

REDISEÑO DE CICLO DE BAJA ENERGÍA EN RECOCIDO BATCH MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN MODELO TÉRMICO¹

Mariano Lisnizer²
Andrea Hasse³
Pablo Seré⁴

Resumen

Las bobinas de calidad comercial en Ternium, Planta Ensenada son procesadas en bases de HNX (8% H₂), con ciclos de baja energía para evitar el pegado. Estos ciclos presentaban bajos resultados en limpieza, y en algunos casos el material no alcanzaba la temperatura de recristalización. El objetivo del trabajo es rediseñar este ciclo de baja energía para mejorar la limpieza en chapa fina de calidad comercial y eliminar la recristalización incompleta. Se estudió la performance de este ciclo usando el *Coil Annealing Simulation Program*, un modelo térmico desarrollado por *Industrial Automation Services PTY LTD*. Los resultados brindados por el programa fueron evaluados y ajustados mediante la medición real de temperaturas en los puntos fríos y calientes de cargas experimentales. Una vez ajustado el modelo, el punto frío fue simulado para cargas de distintas dimensiones. Estos presentaron valores más bajos que los esperados, por lo tanto se redefinió esta temperatura y se corrigió la cantidad de horas fuego para cada geometría. También se realizó un ajuste para cargas no cilíndricas.

Palabras clave: Recocido batch; Modelo térmico; Ciclo.

REDESIGN OF A LOW ENERGY CYCLE IN BATCH ANNEALING PROCESS USING A THERMAL MODEL

Abstract

Thin coils of commercial quality in Ternium Siderar, Ensenada Plant are processed in HNX bases (8% H₂), with a low energy cycle to avoid stickiness. This annealing cycle presented low results in cleanliness. And in some particular cases, the material didn't reach the recrystallization temperature. The purpose of this work is to redesign this low energy cycle to improve cleanliness results on thin strips of commercial quality coils, and at the same time avoid incomplete recrystallization. The performance of this cycle was studied, using *Coil Annealing Simulation Program*, a thermal model developed by *Industrial Automation Services PTY LTD*. The accuracy of the results given by the simulation program were evaluated and adjusted by measuring real temperatures (hot and cold points) in experimental charges. With the model adjusted, the cold point temperature was simulated for several dimensions of charges. It presented a value lower than expected. This temperature was redefined and the firing hours for each geometry were corrected. An adjustment was also made for non cylindrical charges.

Key words: Batch annealing; Thermal model; Cycle

¹ Trabajo a ser presentado en el 45° Seminario de Laminación – Procesos, Productos Laminados y Revestidos, 21 al 24 de octubre de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE

² Ing. de procesos. Ternium Siderar. Depto. Terminación, Planta Ensenada

³ Jefe Sector Servicios e Inspección Ternium Siderar. Depto. Terminación, Planta Ensenada.

⁴ Jefe de Operación. Ternium Siderar. Depto. Terminación, Planta Ensenada.

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años los requerimientos de calidad del mercado han cambiado significativamente. Con respecto a la limpieza superficial de la chapa de acero laminada en frío, en Ternium Siderar Planta Ensenada, se han realizado diversos trabajos tanto en el laminador en frío como en el recocido en caja para mejorar estos resultados. Los trabajos han sido exitosos, y la limpieza superficial ha aumentado considerablemente. Pero en los materiales finos de calidad comercial esta mejora no se veía reflejada. Estos productos se procesan en ciclos de baja energía para evitar el defecto pegado de recocido, lo que limita sensiblemente la posibilidad de realizar cambios significativos en el ciclo para mejorar la limpieza, ya que la variable más sensible para obtener una mejora es la temperatura.

Por otro lado, se habían presentado problemas de propiedades mecánicas en algunos casos puntuales. Se verificó que en esos materiales la recristalización había sido incompleta.

Por lo antes mencionado, el objetivo del presente trabajo es rediseñar el ciclo de baja energía para mejorar los valores de limpieza superficial en materiales de calidad comercial y espesores finos, y evitar la recristalización incompleta.

Para el rediseño de este ciclo se utilizó un modelo térmico que predice la evolución de los puntos fríos y calientes de cada bobina de la carga para un *set point* determinado. El primer paso fue sintonizar el modelo a la realidad actual de la planta ya que éste no estaba ajustado al nuevo control utilizado en el recocido. Luego se modificó la tabla de horas fuego, actualizando también el ajuste realizado para cargas no cilíndricas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ajuste del Modelo Térmico a las Condiciones de Proceso y Equipamientos Actuales

Como primera medida se verificó el comportamiento del modelo térmico mediante la realización de una carga experimental (CE 1) y luego se compararon los resultados con los obtenidos en la simulación.

