

ESTUDIO DE LA MACROTEXTURA EN BARRAS DE LATÓN OBTENIDAS POR COLADA CONTINUA Y EXTRUSIÓN-TREFILACIÓN MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

R. Mannheim ⁽¹⁾, J. Garin ⁽¹⁾ y F. Gutiérrez ⁽¹⁾.

(1) Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería Metalúrgica
Casilla Postal 10233, Santiago, Chile.

rodolfo.mannheim@usach.cl

RESUMEN

Dado la alta demanda de barras de Latón UNS C37700 para la fabricación de válvulas de gas por forja y al elevado costo de las materias primas, principalmente cobre, se ha estudiado reemplazar las barras obtenidas por extrusión-trefilado por barras de colada continua, la cual tiene un menor costo de fabricación, ya que se excluye la extrusión.

Las barras de colada continua poseen un crecimiento dendrítico, donde se aprecian granos columnares desde 3 mm de la orilla hasta el centro, además se aprecia un crecimiento de granos equiaxiales en la periferia de las barras, poseen valores de 366 Mpa para esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia de 155 Mpa y 22% de alargamiento (este presenta fractura fuera de marcas, 50 mm). La barra de extrusión-trefilado posee una macroestructura fina y con muy baja segregación, con valores de 410 Mpa para esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia de 200 Mpa y 30% de alargamiento.

En cuanto a su macroestructura, la barra de colada continua presenta en todas sus direcciones un elevado grado de heterogeneidad, en cambio la barra de extrusión-trefilado presenta una variación en los cortes de 45 y 60°, en donde observamos granos de fase alfa del tipo Widmanstätten.

La presente investigación se orienta a un análisis cualitativo de macrotextura entre barras de latón de 29 mm de diámetro para la fabricación de válvulas de gas mediante barras de colada continua y extrusión-trefilado. Mediante difracción de rayos X, con un difractómetro Siemens D5000 equipado con un monocromador de grafito para el haz difractado y radiación K-alfa de cobre, se procede a evaluar las barras en cortes de 45, 60, 90 y 180° con respecto a la dirección de extrusión o dirección de colada. Se realiza un barrido rápido desde los ángulos 2θ correspondientes a 25 hasta 100°, luego sobre los planos de difracción se realiza un barrido lento para cada fase α y β para obtener un valor más cuantitativo de las intensidades. Posteriormente con el uso del programa Lazy-Pulverix se obtienen las intensidades teóricas y de los difractogramas se obtienen las intensidades experimentales, con las cuales se calcula el coeficiente de texturización por plano y fase presente. Cuando el grado de texturización es igual a 1 se dice que el plano no se encuentra texturizado, por el contrario si el valor de este es mayor o menor que 1, se dice que se encuentra texturizado.

En cuanto a los valores de macrotextura podemos agregar que todas las barras se encuentran texturizadas, debido a que presentan valores distintos a 1, en su cociente de texturización para los planos difractados. Las barras de extrusión-trefilación se encuentran más texturizadas independientes del ángulo del corte, ya que poseen valores más alejados a la unidad, en comparación a las barras de colada continua que están más próximas a uno. La fase beta presenta varios máximos de difracción que no se detectaron, debido principalmente a su orientación preferencial con respecto al ángulo de difracción, se orienta paralelo al ángulo de difracción, por lo que podríamos a priori decir que esta fase se encuentra más texturada que la fase alfa, tanto en las barras de colada como en las barras extrusión-trefilación.

Tópico 2: Materiales Metálicos

Palabras clave: Latón α/β , Macrotextura, Forja, Extrusión.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando un metal policristalino se deforma plásticamente, se modifican las orientaciones de la red, tomando orientaciones preferenciales, en las que ciertas direcciones se alinean con las direcciones principales de flujo plástico del metal (1). Las texturas en las proximidades de la superficie de los metales colados son parecidas a las de deformación, porque hay una dirección cristalina de índices bajos, perpendicular a la superficie y los otros ejes cristalográficos se orientan al azar alrededor de éste. A través de difracción de rayos X es posible determinar los ángulos en que difractan ciertos planos. A través de un difractograma es posible obtener las intensidades experimentales de cada fase, en su ángulo correspondiente, las que son comparadas entre sí, de acuerdo a las intensidades teóricas de las mismas fases en el mismo ángulo.

