

# DISMINUCIÓN DEL DEFECTO PEGADO EN RECOCIDO EN SIDERAR <sup>1</sup>

Christian Cezanne<sup>2</sup>  
Pablo Seré<sup>3</sup>

## Resumen

En el presente trabajo se estudia el impacto de las diferentes variables de proceso del laminador en frío Tandem, del Recocido y del laminador Temper sobre la generación del defecto pegado. Para ello se realizaron ensayos de planta, modificando las variables y analizando el impacto de cada una de ellas sobre la generación del defecto. Las variables estudiadas fueron: morfología superficial, presión entre espiras, energía de recocido y despegado en Temper; determinando que la rugosidad a la salida del laminador en frío, la forma de la chapa antes del recocido y el ciclo térmico son las que tienen mayor peso en la generación del defecto. Modificando la estrategia de control en el último stand del laminador en frío, a través de la implementación de un control de fuerza mínima, se pudieron estabilizar los valores de rugosidad de la chapa a la salida del mismo y de esta manera se disminuyó la generación del defecto a un 30% del valor histórico.

**Palabras clave:** Pegado; Laminador en frío; Control de fuerza.

## DIMINUIÇÃO DO DEFEITO COLADO EM RECOZIMENTO NA SIDERAR

### Resumo

No presente trabalho estuda-se o impacto das diferentes variáveis do processo do Laminador de Tiras a Frio, Recozimento e Laminador Temper que produzem o defeito colado em recozimento. Realizaram-se ensaios na usina, modificando as variáveis do processo e analisando o impacto de cada uma delas sobre a produção do defeito. As variáveis pesquisadas foram: morfologia superficial, pressão entre espiras, energia de aquecimento e descolado em Temper. Determinou-se que as variáveis de maior impacto sobre o defeito são: a rugosidade à saída do laminador, a forma da tira antes do recozimento e o ciclo térmico. Decidiu-se agir sobre a rugosidade a través do controle de força mínima no último stande do Laminador de Tiras a Frio. Depois da implementação conseguiu-se baixar o defeito a 30% do valor histórico.

**Palavras-chave:** Colado; Laminador de tiras a frio; Controle de força

<sup>1</sup> Trabajo a ser presentado em el 43º Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM - 17 al 20 de octubre 2006 – Curitiba, PR - Brasil

<sup>2</sup> Ingeniero Mecánico, Gerencia de Laminación – Siderar – Argentina

<sup>3</sup> Ingeniero Metalúrgico, Gerencia de Laminación – Siderar - Argentina

## 1 INTRODUCCIÓN

El pegado es un defecto crónico de la planta Ensenada de Siderar y está relacionado con el tipo de producto que se procesa en esta planta.

La producción de la planta está orientada a materiales de alta exigencia superficial tales como la exportación para Europa y Estados Unidos; y la industria automotriz. Esto hace que, ya sea para alcanzar los altos requerimientos de propiedades mecánicas o de limpieza superficial, se deban utilizar ciclos de recocido de alta energía con puntos fríos cercanos a 700°C (la planta no cuenta con línea de limpieza electrolítica). Esta condición de proceso hace que aumente la probabilidad de aparición del defecto de pegado.

A lo largo de la historia de la planta se realizaron diversos trabajos de ajuste de los ciclos de recocido, relaciones de tiro de bobinado Tandem y debobinado Temper, etc.; llegando a estabilizar la caída cualitativa por pegado en valores de 0.17% del total producido en la planta.

En el año 2002 se formó un equipo de trabajo entre las diferentes líneas de proceso, para analizar las causas de generación del defecto y establecer acciones para su disminución.

## 2 DESARROLLO

### 2.1 Caracterización y Generación del defecto

El defecto de pegado se produce durante el proceso de recocido debido a la difusión de hierro entre espiras contiguas de la bobina, generando pequeñas microsoldaduras. Al debobinar el material en Temper, se produce el despegue y la formación de bandas de Lüders debido a la flexión del material (Figura 1).

