

UTILIZACIÓN DE SIZING MILL EN LAMINACIÓN DE BARRAS HEXAGONALES¹

Ricardo Daniel Russo²

Resumen

Se plantea como objetivo principal del trabajo disminuir la generación de chatarra por defectos dimensionales en la laminación de hexágonos. Un segundo objetivo es disminuir complejidad en la configuración del tren. En resumen se buscó la menor complejidad de configuración asociada a lograr calibrados robustos. Para el desarrollo de este proyecto fue utilizado el método PDCA. En la etapa planeamiento, durante el análisis del proceso fue necesaria la aplicación de conocimientos técnicos de procesos de laminación, principalmente de calibración. Resultados alcanzados: Diseño e implementación de calibración de hexágonos utilizando el *sizing mill*. Disminución notable del % de chatarra por defectos dimensionales: Año 2009 - 6,4%; Año 2010 - 2,5%; enero a junio 2011 - 1,05%. Simplificación de la configuración del tren (eliminación de 14 canales en Desbaste e Intermedio quedando sólo "línea única"). Un último resultado muy importante fue la mejora notable dimensional del producto final que despachamos.

Palabras clave: *Sizing mill*; Calibración; Defecto dimensional; Menor complejidad.

USE OF SIZING MILL DURING HEXAGONAL BARS ROLLING PROCESS

Abstract

The main goal of this project is to diminish scrap generation owing to dimensional defects during hexagonal bars rolling process. A second goal is to diminish the complexity of the rolling mill configuration. To sum up, the project was aimed at achieving the less complex configuration associated to the possibility of achieving big calibrations. This project was developed as per the PDCA method. In order to carry out process analysis during the Plan Stage, technical knowledge and background on rolling process, especially on calibrations, were required. Results achieved: Design and implementation of hexagonal bars calibration using Sizing Mill. Remarkable reduction in the percentage of scrap generation owing to dimensional defects: Year 2009: 6.4%; Year 2010: 2.5%; January-June 2011: 1.05%. Simplification of rolling mill configuration (Elimination of 14 grooves in Roughing and Intermediate Mill, thus achieving a "unique line"). A last major result was the remarkable improvement in the dimensional quality of the final product we deliver.

Key words: Sizing mill; Roll pass design; Dimensional defect; Lower complexity.

¹ Trabajo a ser presentado en el 48º Seminario de Laminación – Procesos, Productos Laminados y Revestidos, 24 al 27 de octubre de 2011, Santos, SP, Brasil.

² Ingeniero de Proceso Laminación VC – Acindar Grupo ArcelorMittal).

1 INTRODUCCIÓN

El tren laminador SBQ de Acindar comenzó su producción en diciembre 2007. Todo el diseño de pases (calibración) para el conformado de la palanquilla en los distintos productos finales fue determinado por el proveedor del equipamiento. El tren cuenta con calibrados de 93 medidas:

- alambrones: 21 medidas;
- barras redondas: 52 medidas;
- barras hexagonales: 17 medidas;
- barras cuadradas: 3 medidas; y
- total: 93 medidas.

Las 17 medidas hexagonales van desde hexágono 18 mm a 42,8 mm.

Tanto en la línea de laminación de barras como en la de alambón el laminador cuenta con blocks acabadores calibradores (*reducing and sizing mill*). Estos blocks eran utilizados sólo en la laminación de redondos.

En el caso de la calibración original de hexágonos el tren desbaste o intermedio (según el caso) alimenta un *feeder* redondo al block terminador, utilizando sólo las dos primeras pasadas (*reducing mill*). La secuencia acabadora es:

redondo (feeder) - ovalo hexagonal – hexágono final

En 10 de los calibrados originales se comparten los *feeders* con las calibraciones de barras redondas (mismo desbaste en intermedio).

En 6 de los mismos se utiliza *feeders* exclusivos para los hexágonos, teniendo 1 canal más en los std 5 a 16 (12 canales más).

En la medida Hexagonal restante se utiliza 1 canal más aun en los std 9 y 10 (dos canales más).

En resumen para laminar todas las medidas hexagonales en el tren de desbaste e intermedio se tienen 14 canales exclusivos.

Por otro lado las diferentes laminaciones nos demostraron que el diseño de calibración de estos productos no era robusto, teniendo elevado valor de chatarra por defectos dimensionales en el producto final.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este proyecto fue utilizado el método PDCA. En la etapa planeamiento, durante el análisis del proceso fue necesaria la aplicación de conocimientos técnicos de procesos de laminación, principalmente de calibración.

2.1 Método PDCA

Éste método consiste, básicamente, en cuatro etapas: planeamiento, ejecución, verificación de los resultados y acción.

