



CARACTERIZACIÓN DE UNA REJA HISTÓRICA DEL SIGLO XIX

Oscar Rivera^{1*}, Danny Guzmán¹, Alexis Guzmán², Raúl Céspedes³, Guillermo Cortés³

(1) Departamento de Ingeniería en Metalurgia, Universidad de Atacama, Avda. Copayapu 485, Copiapó, Chile.

(2) Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Santiago de Chile, Avda. Libertador General Bernardo O'Higgins 3363, Santiago, Chile.

(3) Museo Regional de Atacama, Atacama 98, Copiapó, Chile.

* e-mail de autor de correspondencia: oscar.rivera@uda.cl

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió una reja de hierro forjado del siglo XIX. Las técnicas de caracterización utilizadas fueron difracción de rayos X, microscopía óptica y microdureza Vickers. Se constató una estructura ferrítica de granos equiaxiales de tamaño 11 ASTM, con inclusiones alargadas y orientadas en el sentido de la deformación. En base a los resultados obtenidos, se concluye que la muestra corresponde a hierro pudelado, el cual fue conformado en caliente, o sometido a un tratamiento térmico de recocido post conformado.

Palabras claves: hierro pudelado, difracción de rayos X, recocido.

ABSTRACT

This work shows a wrought iron gate from XIX century. Metallurgical characterization was performed by X-ray diffraction, optical microscopy and Vickers microhardness test. An equiaxed grain ferritic structure, with average grain size ASTM 11 and slag inclusions oriented in deformation direction are reported. Historical and metallurgical results evidence a hot forging puddled iron, or a subsequent annealing process.

Keywords: puddling, X-ray diffraction, annealing.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Marco histórico

En el año 1878 en la ciudad de Copiapó, nace Marmaduke Grove Vallejo. Hijo de José Grove Ávalos y Ana Vallejo Burgos, ambos conocidos militantes del Partido Radical de Chile, Grove Vallejo posteriormente se convertiría en una destacada figura a nivel político y militar, alcanzando cargos de alta importancia, tales como: Senador de la República de Chile, Ministro de Defensa Nacional de Chile, Comandante en Jefe de la Fuerza Aérea de Chile y Secretario General del Partido Socialista de Chile [1]. La llegada de los Grove a Chile se remonta al primer quinquenio del siglo XIX cuando el abuelo de Marmaduke, William Grove Abbott, médico galo del bergantín *Mary*, encallara en el puerto de Caldera y su ayuda fuera requerida

desde Copiapó para combatir los embates del sarampión que en ese tiempo aquejaba a la zona, sin saber que dicha ciudad se convertiría en su residencia definitiva [2].

La casa que albergó la infancia de Grove Vallejo se encontraba ubicada en el sector norte de la ciudad y al igual que muchos domicilios de ese entonces, estaba cercada por una reja de hierro forjado. Esta reja traída desde Inglaterra por la familia Grove durante el siglo XIX, permaneció en la bodega de depósitos del Museo Regional de Atacama entre 1978 a 1982 y parte de ella se muestra en la figura 1. En mayo de 1982, esta reja fue trasladada junto con otras piezas históricas, hasta las actuales dependencias del Museo Regional de Atacama, antiguo domicilio de la familia Matta.



Figura 1. Reja de hierro forjado, propiedad del Museo Regional de Atacama.