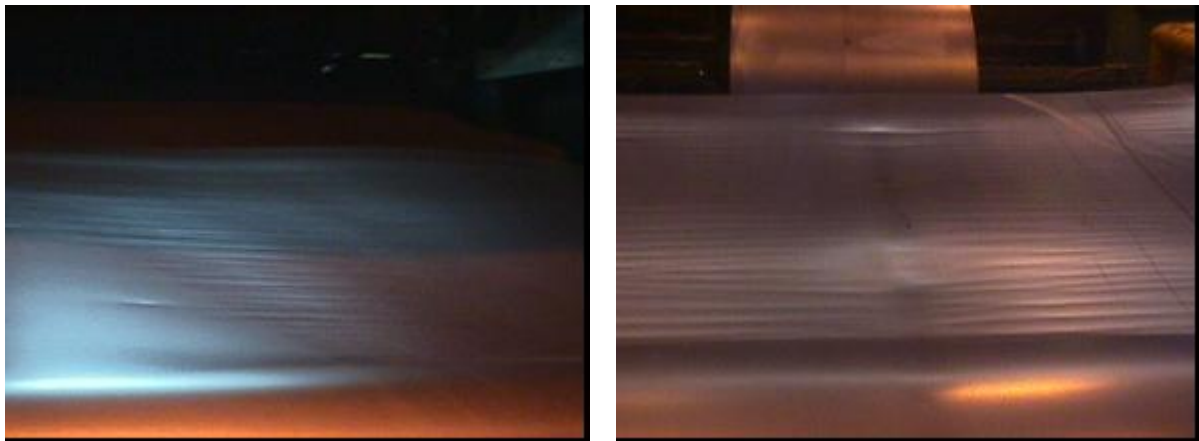


Figura 1. Morfología del defecto

En una bobina sin pegado, durante el debobinado en el temper, la chapa se despegará de la bobina en el punto tangente (Figura 2). Sin embargo, si las espiras están pegadas entre si, se requerirá una fuerza de despegue ( $F_{\text{DESPEGUE}}$ ) para separar la chapa de la bobina. Cuanto más alto sea el grado de pegado, tanto mayor será la fuerza de despegue requerida. Dado que la misma es la componente del tiro perpendicular a la superficie de la bobina, el punto de despegue se aleja del punto tangente, generando un quiebre del material y las consiguientes bandas de Lüders.

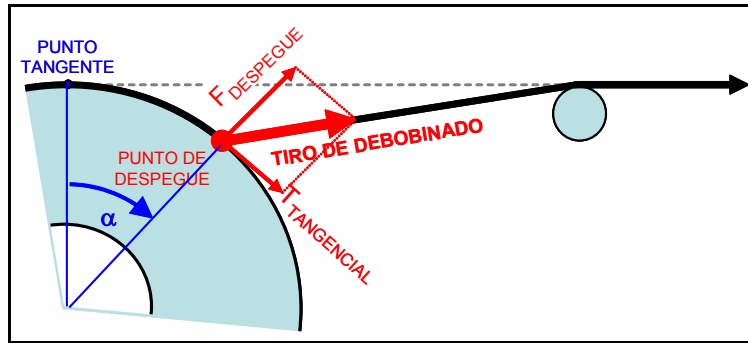


Figura 2. Mecanismo de generación del defecto

## 2.2 Metodología de Trabajo

Primero se realizó un análisis causa efecto para determinar cuales eran las variables que podían afectar a la generación del defecto (Tabla 1). Para evaluar el impacto de cada una de las variables se realizaron experiencias a nivel industrial.

Tabla 1. Variables que potencialmente afectan la generación de pegado

<b>Causa primaria</b>	<b>Factores</b>
<i>Morfología superficial</i>	- Rugosidad de la chapa a la salida del laminador - Limpieza de la superficie de la chapa
<i>Presión entre espiras</i>	- Tiro de bobinado - Variaciones de presión localizadas por la forma - Dilatación / contracción durante el recocido
<i>Tiempo / Temperatura</i>	- Ciclo de recocido aplicado (energía) - Posición en la pila de recocido - Geometría de la carga de recocido
<i>Despegado en Temper</i>	- Velocidad de la línea - Tiro de desbobinado

### 2.3.1 Rugosidad de la chapa a la salida del laminador en frío

Se realizaron mediciones a la entrada de Temper de bobinas con el defecto de pegado y sin defecto. Se encontró que por debajo de 45μinch, la probabilidad de aparición del defecto aumenta considerablemente (Figura 3).

