

VALIDACIÓN DE UNA NUEVA CALIBRACIÓN EN UN TREN DESBASTADOR PARA LA LAMINACIÓN DE BARRAS DE ACERO SAE 4330 ¹

Augusto Cecilia²
Andrés Martínez²
Matias Pereyra³
Wadi Chiapparoli⁴
Luis Reda⁴

Resumen

La empresa SIPSA produce varillas para utilización en barras de bombeo, laminadas a partir de tochos de colada continua. Para grados de alta resistencia para grados se utiliza el acero AISI 4330 modificado. La planta consta de etapas de desbaste (con tren trío reversible) para luego pasar por un tren intermedio y terminador continuos, el número de pasos dependen de la medida a laminar. Luego las varillas son forjadas, tienen un tratamiento térmico, granallado y roscado en Metalmecánica para constituir las barras de bombeo. Recientemente se realizó un cambio en la calibración del tren desbastador trío reversible para la laminación de estas varillas. En este trabajo se presenta un estudio que tiene el objetivo de analizar la performance de la nueva calibración en comparación con la anterior, para el grado de acero AISI 4330 modificado. El trabajo se desarrolla analizando muestras a nivel desbaste, de todas las pasadas del mismo, y a nivel varilla tal como salen del terminador continuo. Para ello se realizan diferentes ensayos del tipo metalográfico: macroataques en cortes transversales y longitudinales, determinación del tamaño de grano y estructura, y sobre propiedades mecánicas: determinación de durezas y microdurezas, tracciones, ensayos de impacto charpy y placas gammagráficas. De esta manera se obtienen comparativas entre ambas configuraciones de calibrado.

Palabras clave: Tren desbastador trio reversible; Laminación de barras; Varillas de bombeo.

VALIDAÇÃO DE UMA NOVA CALIBRAÇÃO DO DESBASTADOR PARA A LAMINAÇÃO DE BARRAS DE AÇO SAE 4330

Resumo

A SIPSA produz, partindo de tarugos redondos obtidos por lingotamento contínuo, barras laminadas para produção de hastes de bombeio. Para graus de alta resistência se utiliza o aço AISI 4330 modificado. A operação inclui uma etapa de desbaste no trem trio reversível para então passar por um trem intermediário e um terminador contínuos. O número de passes depende da bitola a laminar. As barras são forjadas, recebem um tratamento térmico, granalhado e roscado na Metalmecânica, para constituir as hastes de bombeio. Recentemente se realizou uma mudança na calibração do trem desbastador trio reversível para a laminação destas barras. Neste trabalho se apresenta um estudo que tem o objetivo de analisar a performance da nova calibração em comparação com a anterior, para o aço AISI 4330 modificado. O trabalho se desenvolve analisando a mostras ao nível do desbastador, de todos os passes, e ao nível da barra, tal como sai do terminador contínuo. Para isto, se realizam diferentes ensaios do tipo metalográfico: macroataques em cortes transversais e longitudinais, determinação do tamanho de grão e estrutura, e sobre propriedades mecânicas: determinação de durezas e microdurezas, trações, ensaios de impacto Charpy e placas gammagráficas. Desta maneira se obtém comparativas entre as configurações de calibração.

Palabras-chave: Trem desbastador trí-reversível; Laminação de barras; Hastes de bombeio.

¹ *Contribucion técnica a 44º Seminário de Laminación – Procesos y Productos Laminados Y Revstidos, 16 al 19 de Octubre de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil.*

² *SIPSA S. A., Ruta 7 Km 701, 5730 Villa Mercedes, San Luis, Argentina.*

³ *Metalmecanica S. A., Ruta 148 Km 754,1, 5730 Villa Mercedes, San Luis, Argentina*

⁴ *Instituto Argentino de Siderurgia, Av. Central y 19 Oeste, 2900 San Nicolás, Bs. As., Argentina.*

1 INTRODUCCION

Las varillas de bombeo utilizadas en los pozos petroleros, constituyen un producto que requiere por las características de la operación en la cual son usadas, requisitos de calidad y propiedades mecánicas de alta exigencia.

En la bibliografía se reportan algunos estudios sobre este tema que se basan en ensayos realizados sobre muestras tomadas durante el proceso de laminación. A través del análisis de los resultados se determina la influencia de las calibraciones de los trenes de laminación en cuanto a las características mecánicas y metalúrgicas del producto.^[1-3]

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en un estudio realizado en la empresa SIPSA, Metalmecánica en coordinación con el Instituto Argentino de Siderurgia. El mismo apunta a validar una nueva calibración en un tren desbastador trío reversible que lamina varillas para uso en barras de bombeo, de acero grado AISI 4330.