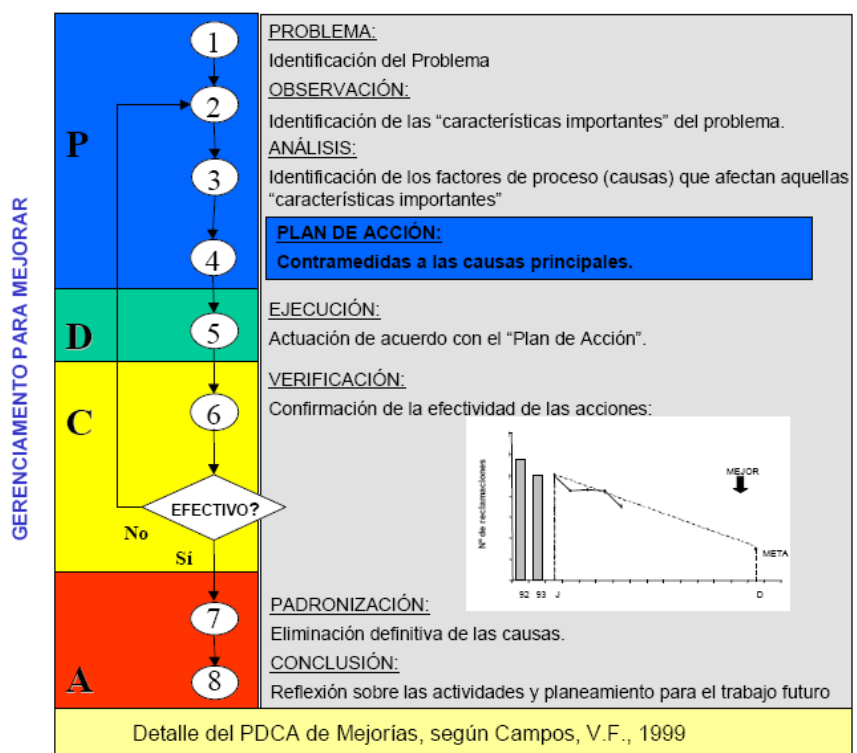


Figura 1. Detalle del Ciclo PDCA.⁽¹⁾

2.1.1 Planeamiento

En esta etapa se realiza toda la planificación del proyecto, con el objetivo final de alcanzar los resultados deseados, es decir, solucionar efectivamente el problema en estudio.

Está compuesta de cuatro sub-etapas, que son:

- identificación del problema;
- análisis del fenómeno;
- análisis del proceso; y
- establecimiento del plan de acción.

2.1.2 Ejecución

La ejecución y acompañamiento del cronograma de todas las acciones propuestas en el Plan de Acción son los objetivos de esta fase.

2.1.3 Verificación de los resultados

En esta etapa, el objetivo es la verificación de la efectividad del Plan de Acción propuesto, por medio del acompañamiento de la(s) meta(s) definida(s).

2.1.4 Acción

En esta fase, las acciones a ser tomadas dependerán de los resultados observados en la Tabla 1.

Tabla 1. Etapa de “Acción” en método PDCA

Resultado	Acción
Meta no alcanzada	Girar nuevamente el PDCA
Meta alcanzada	Estandarización y entrenamiento a los involucrados.

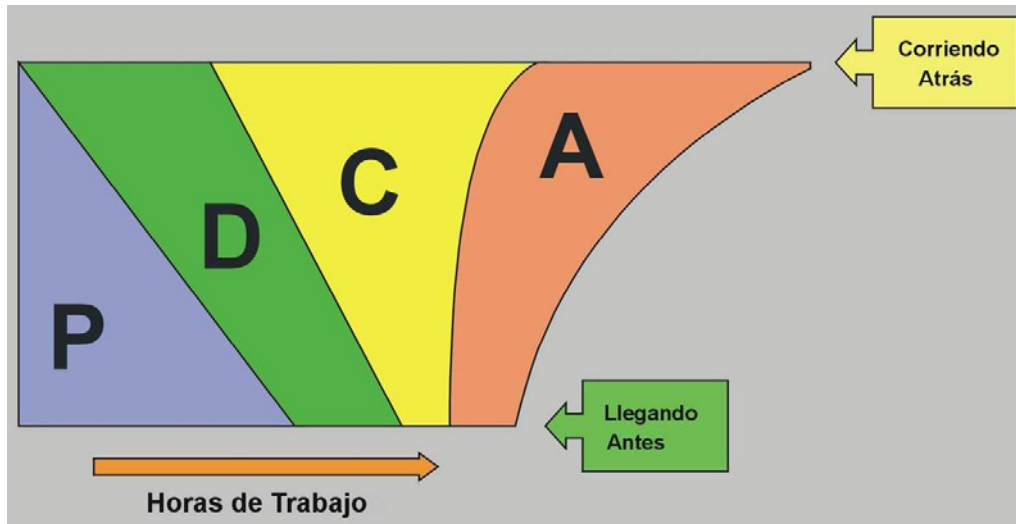


Figura 2. La evolución de la planificación.⁽²⁾

Para resumir (Figura 2), si uno realiza una buena etapa de planeamiento (siguiendo los pasos que sugiere el método) logramos resultados positivos en menor tiempo que si salteáramos la etapa de análisis y nos dedicáramos directamente a ejecutar acciones que no siempre (debido justamente a la falta de análisis) eliminan/disminuyen el problema.