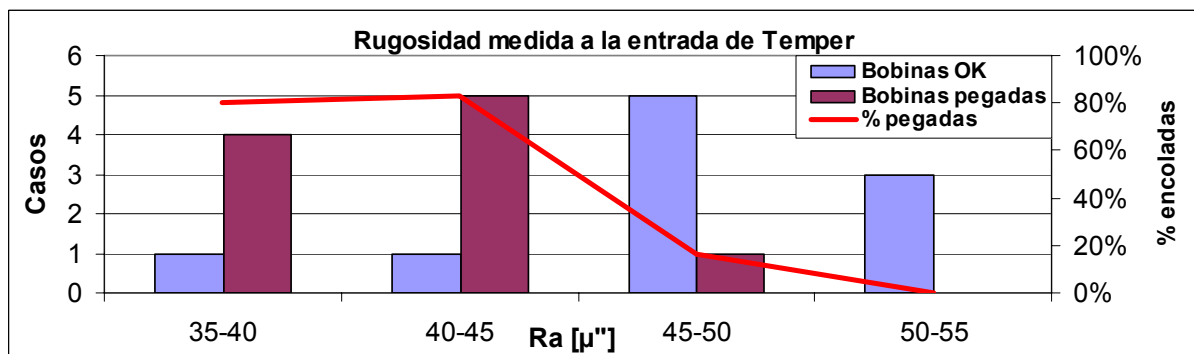


Figura 3. Relación entre rugosidad y pegado

### 2.3.2 Tiro de bobinado en Tandem

El tiro nominal de bobinado en Tandem en las dimensiones que presentan el defecto (0.50 a 0.80mm) es de 4.0kg/mm<sup>2</sup>. Se realizaron pruebas disminuyendo el tiro hasta alcanzar los 3kg/mm<sup>2</sup>. En este límite no solo no se observó una disminución del defecto, sino que comenzaron a aparecer bobinas flojas a la entrada de Temper.

### 2.3.3. Variaciones localizadas de la forma

La morfología del defecto depende de la forma de la chapa. Si no se presentan defectos localizados tales como franjas onduladas o high-spot, el pegado se produce en todo el ancho de la chapa. En el caso de encontrarse estos defectos, en ese lugar se genera un incremento considerable de la presión entre espiras, favoreciendo la aparición del pegado como se observa en la Figura 4.

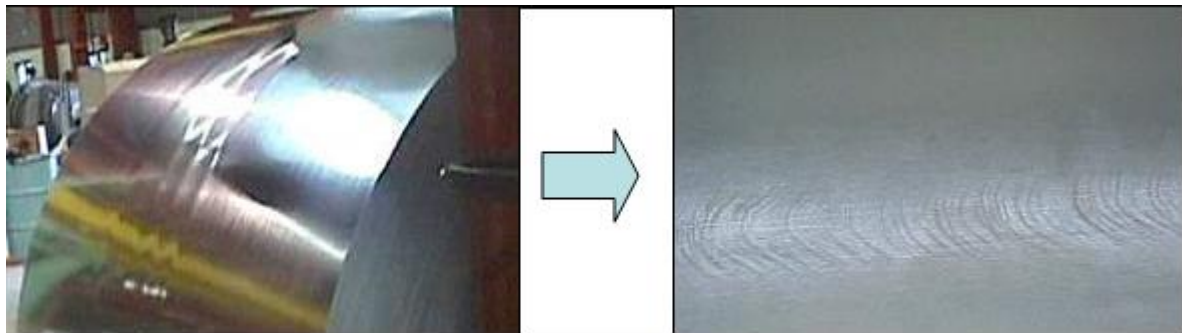


Figura 4. Aparición de encoladura debido a high-spot

### 2.3.4 Energía de recocido

Se clasificaron los ciclos de recocido utilizados en alta, media y baja energía en función del tiempo y la temperatura de permanencia. Se determinó que a mayor energía aumenta la tendencia al pegado (Figura 5).