1.2 Pudelación del hierro

En el siglo XVIII, un proceso metalúrgico revolucionó la industria del hierro a nivel mundial: la pudelación, técnica de refinación de hierro inventada en Inglaterra por Henry Cort en el año 1784. Este proceso consistía en calentar hierro con alto contenido de carbono, al tiempo que se hacía circular una corriente de aire para reducir el carbono presente en el metal, oxidándolo a CO_2 . Cuando se alcanzaba una temperatura superior a $1000\text{ }^\circ\text{C}$, el metal se reordenaba a nivel atómico, transformándose desde ferrita ($\alpha\text{-Fe}$) de estructura cúbica centrada en el cuerpo, a austenita ($\gamma\text{-Fe}$) de estructura cúbica centrada en las caras, haciendo que el hierro inicialmente duro y resistente se transformara en una masa pastosa de mayor ductilidad debido al cambio en la estructura cristalina del metal, ductilidad que además se incrementaba por la disminución de carbono en el material [3]. Una vez que la ductilidad del hierro se incrementaba, era posible conformarlo mediante un proceso de forja, eliminando con ello la escoria e impurezas presentes mediante raspado o cepillado, esto gracias a la tendencia que presentan los óxidos a alojarse en la superficie del material, en forma de un delgado cascarón. Por otro lado, las impurezas remanentes al interior del metal se orientaban en el sentido de la deformación aplicada, con lo que se obtenía una microestructura característica

compuesta por una matriz ferrítica, con presencia de inclusiones alargadas y dispersas en el metal [4].

En el período comprendido entre los siglos XVII y XIX, el avance tecnológico de la época permitió desarrollar procesos de fabricación que utilizaban la fuerza motriz entregada por de molinos de agua y posteriormente por máquinas a vapor, esto permitió fabricar piezas metálicas de mayor envergadura y calidad, con una alta eficiencia y en grandes volúmenes de producción. Entre los métodos de conformado más utilizados se destacaban la forja y la laminación. La forja, ampliamente utilizada en los siglos XVII y XVIII, correspondía a un proceso en donde el metal era conformado mediante golpes con un martillo impulsado por la fuerza generada en molinos de agua (*waterwheels*) tal como se muestra en la figura 2, que corresponde una ilustración del siglo XIX de la compañía manufacturera de hierro Seaton Ironworks. El proceso de forja fue gradualmente reemplazado por la laminación, en donde el metal se hacía pasar por rodillos que deformaban gradualmente el metal hasta obtener las dimensiones deseadas. Ambos métodos de conformado eran utilizados en conjunto con la pudelación y su uso estaba ampliamente difundido en Gran Bretaña y el resto de Europa para la fabricación de barros y rejas, entre otros artefactos [3].