2.2 Conocimientos Técnicos de Laminación

En el análisis del proceso (etapa de planificación) para la redefinición del árbol de calibración de los hexágonos, diseño de canales, cálculos de ensanchamientos y esfuerzos y todo lo ligado al diseño de los nuevos calibrados fueron de gran utilidad los siguientes materiales:

- cursos de proceso de laminación, defectos en productos largos y calibración de barras, dictados por Roberto Coda;⁽³⁻⁵⁾
- libro de laminación de Hoff – Dahl;⁽⁶⁾ y
- curso laminação a calibração de produtos não planos de aço, de La ABM.⁽⁷⁾

3 RESULTADOS

Los resultados alcanzados son los siguientes:

- se diseñó e implementó la calibración de hexágonos utilizando el *sizing mil*;

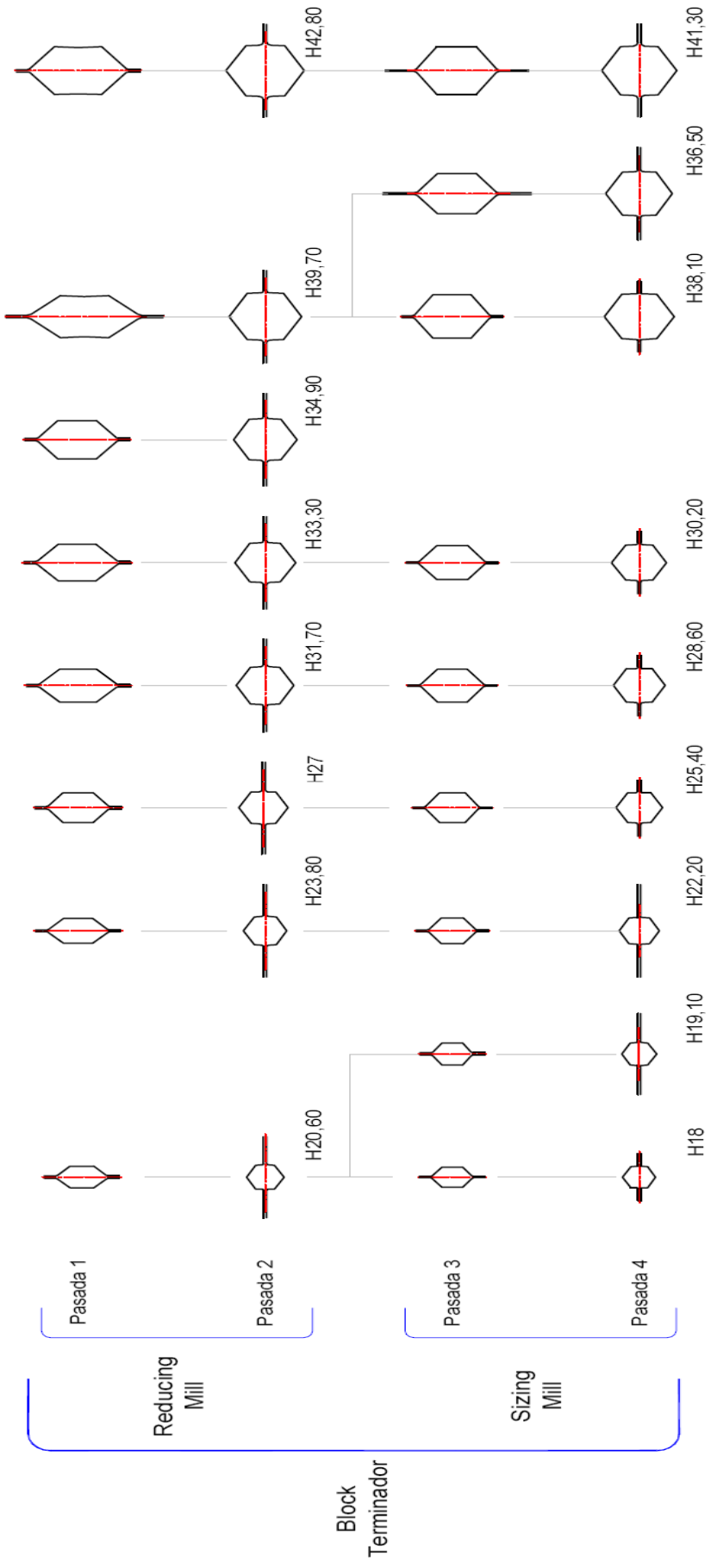


Figura 3. Trazado final laminación de hexágonos.

- el % de chatarra por defectos dimensionales mostró una mejora sustancial. El histórico de chatarra por defectos dimensionales del Año 2009 es de 6,4%. En el 2010 ya se ve una mejoría dado a la implementación de algunas de las reformas en los calibrados, con un valor de 2,47%. El indicador para este año sigue mejorando, teniendo un acumulado enero a junio 2011 de 1,01%;