$$K_{\text{exp}} = \frac{I_{\theta 1}}{I_{\theta 2}} \quad \text{EC. 1}$$

$$K_{\text{teorico}} = \frac{I_{\theta 1}}{I_{\theta 2}} \quad \text{EC. 2}$$

Así a partir del cociente entre las intensidades experimentales y teóricas se determina el grado de texturización que presente el latón, teniendo en cuenta que el valor de cociente igual a 1, indica que no hubo texturización del latón.

$$T_{\text{exp}} = \frac{K_{\text{experimental}}}{K_{\text{teórico}}} \quad \text{EC.3}$$

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se cortan y preparan muestras de las barras de latón para análisis mediante difracción de rayos X, se preparan en forma idéntica a las probetas para examinación microestructural y se atacan muy suavemente. En las barras de latón se realiza el ensayo sobre cortes en 45, 60, 90 y 180°, ver figura 1. Para la identificación de las fases presentes y grado de macrotextura en las barras de latón, se hizo uso de la técnica de difracción de rayos X, utilizando un Difractómetro Siemens D5000, equipado con un monocromador de grafito para el haz difractado, radiación K-alfa de cobre. El equipo de difracción entrega un difractograma con los ángulos de difracción y los pick de las intensidades experimentales de las fases presentes en la muestra respectiva, estas se comparan con los patrones teóricos que entrega el programa Power Difracción File PDF-2 VERSIÓN 2001 y se determina las fases que coinciden con los picks experimentales de los ángulos de difracción. Se realiza un barrido rápido desde los ángulos 2θ correspondientes a 25 hasta 100°, luego sobre los planos de difracción se realiza un barrido lento para cada fase α y β para obtener un valor más cuantitativo de las intensidades.

Luego con la ecuación 2 se obtienen las intensidades teóricas, con la ecuación 1 se obtienen las intensidades experimentales y finalmente estos valores son divididos en la ecuación 3, desde donde se obtiene el grado de texturización por dirección y fase presente. Cuando el grado de texturización es igual a 1 se dice que el plano no se encuentra texturizado, por el contrario si el valor de este es mayor o menor que 1, se dice que se encuentra texturizado. La tabla 1 y 2 muestran las intensidades teóricas para las fases presentes, alfa y beta ordenada respectivamente.

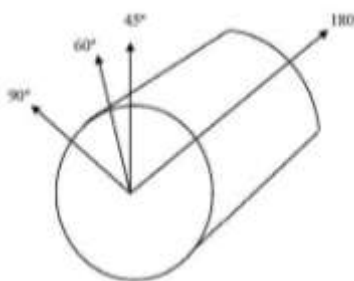


Figura 1 Direcciones para evaluación de macrotexturas por DRX.

Tabla 1 Valores teóricos de intensidades y cuocientes para fase alfa en latones CuZn40.

Relación ángulos	2θ	h	k	l	Intensidad teórica	Cuociente de Intensidades teóricas	$K_{\alpha x}$, intensidades teóricas
01	42,32	1	1	1	1000	-	-
02	49,28	2	0	0	467	$K_{\alpha 1}=01/02$	2,1413
03	72,24	2	2	0	259,1	$K_{\alpha 2}=01/03$	3,8595
04	87,46	2	1	1	293,8	$K_{\alpha 3}=01/04$	3,4037
05	92,42	2	2	2	86,3	$K_{\alpha 4}=01/05$	11,5875

Tabla 2 Valores teóricos de intensidades y cuocientes para fase beta ordenada en latones CuZn40.

Relación ángulos	2θ	h	k	l	Intensidad teórica	Cuociente de Intensidades teóricas	$K_{\beta x}$, intensidades teóricas
01	43,51	1	1	0	1000	-	-
02	53,87	1	1	1	5,4	$K_{\beta 1}=01/02$	185,1852
03	63,08	2	0	0	147,8	$K_{\beta 2}=01/03$	6,7659
04	71,54	2	1	0	5,5	$K_{\beta 3}=01/04$	181,8182
05	79,72	2	1	1	274,1	$K_{\beta 4}=01/05$	3,6483
06	95,45	2	2	0	87,6	$K_{\beta 5}=01/06$	11,4155

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La medición de la macrotextura en las barras se lleva a cabo en los cortes mostrados en la figura 1. Las barras de colada continua poseen granos columnares desde 3 mm de la orilla hasta el centro, además se aprecia un crecimiento de granos equiaxiales en la periferia de las barras, poseen valores de 366 Mpa para esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia de 155 Mpa y 22% de alargamiento (este presenta fractura fuera de marcas, 50 mm). La barra de extrusión-trefilado posee una macroestructura fina y con muy baja segregación, con valores de 410 Mpa para esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia de 200 Mpa y 30% de alargamiento (2).