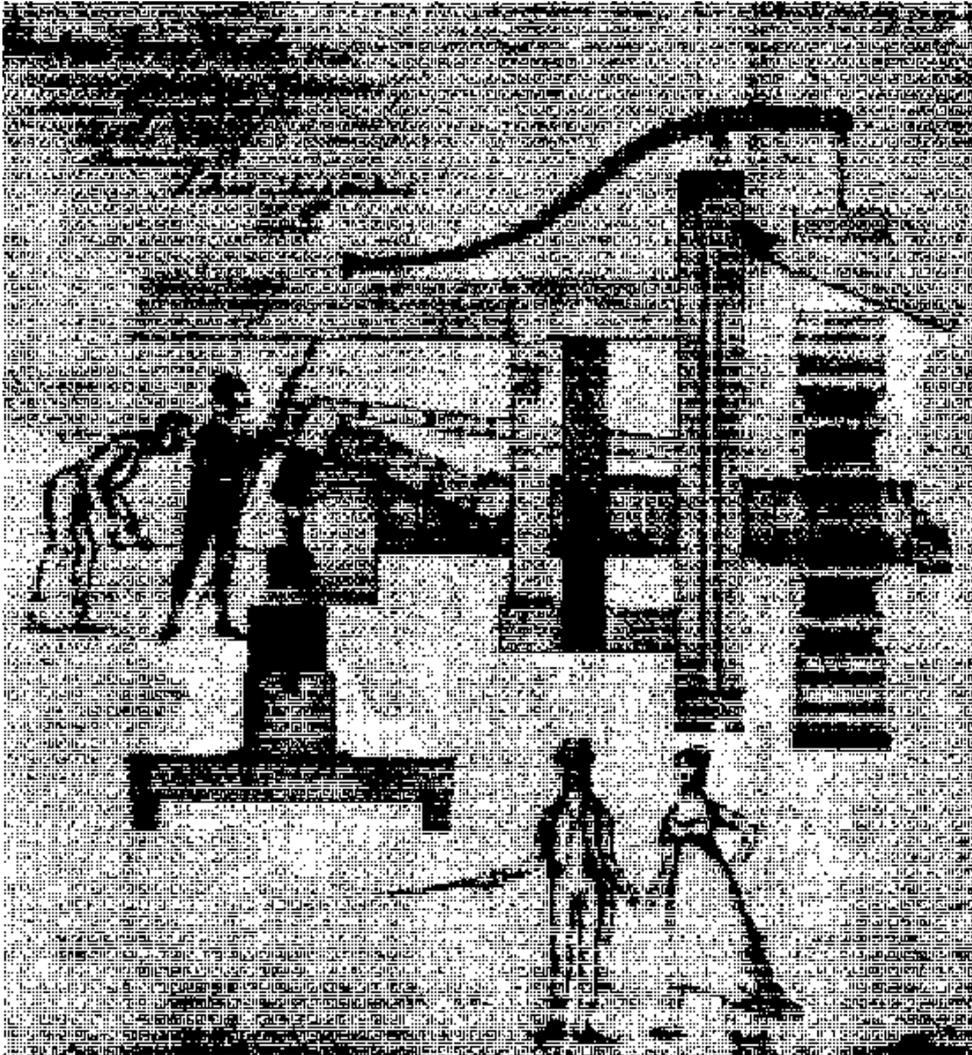


Figura 2. Martillo de forja impulsado por molino de agua. Ilustración de Seaton Ironworks, 1816.

2. METODOLOGÍA

2.1 Obtención y preparación de la muestra

La pieza mostrada en la figura 3 fue obtenida mediante corte con sierra manual, técnica que fue utilizada además para seccionar dicha pieza; este último procedimiento fue realizado con el fin de mejorar la representatividad de las observaciones

metalográficas. Posteriormente las muestras fueron montadas utilizando resina epóxica, y luego sometidas a una etapa de desbaste mediante lijado secuencial, y finalmente a una etapa de pulido final, para el cual se utilizó alúmina N° 1 y 3 (1 y 0,05 μm , respectivamente) como abrasivo. Finalmente la muestra fue atacada utilizando Nital al 5% durante 20 segundos, con el fin de revelar la microestructura.



Figura 3. Pieza de metal obtenida.

2.2 Caracterización metalográfica y microestructural

La caracterización metalográfica fue realizada en un microscopio óptico Olympus ProgRes C3. El tamaño de grano fue determinado mediante el Procedimiento General de Interceptos, el cual se encuentra definido en la norma ASTM E 112 - 10 [5] y los ensayos de microdureza Vickers fueron realizados en un durómetro STRUERS Duramin, utilizando una carga de 4,903 N durante 10 segundos. Para la caracterización de fases presentes se utilizó un difractómetro Shimadzu XRD-600 ($K\alpha$ de Cu) con un rango de barrido de ángulo 2θ desde 30° a 90° , un paso de $0,02$ grados y una velocidad de barrido de 2 grados/min.

3. RESULTADOS

3.1 Difracción de rayos X

La figura 4 presenta el difractograma de la muestra estudiada, el cual ha sido normalizado para apreciar con mayor facilidad las fases presentes. En la zona superior de la figura se muestra el difractograma de la muestra, mientras que en la zona inferior están graficadas las líneas de difracción del hierro BCC o ferrita (α -Fe). Los planos cristalográficos de Miller asociados a los tres picos de difracción son, de izquierda a derecha: (110), (200) y (211).