El control de temperatura de los ciclos de recocido en la Planta Ensenada se realiza mediante una termocupla que mide la temperatura del gas (termocupla de control), ubicada en el difusor a unos 160 mm de la base de bobina inferior y a 650 mm del centro de la base. La mayor contribución térmica es por convección. El *set point* para esta termocupla en el ciclo de baja energía cumple la curva de la Figura 1.

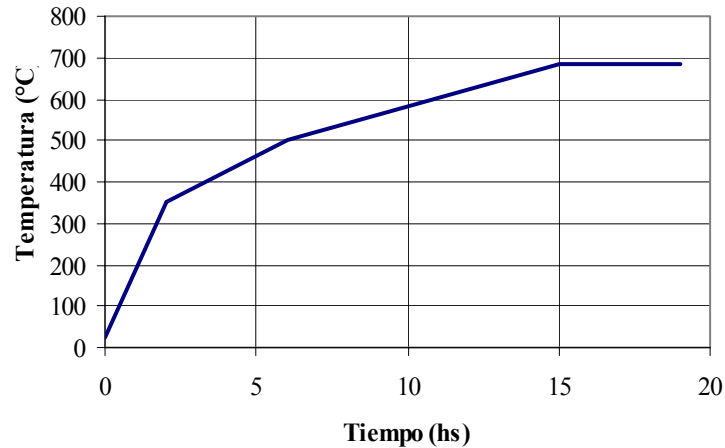


Figura 1 – Set point del ciclo de baja energía.

En la práctica, para que la base finalice la etapa de calentamiento se deben cumplir 2 condiciones:

- a) Completar la totalidad de horas de mantenimiento a alta temperatura indicadas por el programa de temperatura,
- b) Cumplir con las horas fuego, que están tabuladas en función de la geometría de la carga. Es decir que cuando se cumplen las horas de permanencia del ciclo pero no todavía las horas fuego, la base mantiene la temperatura de igualación hasta que completa el tiempo restante.

La carga experimental se realizó con 3 bobinas, en las cuales se colocaron 5 termocuplas midiendo los puntos fríos y calientes. Las dimensiones de las bobinas y la posición de las termocuplas se detallan en la Figura 2.

Una vez realizada la CE 1 y registradas las curvas de temperatura descritas en la Figura 2, se realizó la simulación con el modelo térmico. Comparando los resultados se obtuvo una diferencia en la curva de punto frío alcanzada por la carga experimental y la simulada (Figura 3). Por lo tanto se decidió ajustar el modelo térmico para que las curvas coincidan.