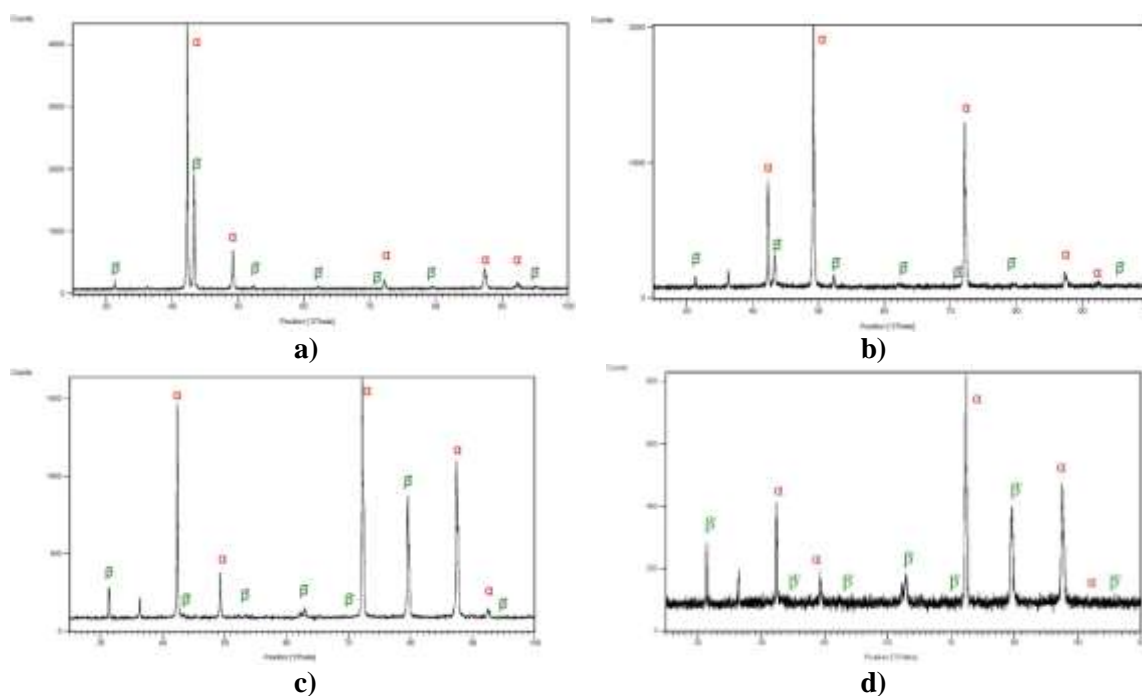


Figura 2 Difractograma barra colada continua a) corte 45°, b) corte 60°, c) corte 90° y d) corte 180°.

En los difractogramas de la figura 2 se observan las fases presente alfa y beta, se desprecia el Pb. Se puede apreciar que todas los planos de la fase alfa difractan, al contrario, en la fase beta, solo difractan algunos planos. Este fenómeno se debe a que la fase beta esta extremadamente texturizada. El ángulo en corte 60° solo presenta un ángulo de difracción, el plano más denso 1 1 1, por tanto este corte presenta el mayor índice de texturización para la fase beta.

Tabla 3 Valores de texturización en fase alfa por planos, barra colada continua en corte 45°.

20 relacionados	h k l	$K_{\alpha X}$, intensidades teóricas	$K_{\alpha X}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización α
42,32	1 1 1	2,1413	5,1306	2,40
49,28	2 0 0			
42,32	1 1 1	3,8595	21,7224	5,63
72,24	2 2 0			
42,32	1 1 1	3,4037	4,9941	1,47
87,46	2 1 1			
42,32	1 1 1	11,5875	19,0644	1,64
92,42	2 2 2			

Tabla 4 Valores de texturización en fase beta por planos, barra colada continua en corte 45°.