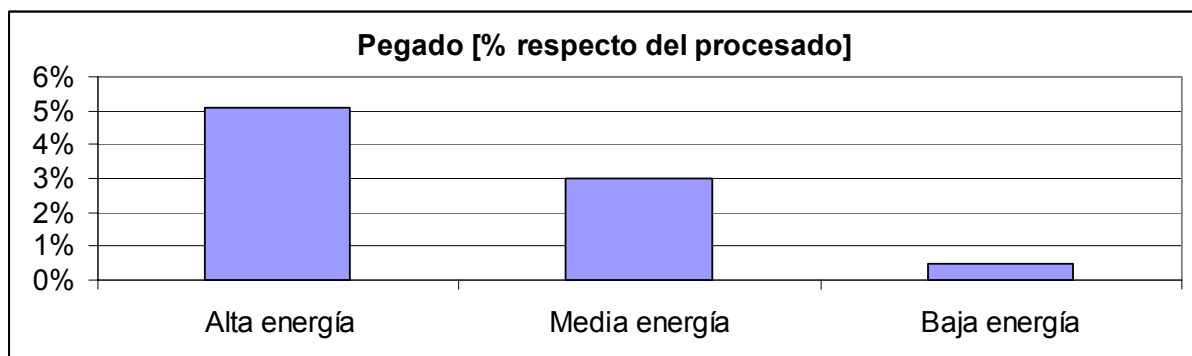


Figura 5. Influencia de la energía de recocido

### 2.3.5. Gradiente térmico en recocido

De acuerdo a la bibliografía<sup>(1)</sup> el efecto de dilataciones diferenciales debidas a gradientes térmicos dentro de la bobina, hace que el momento más crítico sea al

comienzo del enfriamiento (Figura 6). Por eso es importante disminuir la velocidad de enfriamiento al comienzo de esta fase.

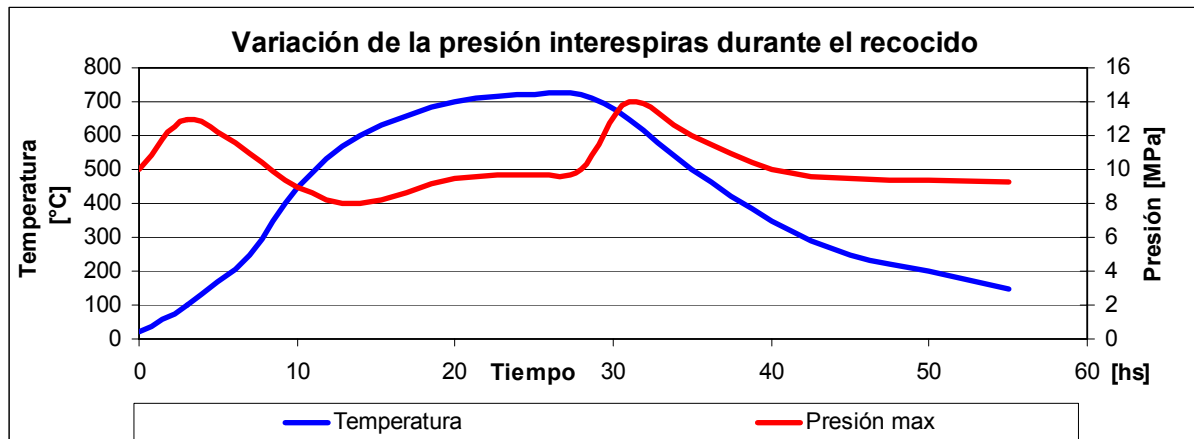


Figura 6. Evolución de la presión entre espiras máxima durante el recocido<sup>(1)</sup>

Esto se comprueba en la práctica, ya que las bases de recocido con Hidrógeno, al tener menor gradiente térmico, presentan menor tendencia al pegado (Figura 7). A su vez, la posición inferior de la carga es la más propensa al defecto, ya que en esta bobina el peso de las bobinas superiores restringe las dilataciones y contracciones, aumentando las presiones internas (Figura 8).