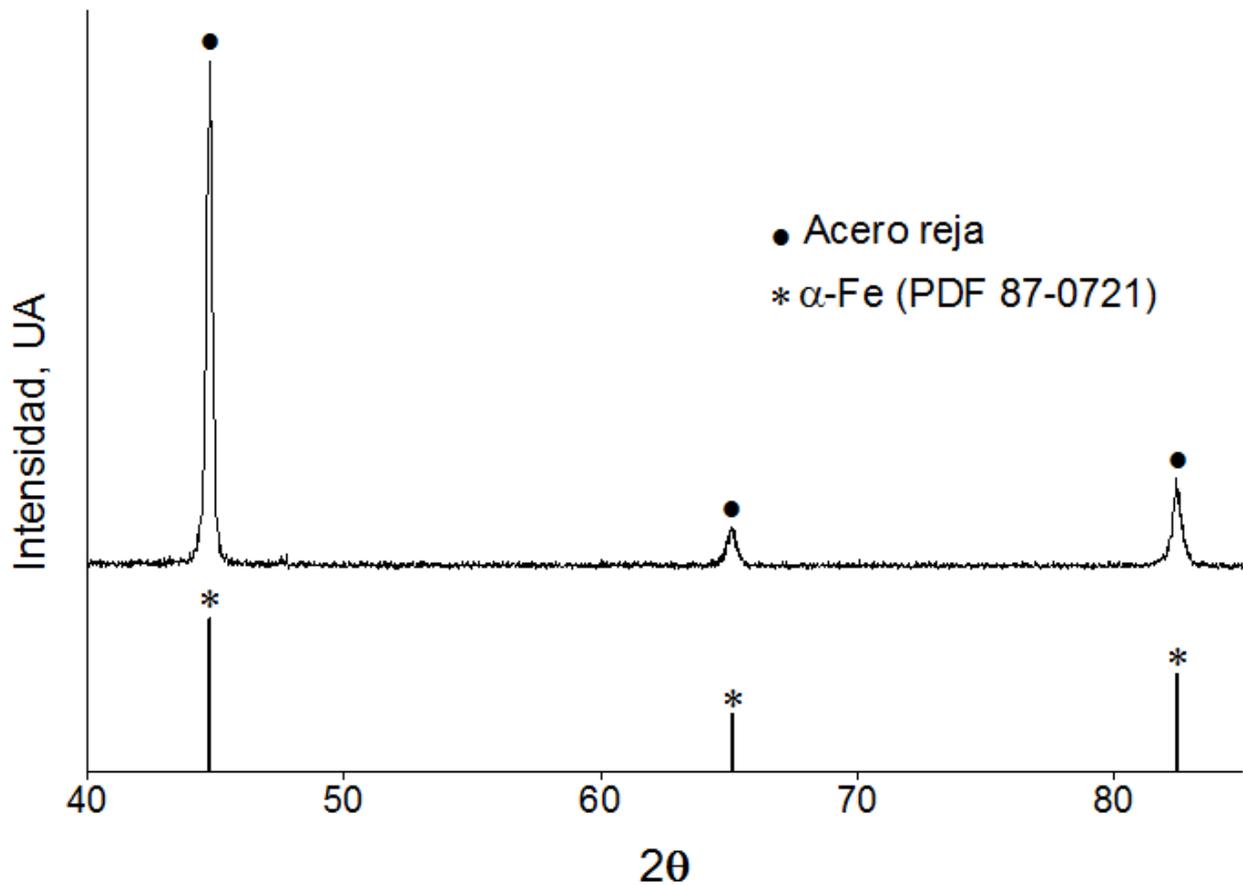


Figura 4. Difractograma de la muestra y líneas de difracción del hierro puro.

El difractograma corresponde a una aleación monofásica compuesta por ferrita, lo que es coincidente con los resultados reportados por Navea et al., donde se analizó por difracción de rayos X una muestra de hierro pudelado perteneciente a una locomotora del siglo XIX [6]. Lo anterior se explica en que mediante el proceso de pudelación, la cantidad de carbono presente en el metal se reduce considerablemente, lo que permite obtener una estructura principalmente ferrítica. Eventualmente, debido al bajo contenido de carbono, la microestructura podría presentar colonias perlíticas muy pequeñas alojadas en el borde de grano, las cuales son muy difíciles de detectar por los equipos convencionales de microscopía o difracción [7].