A tal fin, se realiza un seguimiento durante el proceso en el cual se toman muestras a nivel desbaste^[4,5] y luego a nivel de varilla, tal como salen del terminador continuo.^[6] Sobre dichas muestras se estudia la estructura mediante microscopía óptica y se correlacionan los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas. Esto permitió comprender y obtener información de la nueva calibración y comparar con la performance de la antigua.

2 OPERACIÓN DEL DESBASTADOR Y CONDICIONES ESTUDIADAS

El desbastador es trío reversible y mediante ocho pases lamina el tocho original, cuyo diámetro aproximado es de 150 mm.

La Figura 1 presenta el desbastador trío reversible en operación.



Figura 1. Desbastador trío reversible T 600 en operación.

La empresa plantea una inversión en dos etapas:

- 1) Reemplazo de cojinetes fenólicos por rodamientos, para darle mayor confiabilidad dimensional y operativa.
- 2) Modificación de la calibración del mismo, pasando de una configuración cajón – cajón a otra oval – redondo, mejorando la calidad superficial.

Las condiciones de estudio para cada etapa son las siguientes:

- 1) Muestreo de cada pasada en el desbastador.
- 2) Muestreo de varillas finales en la mesa de enfriamiento.

3 MUESTREO

En el tren desbastador, se obtuvieron 9 muestras para el tren soportado por cojinetes y 9 muestras en la condición del tren soportado sobre rodamientos, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 1. Todas las muestras corresponden al acero grado AISI 4330 modificado. La especificación de la composición química se presenta en la Tabla 2.

Tabla 1. Muestras obtenidas de las diferentes pasadas.

Muestra	Pasada
T	Tocho
1 p	Paso 1
2 p	Paso 2
3 p	Paso 3
4 p	Paso 4
5 p	Paso 5
6 p	Paso 6
7 p	Paso 7
8 p	Paso 8

Tabla 2. Composición química de norma del acero AISI 4330.

Elemento	Mínimo	Máximo
C (%)	0,28	0,33
P (%)	0	0,025
Cr (%)	0,70	0,95
Cu (%)	0	0,35
Mn (%)	0,75	1
Si (%)	0,20	0,35
Mo (%)	0,35	0,50
Ti (%)	0	0,05
S (%)	0	0,025
Ni (%)	1,65	2
V (%)	0,050	0,1
Al (%)	0	0,1

Respecto al control de temperaturas, se miden las mismas en la entrada del desbaste, o sea a la salida del descascarillador mecánico, mediante un pirómetro óptico de dos colores. En el muestreo se determinó una temperatura de 1140 °C y a la salida del paso 8 de 1070°C. En la Figura 2, se observa el lugar donde se determinó temperatura y el equipo utilizado.

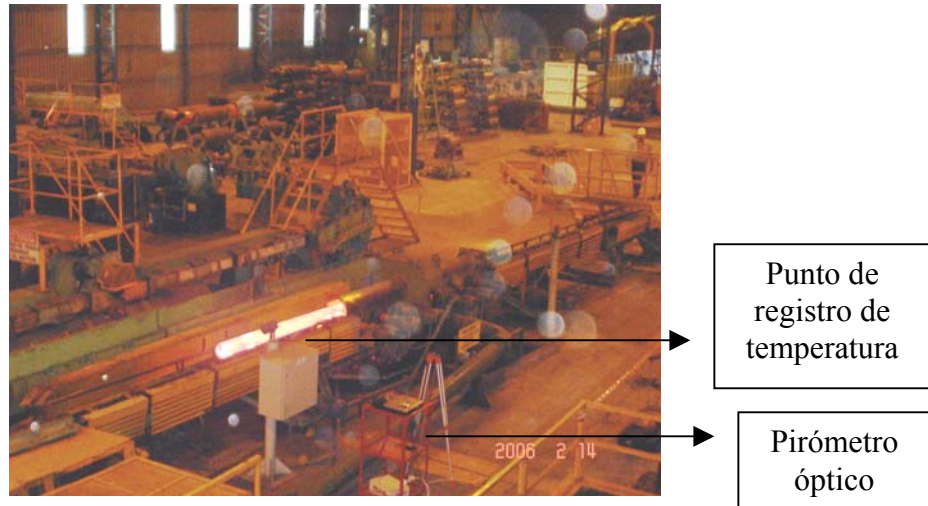


Figura 2. Punto de determinación de las temperaturas y equipamiento utilizado.