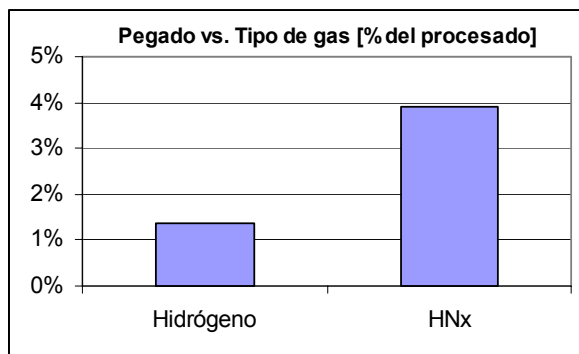


Figura 7. Influencia del tipo de gas

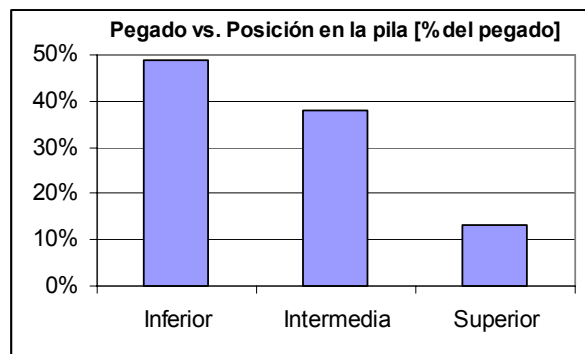


Figura 8. Influencia de la posición

### 2.3.6 Condiciones de debobinado en Temper

- **Velocidad de Temper:** Se observó que la formación de bandas de Lüders en bobinas encoladas aumenta al bajar la velocidad del Temper.
- **Tiro de debobinado Temper:** Si bien no es una variable modificable debido al riesgo de deslizamiento entre espiras, cuanto más alto sea el tiro, menor será la probabilidad de aparición del defecto.

### 2.4 Ponderación de las Causas del Defecto

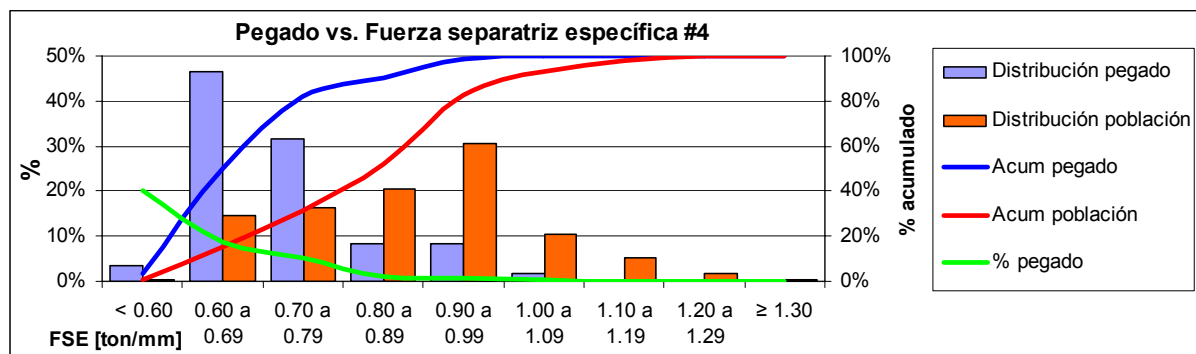
En función de lo analizado, se clasificaron las causas según su peso y posibilidad de modificarlas dentro del proceso industrial (Tabla 2).