Chatarra Dimensional Barras Hexagonales - TREN SBQ

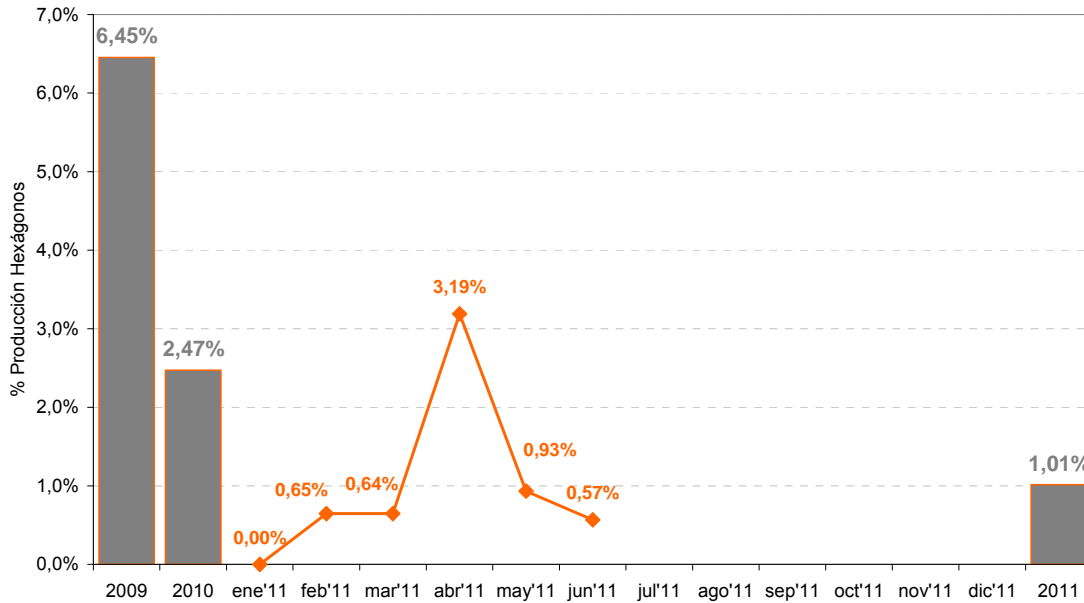


Figura 4. Grafico de evolución de chatarra por defectos dimensionales en barras hexagonales.

- disminución de n° de canales: se eliminaron 14 canales en desbaste e intermedio. Con la reforma de calibración de los hexágonos (con el uso del *sizing mill*) se simplificó la configuración del tren, eliminando las 2 "líneas de hexágonos" pasando a laminarse todos los hexágonos con "línea única";

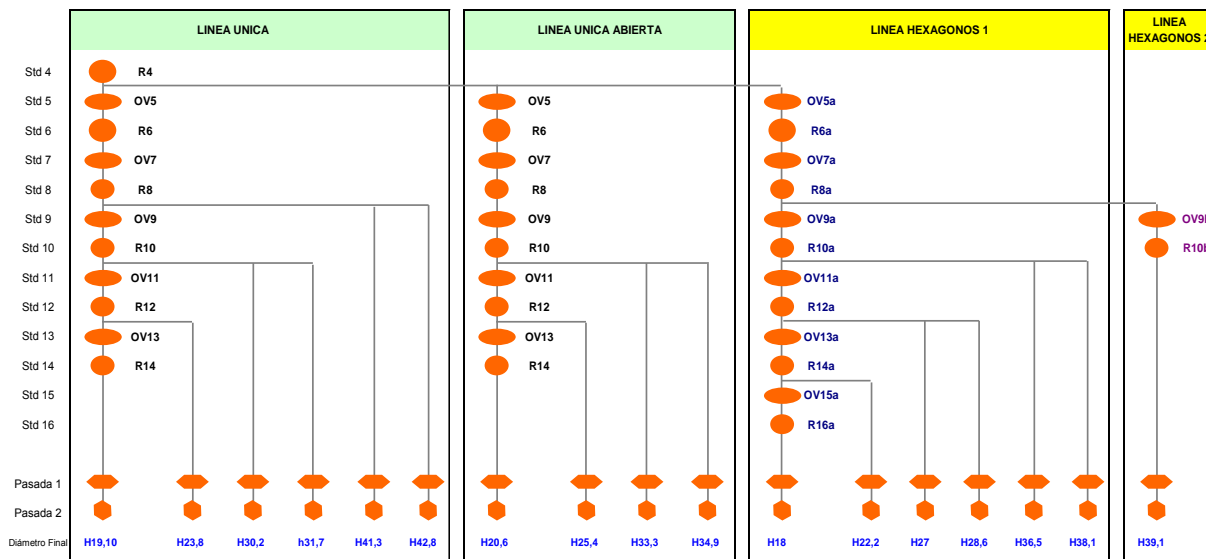


Figura 5. Esquema de configuración tren original para laminación hexágonos.

