAcerosEspeciales2015.pdf>
- [6] Aceros IMS. (2015). *Catálogo de Inoxidables*. Obtenido de <https://www.acerosims.com/files/CatalogoInoxidable40Paginas2015.pdf>
- [7] *Alphabetical Steel Index*. (s.f.). Obtenido de https://steelselector.sij.si/html/steel_index.html
- [8] *ImageJ*. (s.f.) Obtenido de <https://imagej.net/ij/>