**Tabla 2.** Ponderación de causas

<b>Causa</b>	<b>Factores</b>	<b>Peso</b>	<b>¿Modificable ?</b>
<i>Morfología superficial</i>	<i>Rug. de la chapa a la salida del laminador</i>	<i>Alto</i>	<i>SI</i>
	<i>Limpieza de la superficie de la chapa</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>Presión entre espiras</i>	<i>Variaciones localizadas por la forma</i>	<i>Alto</i>	<i>SI</i>
	<i>Dilatación / contracción durante el recocido</i>	<i>Alto</i>	<i>NO</i>
	<i>Tiro de bobinado</i>	<i>Bajo</i>	<i>SI</i>
<i>Tiempo / Temperatura</i>	<i>Ciclo de recocido aplicado (energía)</i>	<i>Alto</i>	<i>NO</i>
	<i>Posición en la pila de recocido</i>	<i>Med.</i>	<i>NO</i>
	<i>Geometría de la carga de recocido</i>	<i>Nulo</i>	<i>SI</i>
<i>Despegado en Temper</i>	<i>Velocidad de la línea</i>	<i>Med.</i>	<i>NO</i>
	<i>Tiro de debobinado</i>	<i>Med.</i>	<i>SI</i>

## 2.5. Análisis de la Impresión de Rugosidad en el Laminador en Frío

Dado que se encontró una fuerte correlación entre la fuerza separatriz específica del último stand del laminador en frío y el pegado (Figura 9), se decidió realizar una prueba a escala industrial para evaluar la correlación de la fuerza separatriz, con la rugosidad y el pegado.



**Figura 9.** Correlación entre pegado y fuerza separatriz

Esta prueba se realizó con 9 bobinas de iguales dimensiones, procesadas en forma secuencial en el laminador, con fuerzas separatrices bien diferenciadas en 3 grupos (baja, normal y alta). A su vez, estas bobinas se procesaron en 3 cargas de igual geometría y con el mismo ciclo de recocido. En Temper se evaluó la rugosidad a la entrada y la aparición de pegado. Se encontraron los siguientes resultados (Figura 10):

- Al aumentar la fuerza separatriz, aumenta la rugosidad transferida a la chapa hasta un valor de saturación.
- Al aumentar la rugosidad sobre la chapa, disminuye la aparición del defecto.

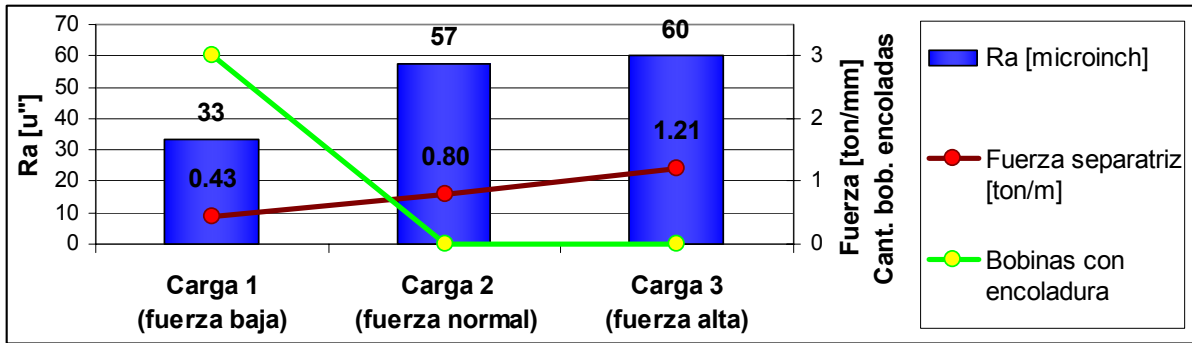


Figura 10. Resultados de prueba de variación de fuerzas de laminación

Para establecer el límite inferior de fuerza separatriz, se realizó un seguimiento más extenso y se pudo establecer la curva de correlación entre la rugosidad a la salida del laminador y la fuerza separatriz en el último stand (Figura 11).