Las muestras fueron obtenidas por corte con oxígeno, una a cada lado del desbastador, de acuerdo a los pases, comenzando por la muestra correspondiente a la última pasada.

En el caso de las varillas, las muestras se obtuvieron directamente en la mesa de enfriamiento, a la descarga del terminador. Se tomaron muestras de tres tochos (identificados como tochos 1, 2 y 3), siempre sobre la varilla 9, de medio y punta de varilla, siguiendo la denominación especificada en la Tabla 3. El mismo criterio se mantuvo para ambas configuraciones.

Tabla 3. Identificación de las muestras, en ambas configuraciones.

Tocho 1
Varilla 9 - Medio
Tocho 1
Varilla 9 - Punta
Tocho 2
Varilla 9 - Medio
Tocho 2
Varilla 9 - Punta
Tocho 3
Varilla 9 - Medio
Tocho 3
Varilla 9 - Punta

En la Tabla 4 se presentan las temperaturas de laminación medidas en distintos puntos del proceso, que son características de cada muestreo.

Tabla 4. Temperaturas en diferentes puntos del proceso, en las condiciones de muestreo para cada una de las configuraciones.

Configuración Cajón – Cajón	Entrada desbaste	1185 / 1190 °C
	Salida desbaste	1050 / 1070 °C
	Salida intermedio	1070 / 1080 °C
	Salida continuo	1020 / 1065 °C
Configuración Oval - Redondo	Entrada desbaste	1150 °C
	Salida desbaste	1050 / 1070 °C
	Salida intermedio	1030 / 1060 °C
	Salida continuo	1030 / 1080 °C

4 RESULTADOS

4.1 Muestras a Nivel Desbaste

Macroataques

En la Figura 3, se observan a modo de ejemplo, imágenes de los macroataques realizados sobre las muestras del paso 1, para la calibración cajón – cajón, con el tren soportado por rodamientos.

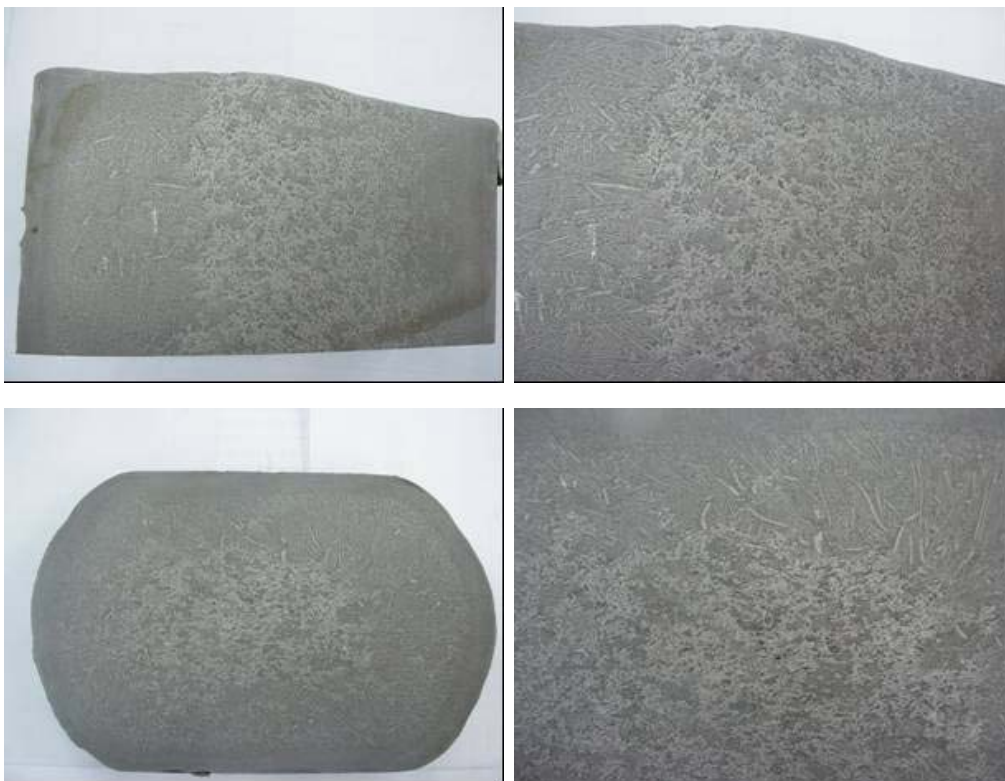


Figura 3. Macroataques realizados sobre muestras del paso 1, para la calibración cajón – cajón con el tren soportado por rodamientos. Arriba: corte longitudinal, abajo: corte transversal (en ambos casos, a la izquierda sección completa, a la derecha detalle).