3.2 Microscopía óptica

Las figuras 5 y 6 corresponden a micrografías de la muestra obtenidas a 50 y 100 aumentos, respectivamente. En ambas micrografías se distinguen dos zonas principales: una predominante de color gris señalada como "A" y otras zonas más oscuras, denominadas "B". La zona gris corresponde a una microestructura ferrítica de grano equiaxial con tamaño de grano ASTM 11, este mismo tamaño de grano fue reportado por Lorusso et al. en un estudio sobre clavos encontrados en los restos de fabricados por pudelación, los cuales pertenecían a embarcaciones balleneras del siglo XIX [8].

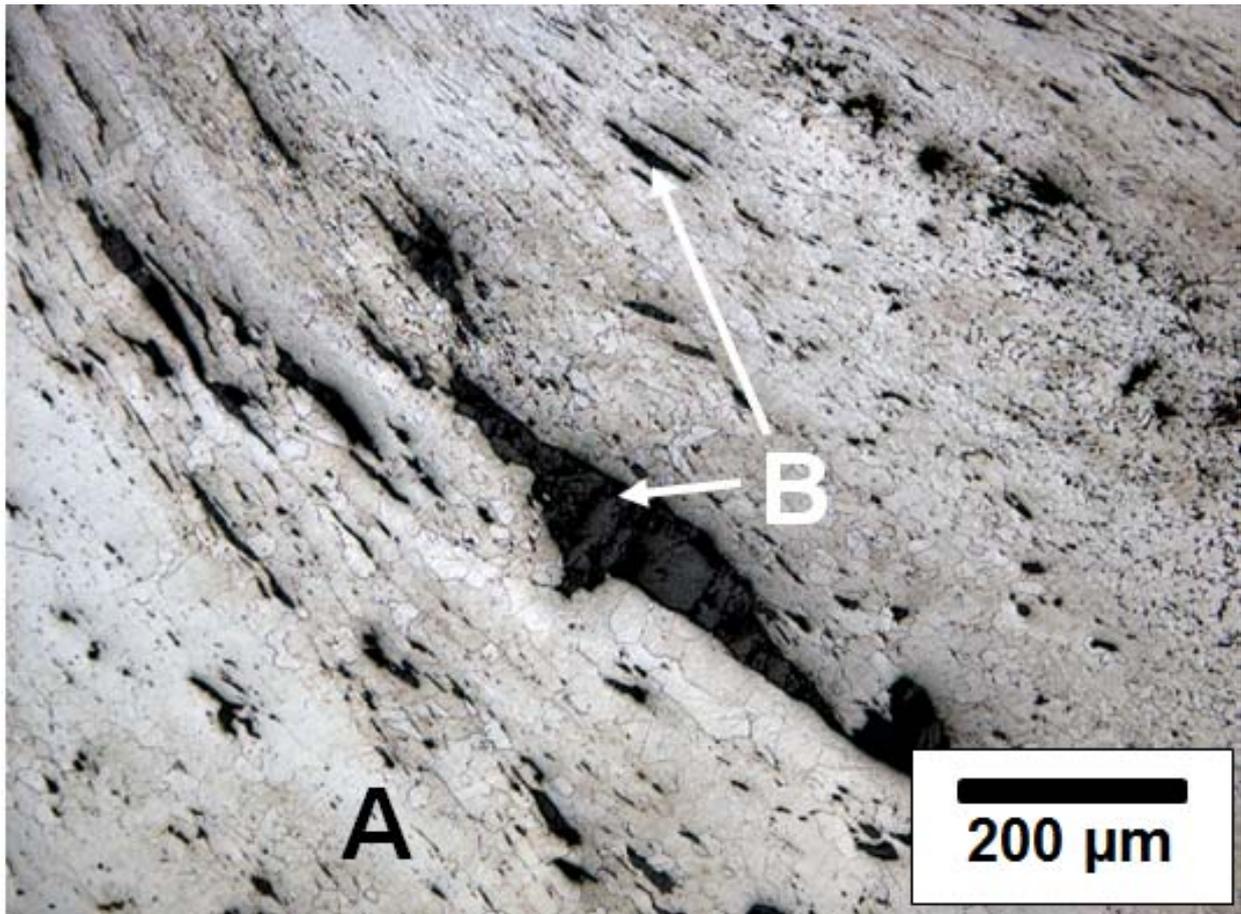


Figura 5. Micrografía a 50X, matriz ferrítica (zonas grises) y presencia de inclusiones (zonas oscuras).