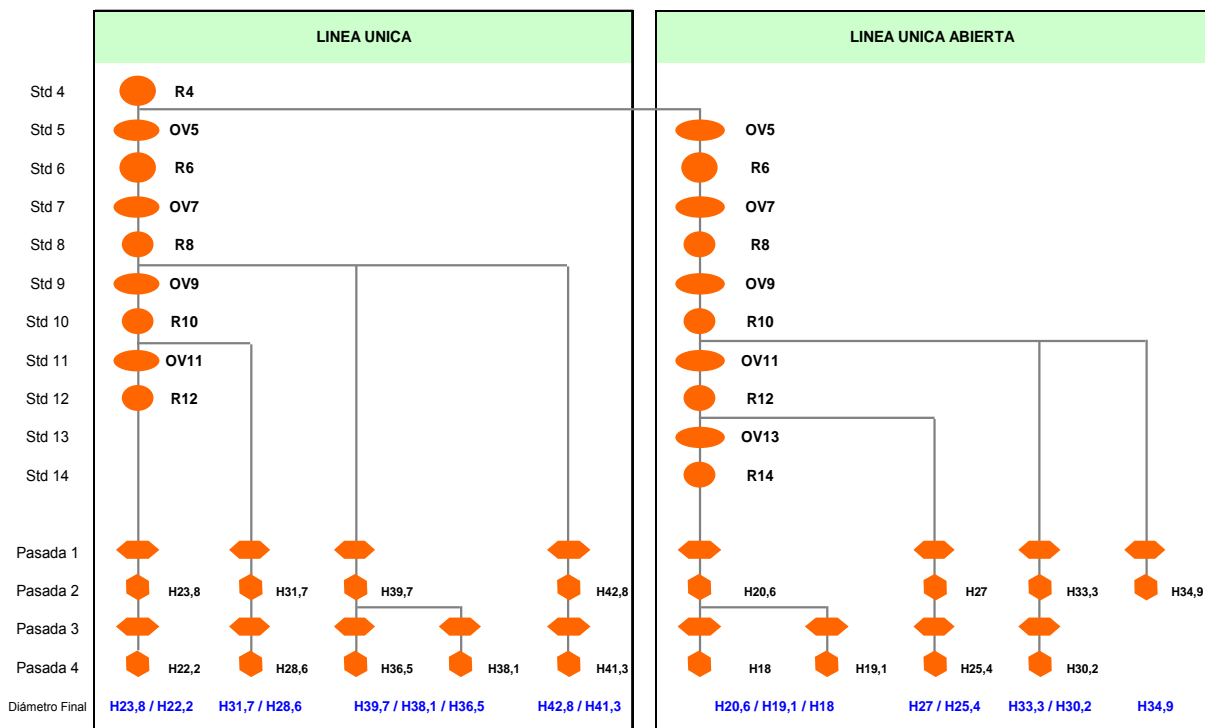


Figura 6. Esquema de configuración tren modificado con utilización del *Sizing Mill* para laminación hexágonos (*Sizing Mill* = pasada 3 y pasada 4 del block acabador de barras).

- notable mejora dimensional del producto laminado hexagonal que fabricamos: mejor conformado de aristas y caras planas.

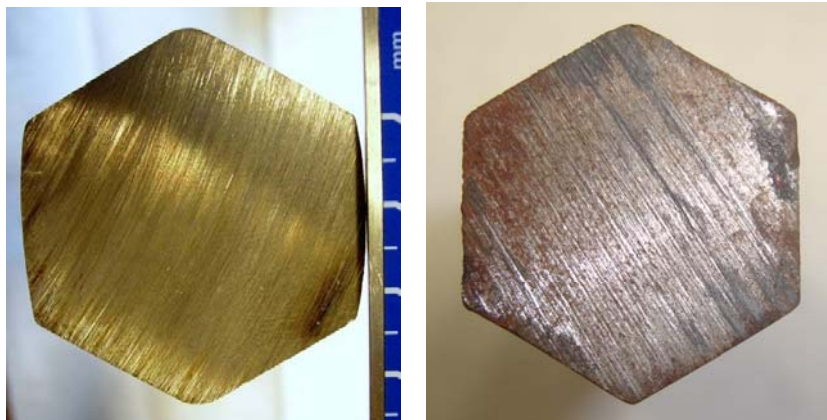


Figura 7. Izquierda: sección hexágono laminado calibrado original. Derecha: sección hexágono laminado calibrado modificado.

4 DISCUSIÓN

La laminación de hexágonos desde los inicios del tren laminador SBQ tuvo problemas de generación de chatarra por defectos dimensionales en el producto final. Además como ya se mencionó para muchas de las medidas finales se tenían canales especiales en Desbaste e Intermedio, lo que implicaba mayor tiempo de cambio de medida, consideraciones adicionales en la programación del laminador y mayor stock de cilindros, entre otros.

Por lo tanto ante la falta de robustez de estos calibrados (producto no con optima calidad) y ante la alta complejidad en la configuración del tren se plantea en el análisis del proceso un estudio integral de la calibración de los hexágonos.

Como primer punto se realiza una matriz de reducciones medias entre los redondos (posibles *feeders*) para línea única de calibración del tren y los hexágonos (producto final), tomando el número de pasadas igual a 2 (Tabla 2).

Tabla 2. Matriz de reducciones medias entre área redondo de línea única vs área hexágonos