Microscopia Óptica

Se trabaja sobre cortes transversales de cada paso, tomando probetas del borde o superficie, del medio radio y del centro.

En la Figura 4, se presentan como ejemplo observaciones de la estructura para el paso 1, en el caso del tren soportado por rodamientos. A la izquierda: superficie o borde, imagen central: medio radio y a la derecha: centro de la muestra.

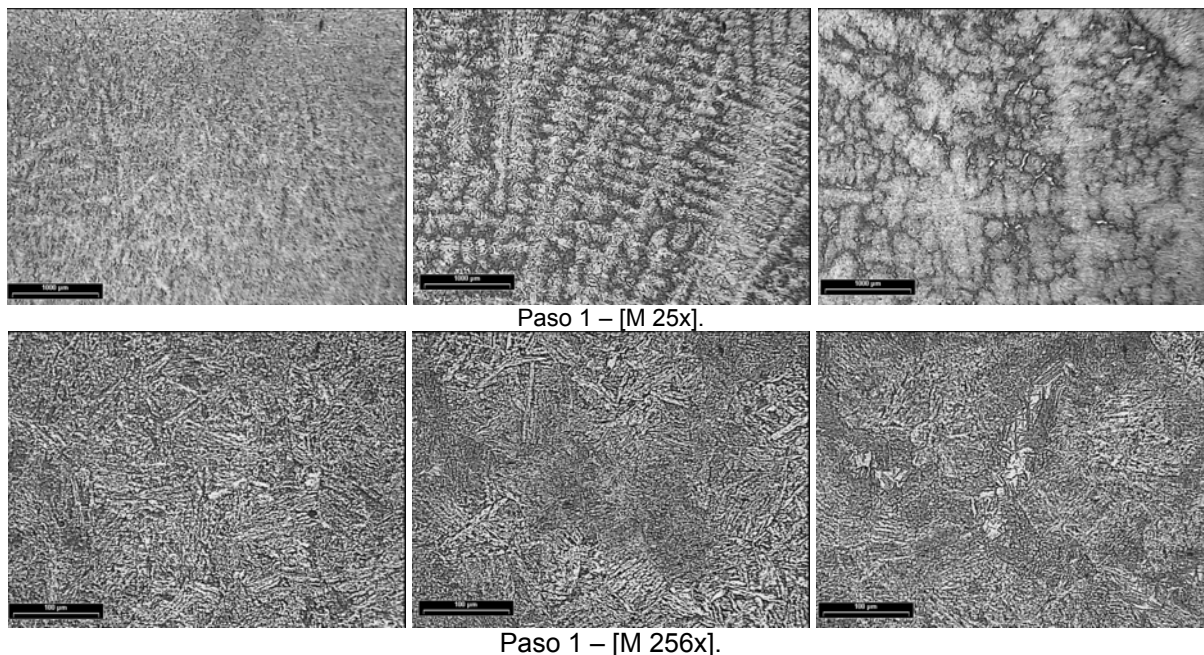


Figura 4. Estructura presente en las muestras correspondientes al paso 1, tren soportado por rodamientos. A la izquierda: superficie o borde, imagen central: medio radio y a la derecha: centro de la muestra.

Determinación de dureza

Se determinaron para cada pasada (desde la pasada P1 hasta la pasada P8), valores de dureza Rockwell C. Se realizó un perfil barriendo 9 puntos equidistantes sobre la dimensión mayor de cada sección.

En el caso particular del desbastador soportado sobre cojinetes fenólicos, los valores promedio de cada pasada se encuentran entre 28 y 32 HRc. Para el tren montado sobre rodamientos, los valores promedios están entre 26,5 y 33 HRc.