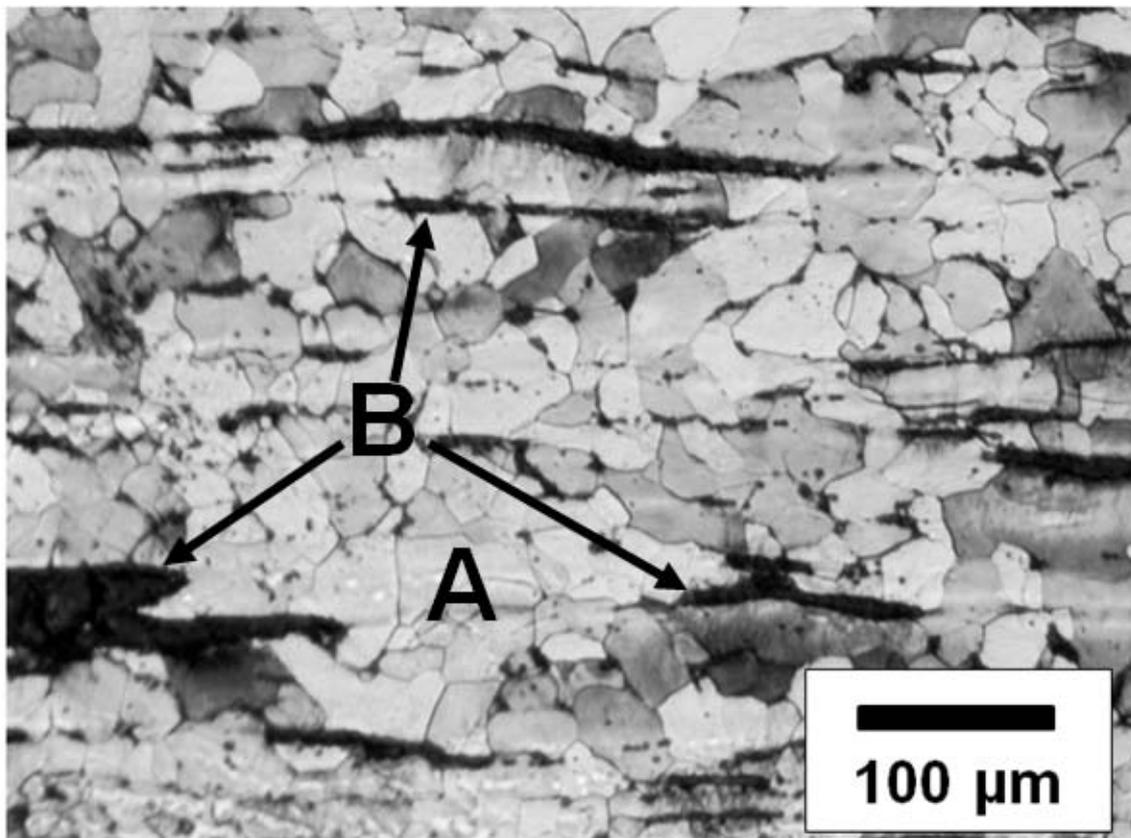


Figura 6. Micrografía a 100X, zona de granos equiaxiales y elevada dispersión de inclusiones.

La morfología equiaxial que presentan los granos de la matriz, puede indicar que el material fue sometido a un tratamiento térmico de recocido post conformado, o que la pieza pudo ser fabricada mediante conformado en caliente, proceso en el cual es posible conseguir una recristalización dinámica del material. Ambos métodos eran ampliamente utilizados en el siglo XIX, y permitían eliminar la deformación de los granos mediante el proceso de recristalización [3], obteniéndose por lo general microestructuras equiaxiales, tal como se muestra en la figura 6.