Std		16		14		12		10		8		6	
Línea		Unica	Unica Abierta	Unica	Unica Abierta	Unica	Unica Abierta	Unica	Unica Abierta	Unica	Unica Abierta	Unica	Unica Abierta
Hexagono [mm]	Area [mm ²]	346	380	519	572	824	925	1.419	1.590	2.512	2.749	4.542	4.971
18	289		12,9%	25,4%	29,0%	40,8%	44,2%	54,9%	57,4%	66,1%	67,6%	74,8%	75,9%
19,1	325		7,5%	20,9%	24,7%	37,2%	40,7%	52,2%	54,8%	64,0%	65,6%	73,3%	74,4%
20,6	378		0,3%	14,6%	18,7%	32,3%	36,1%	48,4%	51,2%	61,2%	62,9%	71,2%	72,4%
22,2	438			8,1%	12,5%	27,1%	31,2%	44,4%	47,5%	58,2%	60,1%	68,9%	70,3%
23,8	504			1,4%	6,1%	21,8%	26,2%	40,4%	43,7%	55,2%	57,2%	66,7%	68,2%
25,4	574					16,5%	21,2%	36,4%	39,9%	52,2%	54,3%	64,4%	66,0%
27	649					11,2%	16,2%	32,4%	36,1%	49,2%	51,4%	62,2%	63,9%
28,6	728					6,0%	11,3%	28,4%	32,3%	46,2%	48,5%	60,0%	61,7%
30,2	812					0,7%	6,3%	24,3%	28,5%	43,1%	45,6%	57,7%	59,6%
31,7	895						1,7%	20,6%	25,0%	40,3%	42,9%	55,6%	57,6%
33,3	987							16,6%	21,2%	37,3%	40,1%	53,4%	55,4%
34,9	1.085							12,6%	17,4%	34,3%	37,2%	51,1%	53,3%
36,5	1.186							8,6%	13,6%	31,3%	34,3%	48,9%	51,1%
38,1	1.293							4,6%	9,8%	28,3%	31,4%	46,7%	49,0%
39,7	1.403							0,6%	6,1%	25,3%	28,5%	44,4%	46,9%
41,3	1.519								2,3%	22,2%	25,7%	42,2%	44,7%
42,8	1.631									19,4%	23,0%	40,1%	42,7%

En matriz anterior están indicadas aquellas reducciones medias que por experiencia recomendamos para lograr en 2 pasadas laminar de un redondo a un hexágono.

Esto nos da la indicación de cuales hexágonos podemos laminar con los *feeders* del tren laminador de línea unica y línea unica abierta, para no necesitar líneas adicionales en desbaste e intermedio.

Paso seguido se analizó las reducciones medias entre hexágonos calculadas también para 2 pasadas.

Tabla 3. Matriz de reducciones medias entre áreas de hexágonos

Hexagono [mm]	18	19,1	20,6	22,2	23,8	25,4	27	28,6	30,2	31,7	33,3	34,9	36,5	38,1	39,7	41,3	42,8	
	Area [mm ²]	289	325	378	438	504	574	649	728	812	895	987	1.085	1.186	1.293	1.403	1.519	1.631
18	289		5,8%	12,6%	18,9%	24,3%	29,1%	33,3%	37,1%	40,4%	43,2%	45,9%	48,4%	50,7%	52,8%	54,7%	56,4%	57,9%
19,1	325			7,3%	13,9%	19,7%	24,8%	29,3%	33,2%	36,8%	39,8%	42,6%	45,3%	47,7%	49,9%	51,9%	53,8%	55,4%
20,6	378				7,2%	13,4%	18,9%	23,7%	28,0%	31,8%	35,0%	38,1%	41,0%	43,6%	45,9%	48,1%	50,1%	51,9%
22,2	438					6,7%	12,6%	17,8%	22,4%	26,5%	30,0%	33,4%	36,4%	39,2%	41,8%	44,1%	46,3%	48,2%
23,8	504						6,3%	11,9%	16,8%	21,2%	24,9%	28,5%	31,8%	34,8%	37,5%	40,1%	42,4%	44,4%
25,4	574							5,9%	11,2%	15,9%	19,9%	23,7%	27,2%	30,4%	33,3%	36,0%	38,5%	40,7%
27	649								5,6%	10,6%	14,8%	18,9%	22,6%	26,0%	29,1%	32,0%	34,6%	36,9%
28,6	728									5,3%	9,8%	14,1%	18,0%	21,6%	24,9%	28,0%	30,7%	33,2%
30,2	812										4,7%	9,3%	13,5%	17,3%	20,7%	23,9%	26,9%	29,4%
31,7	895											4,8%	9,2%	13,2%	16,8%	20,2%	23,2%	25,9%
33,3	987												4,6%	8,8%	12,6%	16,1%	19,4%	22,2%
34,9	1.085													4,4%	8,4%	12,1%	15,5%	18,5%
36,5	1.186														4,2%	8,1%	11,6%	14,7%
38,1	1.293															4,0%	7,8%	11,0%
39,7	1.403																3,9%	7,2%
41,3	1.519																	3,5%
42,8	1.631																	

En esta última matriz están remarcados aquellas reducciones medias que son factibles de realizar por el *sizing mill*, ya que este equipo está sólo preparado para reducciones muy bajas. La limitación está dada, en el caso de nuestro equipo, por las 4 relaciones de transmisión existentes (cadena cinemática) entre las cajas laminadoras del *sizing mill*, que impactan directamente en el Factor de Reducción o Elongación capaz de realizar la última pasada.