Gammagrafía

La técnica gamagráfica utilizada consiste en colocar la muestra y la placa radiográfica a una distancia de 500 mm de la fuente radiactiva. Las muestras se maquinaron a una longitud aproximada de entre 300 y 400 mm y a 30 mm de diámetro, a partir del eje central de cada una de las pasadas. Se trabajó con la norma de evaluación ASME – ANSI B.31.3.

En ambas condiciones se verifica que la porosidad original del tocho es eliminada a partir de la mitad de la etapa de desbaste.

4.2 Muestras de Varillas a la Salida del Terminador

Metalografía

En este caso se trabajó sobre cortes transversales y longitudinales de las muestras, para evaluar la estructura y el tamaño de grano. En la Tabla 5, se presentan los tamaños de grano según norma IRAM IAS U 500-122 determinados para cada muestra, en ambos esquemas de laminado.

Tabla 5. Tamaño de grano de cada muestra, para ambas configuraciones, determinados según IRAM IAS U 500-122.

Calibración	Muestra	Tamaño de grano N° ASTM
Cajón – Cajón	Tocho 1 Medio	7 - 8
	Tocho 1 Punta	7 - 8
	Tocho 2 Medio	7 - 8
	Tocho 2 Punta	8 - 9
	Tocho 3 Medio	8 - 9
	Tocho 3 Punta	7 - 8
Oval - Redondo	Tocho 1 Medio	7 - 8
	Tocho 1 Punta	7 - 8
	Tocho 2 Medio	7 - 8
	Tocho 2 Punta	7 - 8
	Tocho 3 Medio	7 - 8
	Tocho 3 Punta	7 - 8

En la Figura 5 se presentan las imágenes correspondientes a los cortes longitudinales realizados sobre las varillas laminadas con la nueva configuración oval – redondo. Arriba 64 x (izquierda medio de la varilla, derecha punta de la misma). Abajo: 640 x (izquierda medio de la varilla, derecha punta de la misma).

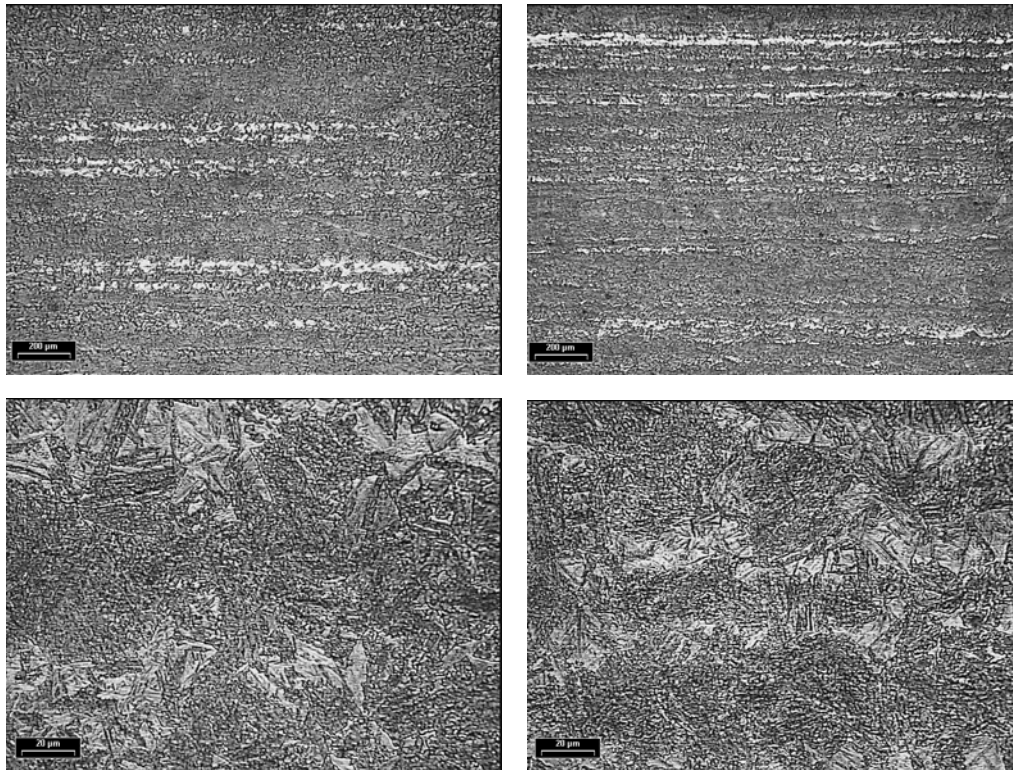


Figura 5. Observaciones de cortes longitudinales sobre varillas laminadas con la configuración oval – redondo. Arriba: 64 X (izquierda medio de la varilla, derecha punta de la misma). Abajo: 640 X (izquierda medio de la varilla, derecha punta de la misma).