20 relacionados	h k l	$K_{\beta X}$, intensidades teóricas	$K_{\beta X}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización β
43,51	1 1 0	185,1852	350,1880	1,89
53,87	1 1 1			
43,51	1 1 0	6,7659	-	No presenta picks
63,08	2 0 0			
43,51	1 1 0	181,8182	-	No presenta picks
71,54	2 1 0			
43,51	1 1 0	3,6483	12,2304	3,35
79,72	2 1 1			
43,51	1 1 0	11,4155	125,5013	10,99
95,45	2 2 0			

Tabla 5 Valores de texturización en fase alfa por planos, barra colada continua en corte 60°.

20 relacionados	h	k	l	$K_{\alpha x}$, intensidades teóricas	$K_{\alpha x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización α
42,32	1	1	1	2,1413	1,0764	0,50
49,28	2	0	0			
42,32	1	1	1	3,8595	0,8517	0,22
72,24	2	2	0			
42,32	1	1	1	3,4037	0,6501	0,19
87,46	2	1	1			
42,32	1	1	1	11,5875	17,3292	1,50
92,42	2	2	2			

Tabla 6 Valores de texturización en fase beta por planos, barra colada continua en corte 60°.

20 relacionados	h	k	l	$K_{\beta x}$, intensidades teóricas	$K_{\beta x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización β
43,51	1	1	0	185,1852	1,8718	0,010
53,87	1	1	1			
43,51	1	1	0	6,7659	-	No presenta picks
63,08	2	0	0			
43,51	1	1	0	181,8182	-	No presenta picks
71,54	2	1	0			
43,51	1	1	0	3,6483	-	No presenta picks
79,72	2	1	1			
43,51	1	1	0	11,4155	-	No presenta picks
95,45	2	2	0			

Tabla 7 Valores de texturización en fase alfa por planos, barra colada continua en corte 90°.

20 relacionados	h	k	l	$K_{\alpha x}$, intensidades teóricas	$K_{\alpha x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización α
42,32	1	1	1	2,1413	1,5992	0,75
49,28	2	0	0			
42,32	1	1	1	3,8595	0,6293	0,16
72,24	2	2	0			
42,32	1	1	1	3,4037	3,0956	0,91
87,46	2	1	1			
42,32	1	1	1	11,5875	2,7113	0,23
92,42	2	2	2			

Tabla 8 Valores de texturización en fase beta por planos, barra colada continua en corte 90°.

20 relacionados	h	k	l	$K_{\beta x}$, intensidades teóricas	$K_{\beta x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización β
43,51	1	1	0	185,1852	-	No presenta picks
53,87	1	1	1			
43,51	1	1	0	6,7659	37,1246	5,49
63,08	2	0	0			
43,51	1	1	0	181,8182	-	No presenta picks
71,54	2	1	0			
43,51	1	1	0	3,6483	8,1331	2,23
79,72	2	1	1			
43,51	1	1	0	11,4155	-	No presenta picks
95,45	2	2	0			

Tabla 9 Valores de texturización en fase alfa por planos, barra colada continua en corte 180°.

20 relacionados	h	k	l	$K_{\alpha x}$, intensidades teóricas	$K_{\alpha x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización α
42,32	1	1	1	2,1413	2,9647	1,38
49,28	2	0	0			
42,32	1	1	1	3,8595	2,2838	0,59
72,24	2	2	0			
42,32	1	1	1	3,4037	5,4656	1,61
87,46	2	1	1			
42,32	1	1	1	11,5875	-	No presenta picks
92,42	2	2	2			

Tabla 10 Valores de texturización en fase beta por planos, barra colada continua en corte 180°.

2θ relacionados	h	k	l	$K_{\beta x}$, intensidades teóricas	$K_{\beta x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización β
43,51 53,87	1	1	0	185,1852	-	No presenta picks
43,51 63,08	1	1	0	6,7659	10,1855	1,51
43,51 71,54	1	1	0	181,8182	-	No presenta picks
43,51 79,72	1	1	0	3,6483	2,4892	0,68
43,51 95,45	1	1	0	11,4155	-	No presenta picks
	2	2	0			