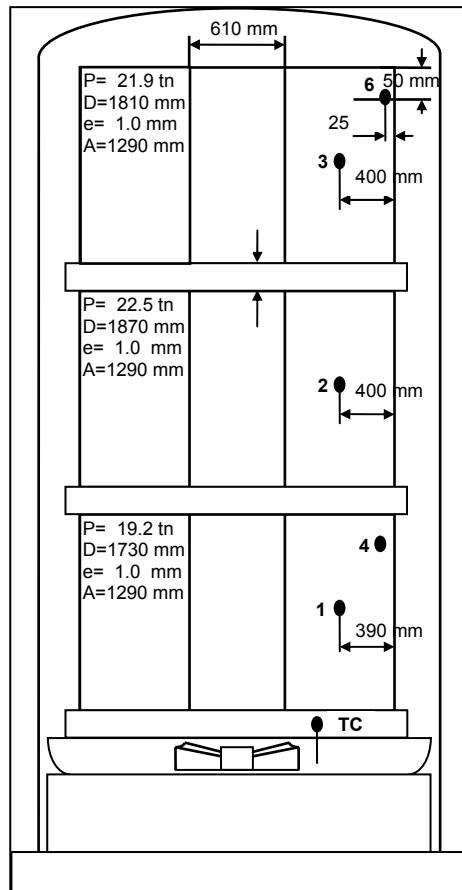


Figura 2 – Dimensiones de las bobinas y ubicación de las termocuplas en la CE

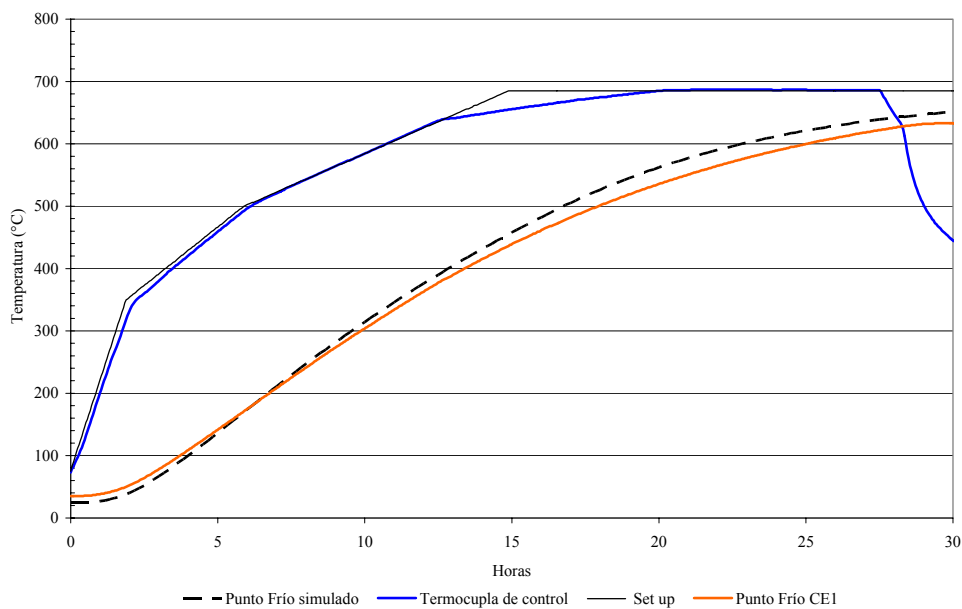


Figura 3 – Curva de punto frío de carga experimental 1

En el modelo se modificó la contribución de transmisión de calor por convección y radiación que recibe la termocupla de control. Modificando estas proporciones se obtuvo la curva del punto frío simulada muy cercana a la real. Estos resultados se muestran en la Figura 4.

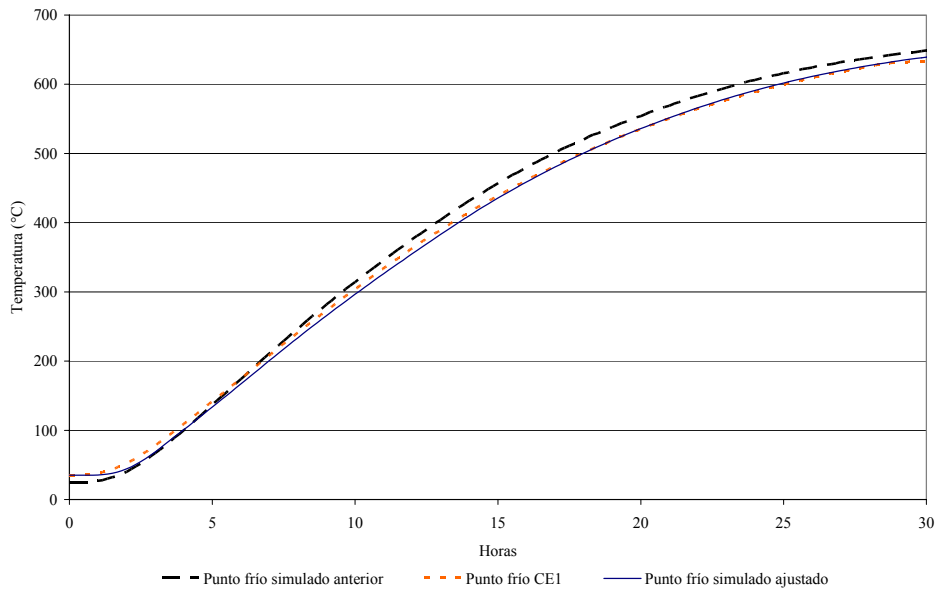


Figura 4 – Resultados ajustados de la CE1

El siguiente paso que se realizó para verificar el funcionamiento del modelo luego del ajuste fue realizar otra carga experimental (CE 2). Las bobinas, su disposición y la de las termocuplas fue idéntica a la del caso anterior. Se cambió el ciclo para modificar las condiciones y corroborar si el resultado obtenido por el modelo luego del ajuste era el adecuado para distintos ciclos. Se usó un ciclo de alta energía utilizado para calidades de embutido. La comparación de resultados reales y simulados se muestra en la Figura 5, donde se observa que las curvas son muy similares.