Tracciones

Para las tracciones se utilizaron probetas de acuerdo a la norma ASTM A – 370. La máquina de ensayo utilizada es la del laboratorio de Metalmecánica, que tiene una capacidad de 50 toneladas. En la Tabla 6 se presentan los promedios sobre las seis muestras ensayadas de la tensión de fluencia, tensión de rotura, relación entre ambas, alargamiento porcentual y reducción de área, determinados por ensayo de tracción uniaxial.

Tabla 6. Tensión de fluencia, tensión de rotura, relación entre ambas, alargamiento porcentual y reducción de área, promedios de las seis muestras, de ambas configuraciones del tren.

Calibración	Tensión Fluencia (Kg/mm ²)	Tensión Rotura (Kg/mm ²)	Fluencia / Rotura	Alargamiento (%)	Reducción de área (%)
Cajón - Cajón	116,5	127,9	0,91	13,5	44,3
Oval - Redondo	116	126,3	0,92	14,3	46,1

Determinación de durezas

En la Tabla 7, se presentan los resultados de los ensayos de dureza. Los valores corresponden a promedios de las seis varillas y de cinco mediciones en cada una (una en el centro del corte transversal y cuatro en la periferia, en cada cuadrante). Se indica también el rango de desviación R.

Tabla 7. Durezas HRC y desviaciones promedio determinadas para cada calibración

Calibración	Dureza Promedio HRC	Desviación R
Cajón - Cajón	39,2	2
Oval - Redondo	40,4	2,1

Ensayos de Impacto Charpy

Se realizaron ensayos Charpy sobre muestras de los tochos 1 y 2, para ambas configuraciones de laminación, tanto en punta como medio de la varilla 9. Se trabajó con cuatro probetas por muestra, ensayando así a cuatro diferentes temperaturas: -25°C, 0°C, 20°C y 76°C (temperatura próxima a la de servicio de las varillas). Las probetas son de 10 x 10 x 55 mm, con entalla en V de 2 mm, según norma ASTM – A 370. En la Tabla 8 se presentan los resultados de los ensayos, según la norma Internacional ISO 148 (energía nominal de golpe del péndulo 30 Kgm = 294,5 J).

En la Figura 6 se puede observar la evolución de la energía absorbida por la muestra frente al choque a través del ensayo de Charpy y se representan en el gráfico los promedios para cada configuración del tren desbastador.

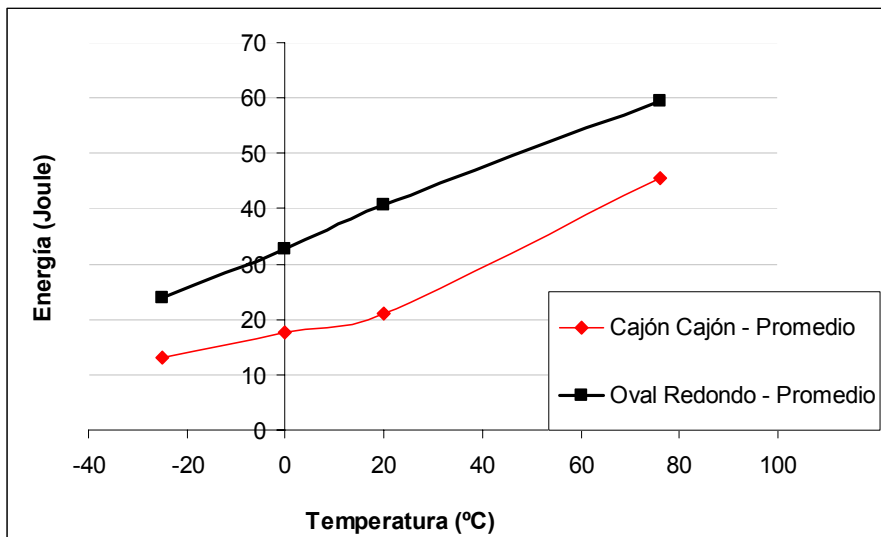


Figura 6. Curvas energía – temperatura, promedios para cada calibración del tren desbastador.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Muestras del desbastador

En base a los macroataques, se pudo comprobar que en los dos casos estudiados (tren soportado con cojinetes o por rodamientos) se presentó una leve porosidad central hasta el paso 2 inclusive. A partir del paso 4, se observó una muy buena compactación de la zona central. Se detectaron buenas distribuciones de la zona columnar en algunos pasos y un desplazamiento de la zona central en otros.