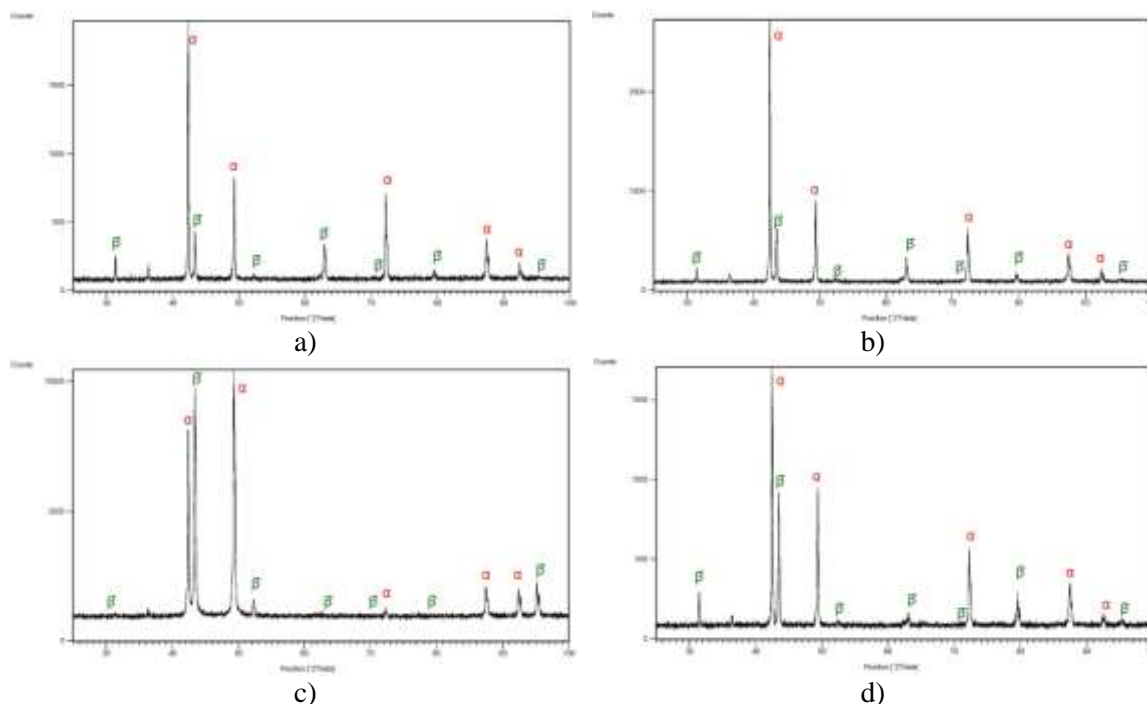


Figura 3 Difractograma barra extrusión a) corte 45°, b) corte 60°, c) corte 90° y d) corte 180°.

En los difractogramas de la figura 3 se observan las fases presente alfa y beta. Se puede apreciar que todas los planos de la fase alfa difractan, al contrario, en la fase beta, solo difractan algunos planos. El ángulo en corte 60 y 90° solo presenta dos ángulo de difracción, por tanto estos cortes presenta el mayor índice de texturización para la fase beta.

Tabla 11 Valores de texturización en fase alfa por planos, barra extrusión directa en corte 45°.

2θ relacionados	h	k	l	$K_{\alpha x}$, intensidades teóricas	$K_{\alpha x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización α
42,32 49,28	1	1	1	2,1413	2,1692	1,01
42,32 72,24	1	1	1	3,8595	2,0959	0,54
42,32 87,46	1	1	1	3,4037	3,6164	1,06
42,32 92,42	1	1	1	11,5875	12,5412	1,09
	2	2	2			

Tabla 12 Valores de texturización en fase beta por planos, barra extrusión directa en corte 45°.

20 relacionados	h	k	l	$K_{\beta x}$, intensidades teóricas	$K_{\beta x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización β
43,51	1	1	0	185,1852	3,8649	0,02
53,87	1	1	1			
43,51	1	1	0	6,7659	0,2716	0,04
63,08	2	0	0			
43,51	1	1	0	181,8182	-	No presenta picks
71,54	2	1	0			
43,51	1	1	0	3,6483	0,3881	0,11
79,72	2	1	1			
43,51	1	1	0	11,4155	3,8617	0,34
95,45	2	2	0			

Tabla 13 Valores de texturización en fase alfa por planos, barra extrusión directa en corte 60°.

20 relacionados	h	k	l	$K_{\alpha x}$, intensidades teóricas	$K_{\alpha x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización α
42,32	1	1	1	2,1413	2,6374	1,23
49,28	2	0	0			
42,32	1	1	1	3,8595	2,9918	0,78
72,24	2	2	0			
42,32	1	1	1	3,4037	4,7858	1,41
87,46	2	1	1			
42,32	1	1	1	11,5875	13,7622	1,19
92,42	2	2	2			

Tabla 14 Valores de texturización en fase beta por planos, barra extrusión directa en corte 60°.