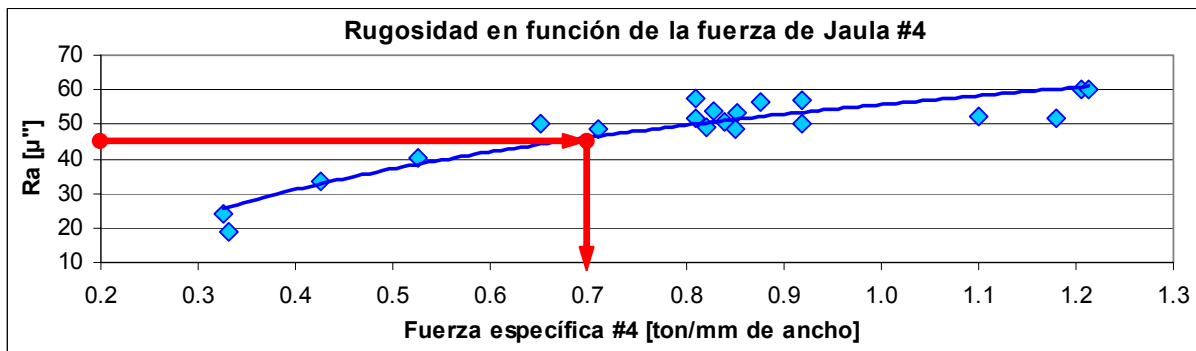


Figura 11. Correlación entre fuerza separatriz y rugosidad

Considerando que se había fijado  $45\mu\text{inch}$  como límite mínimo de rugosidad para evitar la aparición del defecto, se estableció el límite inferior de fuerza separatriz en  $0.7\text{ ton/mm de ancho}$ .

## 2.6 Acciones Implementadas

Para garantizar la laminación con una fuerza mínima en el último stand del laminador en frío, fue necesario modificar la estrategia de control.

En el control tradicional, el tiro entre los stand 3 y 4 se controlaba a través de la posición del tornillo del stand 4 y no existía control de fuerza en el stand 4 (Figura 12).

En el nuevo esquema de control se implementó un control de fuerza del stand 4.<sup>(2)</sup> En este caso, el tiro 3-4 se controla a través de la velocidad del stand 3, modificando la reducción del stand 4 (Figura 13).

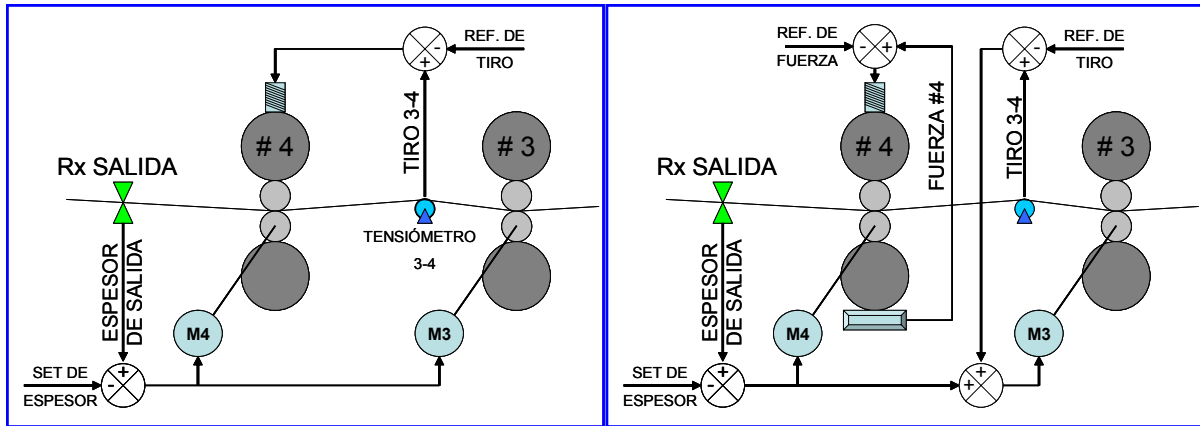


Figura 12. AGC tradicional

Figura 13. AGC modificado

A través de esta mejora se acotaron las amplias variaciones que existían en la fuerza del stand #4 (Figura 14).