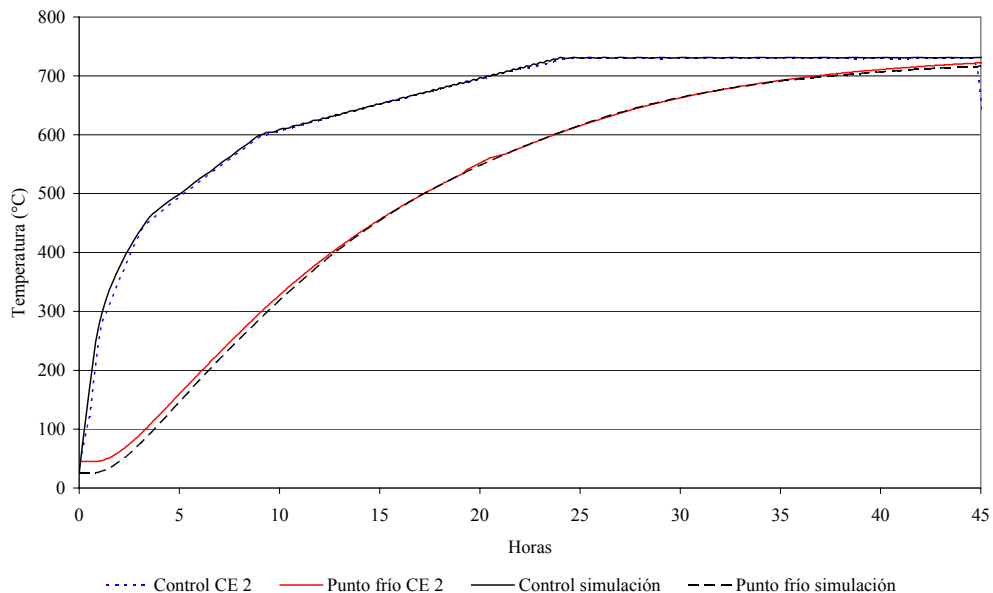


Figura 5 – Curva de punto frío de carga experimental 2

Con estas dos experiencias se demuestra que el modelo ajusta correctamente para los distintos ciclos y entonces se lo puede utilizar para el análisis posterior.

2.2 Confección de la Tabla de Horas Fuego

Se analizaron los valores de limpieza de material, medidos como índice de reflectividad (IR) procesado con el ciclo de baja energía desde Enero hasta Mayo del 2006. Se observa que los problemas principales de limpieza están en las cargas más livianas y en las más pesadas (Figura 6).

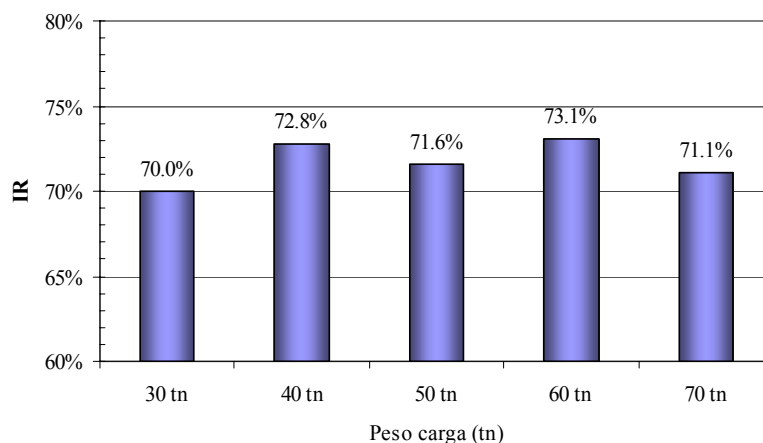


Figura 6 – Valores de IR en función del peso de carga

Para corroborar esta distribución de limpieza se realizaron simulaciones para cargas de distintos anchos y pesos y se monitoreó en las mismas la evolución del punto frío de la carga. Con la tabla de horas fuego se calculó las horas que le correspondían en cada caso y se anotó el valor máximo de temperatura de punto frío. Cabe destacar que en el cálculo de horas fuego existe una limitación de máximo de horas de igualación a 8 hs. Esta condición se había agregado porque en algunos casos se superaban ampliamente las horas de mantenimiento del programa por no estar correctamente ajustada la tabla de horas fuego (por cambios en el proceso y en el equipamiento).