Finalmente, basados en trabajos reportados en literatura donde se estudiaron diversas muestras de hierro pudelado, se infiere que las zonas oscuras observadas en las figuras 5 y 6, podrían representar sulfuros y silicatos de Mn, los cuales quedan ocluidos en la matriz ferrítica y tienden a orientarse en el sentido de la deformación aplicada durante el

conformado de la pieza [4, 8, 9, 10]. Es importante destacar que además de las inclusiones alargadas, se verifica la presencia de inclusiones de tamaño pequeño, las cuales se presentan en gran cantidad y con una alta dispersión dentro del metal.

3.3 Ensayos de microdureza

El ensayo de microdureza Vickers arrojó valores promedio de 208 y 321 HV 0.5 para la matriz ferrítica y las inclusiones de escoria, respectivamente.

Estudios anteriores realizados por Picasso et al. [8], Larusso et al. [9] y Grau et al. [10] reportan valores de microdureza menores en comparación a la reja, siendo estos: 152, 155 y 180 HV, respectivamente. Para explicar lo anterior, se realizó una comparación entre las micrografías obtenidas en el presente estudio y las reportadas en los estudios recién mencionados. Al comparar las

microestructuras, se observó que las inclusiones de escoria en la reja presentan un menor tamaño y una mayor dispersión (figura 6), lo cual implicaría una mayor interacción con las dislocaciones presentes en el material y un subsecuente endurecimiento del mismo.

Por otro lado, la microdureza presentada por las inclusiones de la reja, es consistente con el estudio realizado por Picasso et al., en donde se reporta un valor de 367 para las inclusiones de escoria presentes en una muestra de hierro pudelado obtenida de un puente ferroviario [9].

4. CONCLUSIONES

- La muestra presenta una estructura ferrítica, de grano equiaxial y tamaño de grano 11 ASTM, la cual corresponde a hierro pudelado.
- La equiaxialidad de los granos evidencia un recristalización del material, el cual puede ser atribuido a conformado en caliente, o a un tratamiento térmico post-conformado
- La información histórica y resultados metalúrgicos indican una data de fabricación del siglo XIX.
-

5. Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del Museo Regional de Atacama por el aporte de las muestras estudiadas en este trabajo. También agradecen al Departamento de Ingeniería en Metalurgia de la Universidad de Atacama y al Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Santiago de Chile, por facilitar las instalaciones y equipos para los estudios realizados.

6. REFERENCIAS

[1] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BCN, Reseñas Biográficas Parlamentarias. Marmaduke Grove Vallejo. Disponible en: <http://www.bcn.cl>.

[2] M. Brncic. Marmaduke Grove, Liderazgo Ético, Primera edición, Ediciones Terra Mía Ltda., Chile, 2004.

[3] R. F. Tylecote. A History of Metallurgy, The Metals Society, USA, 1976.

[4] C. Aguilar, L. Navea, L. Valderrama. Análisis microestructural de clavos y estacas del mineral de Chañarillo, ubicado en la Región de Atacama. CONAMET/SAM 2006.

[5] Norma ASTM E112 – 10. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.

[6] L. Navea, C. Aguilar, J. Palacios, L. Valderrama, B. Zazzali. Caracterización del material de fabricación de la primera locomotora que funcionó en Chile, "La Copiapó". CONAMET/SAM 2005.

[7] H. K. Bhadeshia, R. Honeycombe. Steels, Microstructure and Properties, Third ed., Elsevier, United Kingdom, 2006.

[8] H. Lorusso, H. Sbovoda, De Rosa H. M. Estudio arqueometalúrgico de clavos pertenecientes a embarcaciones balleneras halladas en la Antártida argentina. CONAMET/SAM 2004.

[9] A. Picasso, R. Romero, A. Cuniberti. Identificación y caracterización de un acero y una fundición utilizados en la construcción de puentes ferroviarios a fines del siglo pasado. Jornadas SAM – IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, 2000.

[10] J. Grau, R. Gregorutti, J. Sarutti. Caracterización de clavo de fijación de riel del Ferrocarril Sarmiento hallado en la ciudad de Saladillo. CONAMET/SAM 2007.