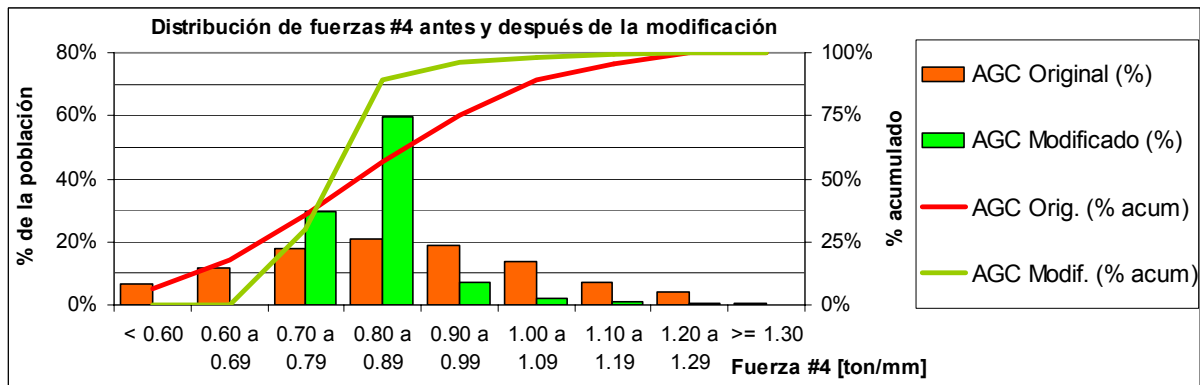


Figura 14. Distribución de fuerzas antes y después de la modificación del control

### 3 RESULTADOS

Mediante la implementación y ajuste del control de fuerza en el último stand del laminador en frío durante el año 2003 se lograron reducir a menos de 30% del valor histórico las caídas cualitativas por pegado en Siderar planta Ensenada a partir del año 2004 (Figura 15).

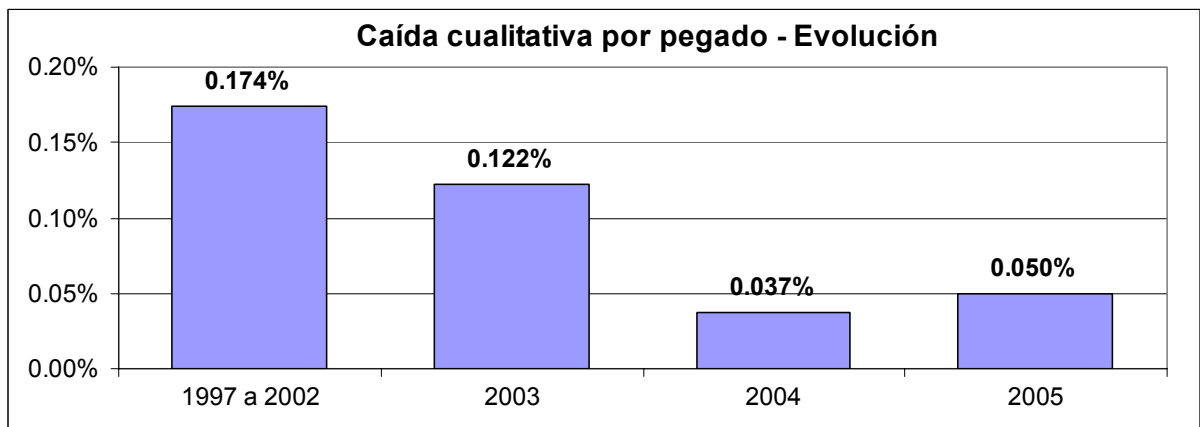


Figura 15. Evolución del defecto de pegado en Siderar planta Ensenada



#### **4 CONCLUSIONES**

- Se encontró para la condición de proceso de la Planta, la relación entre la fuerza separatriz específica, la rugosidad y la generación del pegado.
- Se estableció el control de fuerza en el stand #4 del laminador para garantizar una transferencia de rugosidad mínima sobre la chapa que permita disminuir el pegado durante el proceso de recocido.
- El defecto de pegado bajo de 0.17% a 0.05% luego de esta implementación.

#### **REFERENCIAS**

- 1 DOMANTI, S.; MCINNES, CH.; HESSLING S. - Analysis of the Stress Fields in a Coil During Batch Annealing – AISE Steel Technology , p. 57 a 64, Nov.-Dic. 2003
- 2 OOI, T.; KONDO, K.; WACHI, S.; NISHINO, T.; NISHIMURA, F. – Advanced thickness control technology for Tandem Cold Mill – 4th International Steel Rolling Conference (Deauville, France) – p. E.27.1 a E.27.12 – 1987