En cuanto a las durezas, entre ambos casos estudiados, no se hallaron diferencias significativas entre pasos.

Por medio de las gammagrafías, se comprueba que en ambas condiciones se verifica que la porosidad original del tocho es eliminada a partir de la mitad de la etapa de desbaste.

Muestras de la varilla final

La estructura observada en microscopio óptico es similar en ambos esquemas de laminado, con un muy leve aumento de la cantidad de bainita inferior o martensita, en el caso de las muestras laminadas con calibrado oval – redondo. El tamaño de grano se mantiene en valores ASTM 7 - 8, para ambos calibrados. Respecto a la estructura de bandas, observada en cortes longitudinales, no se manifiesta una marcada diferencia entre ambas configuraciones, en cuanto a la distribución y espesor de las mismas.

Los valores de resistencia a la tracción que permiten evaluar en parte las propiedades mecánicas del material indican que esta propiedad resulta semejante en el caso de ambas calibraciones.

Se evidencia un muy leve aumento de dureza en la configuración oval – redondo respecto a la configuración cajón – cajón. En el promedio de las probetas ensayadas dicho aumento es de 1 punto. Este aumento no es asociable a la geometría del desbaste sino a las condiciones del plano de enfriamiento, variables al momento de los distintos muestreos.

Con ambas configuraciones, se obtienen muy buenos valores de energía absorbida en rango amplio de temperaturas. En principio la variación entre cajón-cajón y oval redondo no estarían explicadas por el grado de compactación del calibrado sino que son propias de diferencias en velocidades de enfriamiento al momento de muestrear. Debido a que por el tratamiento térmico habrá un cambio importante en la microestructura final, estos ensayos no reflejan las propiedades finales del producto vendido al cliente.

En todas las determinaciones y ensayos realizados, no se evidenciaron diferencias significativas entre las muestras obtenidas del centro y punta de las varillas.

6 CONCLUSIONES

En el estudio de las muestras del desbaste para la calibración cajón – cajón, tanto en el caso del tren soportado por cojinetes fenólicos como sobre rodamientos, no se encontró porosidad central a partir del paso 3 en adelante. Los macroataques sobre la sección transversal y las gammagrafías fueron herramientas útiles para evidenciar las discontinuidades en el centro de cada muestra.

En base al estudio sobre las varillas a la salida del terminador, los ensayos realizados muestran que con ambas configuraciones se mantendrían las condiciones de producto.

REFERENCIAS

- 1 N. Mazini, J. M. Blanco, A. Saenz Lopez y A. Lucaioli, Influencia del plan de pasadas de laminación sobre las propiedades de palanquillas de colada continua, 5º Seminario de Laminación, 1º Sesión, Año 1977, pág 1 a 56.
- 2 P. Morris, S. Ryalls and B. Wade, Optimization of the deformation process for continuously cast billets to provide the most appropriate material properties, Science, Research and Development, pág 1 a 101.
- 3 K. Ushijima, Procesos de trabajado y propiedades resultantes de aceros de colada continua. IAS – Colada continua, Mayo de 1976.
- 4 L. Reda y W. Chiapparoli, Instituto Argentino de Siderurgia, M. Alvarez y A. Martinez, SIPSA. Análisis del grado de compactación en las pasadas del

desbastador trío reversible para el grado 4330 (1° informe). Informe Interno IAS, Agosto de 2006.

- 5 L. Reda y W. Chiapparoli, Instituto Argentino de Siderurgia, M. Alvarez y A. Martinez, SIPSA. Análisis del grado de compactación en las pasadas del desbastador trío reversible para el grado 4330 (2° informe). Informe Interno IAS, Noviembre de 2006.
- 6 L. Reda y W. Chiapparoli, Instituto Argentino de Siderurgia, A. Cecilia y A. Martinez, SIPSA, M. Pereyra, METALMECANICA. Validación de la nueva calibración del tren desbastador para la laminación de barras de acero SAE 4330.