20 relacionados	h	k	l	$K_{\beta x}$, intensidades teóricas	$K_{\beta x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización β
43,51	1	1	0	185,1852	-	No presenta picks
53,87	1	1	1			
43,51	1	1	0	6,7659	0,6402	0,09
63,08	2	0	0			
43,51	1	1	0	181,8182	-	No presenta picks
71,54	2	1	0			
43,51	1	1	0	3,6483	3,4596	0,96
79,72	2	1	1			
43,51	1	1	0	11,4155	-	No presenta picks
95,45	2	2	0			

Tabla 15 Valores de texturización en fase alfa por planos, barra extrusión directa en corte 90°

20 relacionados	h	k	l	$K_{\alpha x}$, intensidades teóricas	$K_{\alpha x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización α
42,32	1	1	1	2,1413	0,5138	0,24
49,28	2	0	0			
42,32	1	1	1	3,8595	13,7987	3,58
72,24	2	2	0			
42,32	1	1	1	3,4037	10,7914	3,17
87,46	2	1	1			
42,32	1	1	1	11,5875	10,3381	0,89
92,42	2	2	2			

Tabla 16 Valores de texturización en fase beta por planos, barra extrusión directa en corte 90°

20 relacionados	h	k	l	$K_{\beta x}$, intensidades teóricas	$K_{\beta x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización β
43,51	1	1	0	185,1852	2,9995	0,016
53,87	1	1	1			
43,51	1	1	0	6,7659	-	No presenta picks
63,08	2	0	0			
43,51	1	1	0	181,8182	-	No presenta picks
71,54	2	1	0			
43,51	1	1	0	3,6483	-	No presenta picks
79,72	2	1	1			
43,51	1	1	0	11,4155	12,1427	1,06
95,45	2	2	0			

Tabla 17 Valores de texturización en fase alfa por planos, barra extrusión directa en corte 180°

20 relacionados	h	k	l	$K_{\alpha x}$, intensidades teóricas	$K_{\alpha x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización α
42,32	1	1	1	2,1413	1,5451	0,72
49,28	2	0	0			
42,32	1	1	1	3,8595	2,1215	0,55
72,24	2	2	0			
42,32	1	1	1	3,4037	2,8732	0,84
87,46	2	1	1			
42,32	1	1	1	11,5875	11,7579	1,01
92,42	2	2	2			

Tabla 18 Valores de texturización en fase beta por planos, barra extrusión directa en corte 180°

20 relacionados	h	k	l	$K_{\beta x}$, intensidades teóricas	$K_{\beta x}$, intensidades experimentales	Cuociente de texturización β
43,51	1	1	0	185,1852	-	No presenta picks
53,87	1	1	1			
43,51	1	1	0	6,7659	1,9966	0,30
63,08	2	0	0			
43,51	1	1	0	181,8182	-	No presenta picks
71,54	2	1	0			
43,51	1	1	0	3,6483	3,0480	0,84
79,72	2	1	1			
43,51	1	1	0	11,4155	38,1618	3,34
95,45	2	2	0			

4. CONCLUSIONES

- En cuanto a valores de macrotextura podemos agregar que todas las barras se encuentran texturadas, debido a que presentan valores distintos de un 1 en su cuociente de texturización para los planos difractados. La fase beta presenta varios ángulos de difracción que no difractan, debido principalmente a su orientación preferencial con respecto al ángulo de difracción, se orienta paralelo al ángulo de difracción, por lo que podríamos a priori decir que esta fase se encuentra más texturada que la fase alfa.
- De acuerdo a los resultados de cuociente de texturización, en donde los planos no presentan difracción, los cortes más texturizados en ambas barras pertenecen a 60 y 90° para la fase beta.
- Según los cuocientes de texturización la barra de colada continua presenta un texturización menor comparada con la barra de extrusión-trefilación debido a sus valores más próximos a la unidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad de Santiago de Chile (USACH) y al Fondo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (FONDECYT), Proyecto N° 1070203, por el apoyo institucional y financiero otorgado para la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

1. B.D.Cullity, Elements of X-ray diffraction, Addison-Wesley, 1978.
2. F.Gutiérrez, "Estudio Comparativo de Barras Latón obtenidas por Colada Continua, Extrusión Directa y Extrusión Indirecta, para la Fabricación de Válvulas de Gas de 5L", Tesis, Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Metalurgia, 2009.