Del análisis de ambas matrices anteriores surge la propuesta de calibración para todos los hexágonos. La misma consiste en laminar algunos de los hexágonos con 2 pasadas de forma en el *reducing mill*, con la secuencia:

redondo (feeder) – ovalo hexagonal – hexágono

Y el resto de los hexágonos con 4 pasadas de forma (montando el *sizing mill*), con la secuencia:

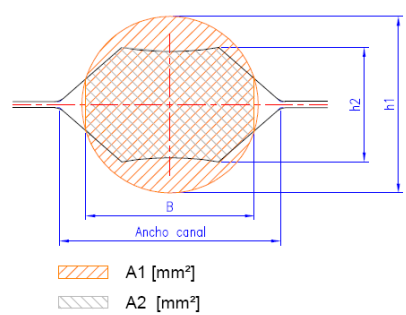
Redondo (feeder) – ovalo hexagonal – hexágono – ovalo hexagonal – hexágono

A partir de aquí el trabajo se orienta al cálculo de cada calibración en particular, la cual consta de las siguientes etapas:

- distribución de reducciones de área (%) entre las pasadas;
- dimensionamiento (diseño) de los canales;
- verificación de ensanchamientos;
- verificación de agarre o mordida;
- verificación y dimensionamiento de guiado; y
- verificación de esfuerzos en las pasadas (seguridad de equipos).

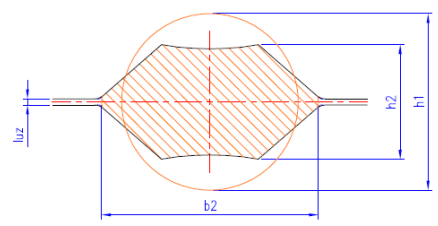
Datos

Ancho de entrada	[mm]	b1
Altura de entrada	[mm]	h1
Altura de salida	[mm]	h2
Ancho común de entrada	[mm]	B
Diámetro de tabla de cil	[mm]	Dt
Luz entre cilindros	[mm]	luz
Area de entrada	[mm ²]	Aent
Area de entrada con ancho común	[mm ²]	A1
Area salida con ancho común	[mm ²]	A2
Temperatura barra	[°C]	T
Material del cilindro		f



Cálculos

Altura media de entrada	[mm]	hm1
Altura media de salida	[mm]	hm2
Reducción de altura	[mm]	Δh
Diámetro de trabajo	[mm]	Dt
Longitud de contacto	[mm]	ld
Coefficiente de fricción	-	μ
Factor de geometría de la pasada	-	m



Verificación del ancho de salida (s/Ecuación de Ekelund)

Ancho calculado	[mm]	b2 calc
-----------------	------	----------------

Figura 8. Esquematación de cálculo de ensanchamiento de pasada óvalo hexagonal utilizando Ecuación de Ekelund – etapa de verificación de ensanchamiento en canal diseñado.

Una vez hecho esto se procedió a realizar las pruebas y posterior estandarización de las calibraciones.

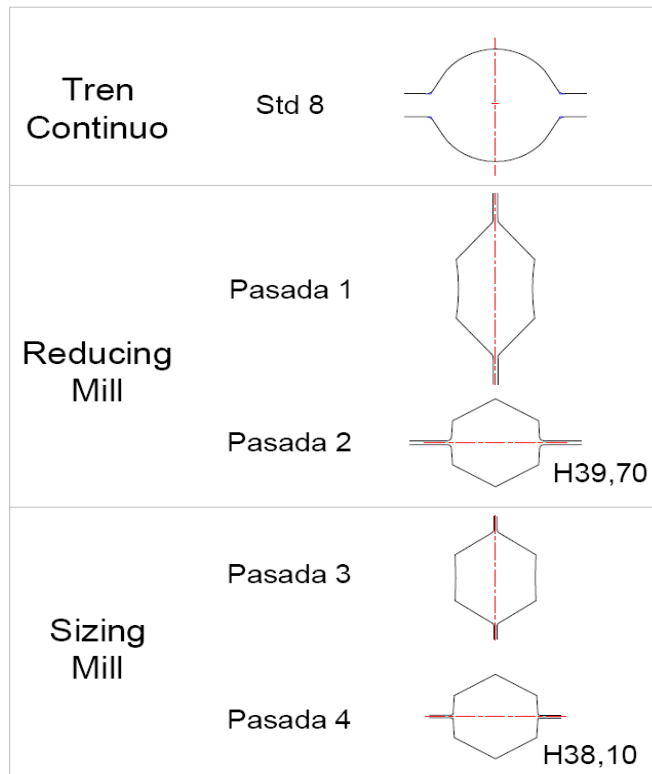


Figura 9. Ejemplo de canales de calibrados probados y estandarizados. Canales finales para laminación de hexágonos 39,70 mm y 38,10 mm – Feeder: redondo std 8.

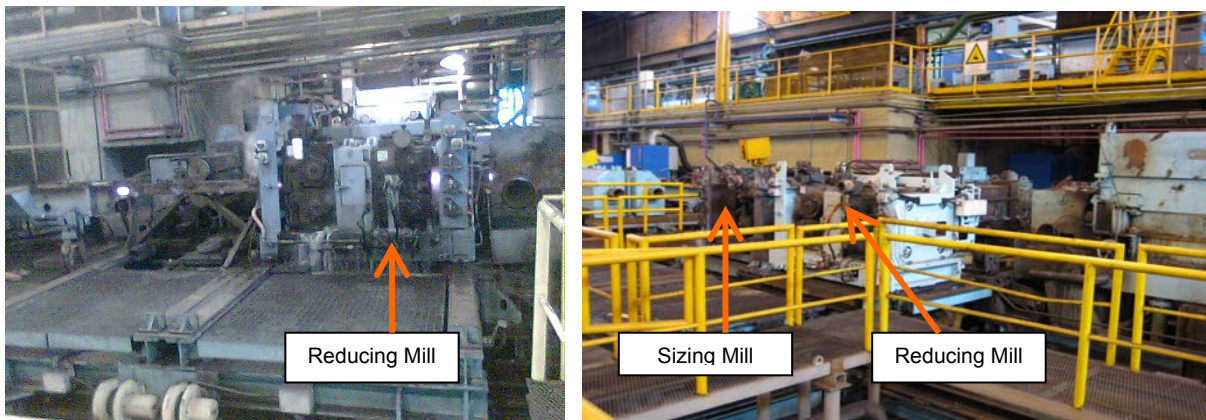


Figura 10. Izquierda: *block* terminador de barras montado sólo el *reducing mill*. Derecha: *block* terminador de barras montado *reducing mill* y *sizing mill*.

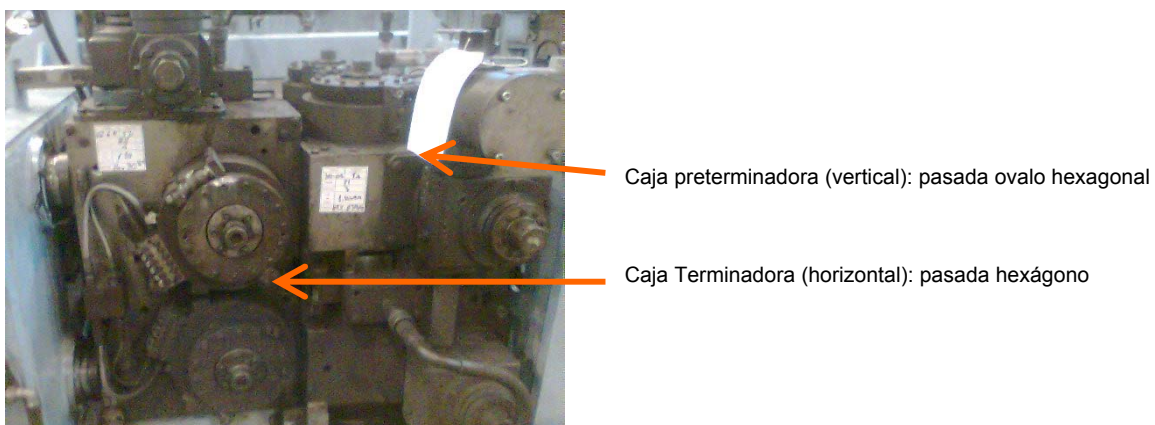


Figura 11. Detalle de *sizing mill* (caja vertical preterminadora y caja horizontal terminadora, ambas muy próximas entre ellas).

5 CONCLUSIÓN

Se obtuvieron buenos resultados con las modificaciones propuestas. Resulta innovador la utilización del *sizing mill* en la laminación de hexágonos. El concepto principal de este trabajo es: aprovechar un calibrado de un producto que sale laminado del *reducing mill* (producto final) que con el agregando del *sizing mill* se obtiene un segundo producto final con muy bajas reducciones. Este segundo producto final es generalmente la medida próxima inferior.

Con la fusión de la metodología y de los conocimientos técnicos existentes estamos en total condiciones de analizar y resolver problemas por más complejos que aparenten. Y fruto de este desarrollo además de los beneficios directos como producto de la mejora lograda, se incrementa el know how de los participantes, es decir el know how de la compañía.

Agradecimientos

A Horacio Guaraglia, Oscar Simaro, Carlos Mateo, Juan Basone, Gustavo Bregant, Martín D'Alfonso, Maximiliano Ruppel, Gustavo Rosso, Martín Vivas, Mauro Cirkunov, Martín Mazzoni, Sebastián Virgilito, Edgardo Zarza, Mario Comerci, Walter Vigouroux, Javier Romanelli, y a todos los operadores del Tren Laminador SBQ que participaron en este proyecto.

REFERENCIAS

- 1 Campos, V. F. Gerenciamento da Rotina do trabalho do Dia-a-Dia. Nova Lima, Minas Gerais, Brasil: INDG Tecnologia e Serviços LTDA, 2001.
- 2 Programa Seis Sigma Black Belts - Sessão 1, 2 y 3 Industrial.
- 3 Coda, R. Proceso de laminación. Porto Alegre, RS, Brasil: COPAR Engenharia e Tecnologia Industrial LTDA, 2004.
- 4 Coda, R. Defectos en Productos Largos. Porto Alegre, RS, Brasil: COPAR Engenharia e Tecnologia Industrial LTDA, 2004.
- 5 Coda, R. Calibración de Barras. Porto Alegre, RS, Brasil: COPAR Engenharia e Tecnologia Industrial LTDA, 2005.
- 6 Hubert Hoff – Theodor Dahl. Laminación. Madrid, España: Dossat SA, 1944.
- 7 PRADO, E. L. (coord.). Laminação a calibração de produtos não planos de aço. São Paulo: ABM, 2010.