Con la restricción de máximo de 8 horas de temperatura de igualación, obtenemos en condiciones normales un máximo de 23 horas fuego, por lo tanto para este análisis se remplazaron los valores de la tabla mayores a 23 por 23. Las máximas temperaturas alcanzadas por el punto frío para la simulación de cada rango de peso y ancho se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 – Temperaturas alcanzadas por el punto frío con tabla de horas fuego

		Ancho (mm)					
		949		1249		1528	
Peso (tn)		Máx. Temp. PF (°C)	Horas Fuego	Máx. Temp. PF (°C)	Horas Fuego	Máx. Temp. PF (°C)	Horas Fuego
	30	545.9	15.25	562.7	16.5	584.2	18
	40	546.3	16.5	572.5	18	580.3	19.5
	50	561.6	18.75	585.3	20.25	588.8	21.75
	60	--	20.75	596.4	22.75	588.7	23
	70	--	23	580.1	23	572.6	23
	80	--	23	--	23	561.3	23

Se ha hecho todo el análisis para cargas cilíndricas de tres bobinas, por lo tanto los datos incompletos se deben a limitaciones dimensionales para estas circunstancias. Los datos obtenidos muestran que las temperaturas más bajas alcanzadas por el punto frío se encuentran en las cargas más livianas y las más pesadas, lo que concuerda con lo obtenido del análisis del índice de limpieza.

Como el objetivo era mejorar los valores de limpieza y evitar la recristalización incompleta detectada en algunos casos, se decidió aumentar la temperatura del punto frío.

Se realizó un estudio para evaluar cuánto variaba la capacidad de producción haciendo llegar el punto frío hasta 610, 620 y 630°C. Se obtuvo como resultado una disminución de la capacidad de producción a lo sumo del 1% aproximadamente en función del mix de ciclos vigente. Por lo tanto, se decidió que la temperatura de punto frío debía alcanzar los 630 °C (limitada a esta temperatura por pegado).

Luego se simuló cada punto de la tabla anterior y de las curvas se obtuvo el tiempo en que el punto frío alcanzaba la temperatura deseada (630°C) para cada rango dimensional. Con esto se conformó la nueva tabla de horas fuego. En la tabla 2 se indican algunos de los nuevos valores obtenidos de horas fuego comparándolos con los originales.

Tabla 2 – Comparación de horas fuego vigentes con las actualizadas

Tabla de horas fuego	30 tn	40 tn	50 tn	60 tn	70 tn
Actual (hs)	16.5	19.5	20.3	22.8	23
Calculada por modelo (hs)	20.8	22.3	24.2	26.1	28.5
Diferencia (%)	26.1%	14.4%	19.2%	14.5%	23.9%
Valor de limpieza (IR medio)	70.0%	72.8%	71.6%	73.1%	71.1%

El mayor incremento de horas fuego se debe realizar en las cargas de 30 y 70 tn. Esto coincide con los resultados de limpieza, que eran los más bajos.

2.3 Ajuste por Geometría

Una vez confeccionada la nueva tabla de horas fuego se realizó un estudio acerca del ajuste que se realiza para cargas no cilíndricas. La no cilindridad de la carga se compensa incrementando el tiempo de calentamiento para alcanzar el punto frío objetivo. Se comparó cómo ajustaría la fórmula que se utiliza en Planta Ensenada y otra fórmula que se utiliza en el Recocido Planta San Nicolás (SN).

En Planta Ensenada el ajuste por geometría se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Pesoficticio = \sum anchos(mm) \times R$$

donde R es la máxima relación Peso/Ancho de la carga.

Con el valor del peso ficticio se ingresa en la tabla de horas fuego y se obtiene el tiempo de calentamiento de la carga.

La fórmula utilizada en Planta SN es la siguiente:

$$\text{Peso Ficticio} = \frac{\text{Máximo Peso de bobina} \times \text{Cantidad de bobinas en la carga} + \text{Peso real}}{2}$$

Para el análisis se realizaron corridas en el modelo para distintas cilindradas calculadas por las dos fórmulas, y se obtuvieron las horas fuego necesarias indicadas por el modelo térmico. Se hizo el cálculo para cargas de 40 y 60 tn. En la Tabla 3 se muestran estos resultados.

Tabla 3 – Horas fuego para cargas no cilíndricas

Peso (tn)	Cilindridad EDA	Horas Fuego EDA	Horas Fuego SN	Horas modelo térmico
40	70	24.4	23	23.6
60	75	28.5	27.4	27.6

Se observa que el valor que mejor ajusta es el obtenido con la fórmula de SN. Por este motivo se cambió por este cálculo.

3 CONCLUSIONES

- ✓ Se ha logrado un buen ajuste del modelo térmico con las condiciones actuales del recocido y se ha verificado su buena performance mediante la realización de cargas experimentales.
- ✓ Se ajustó la tabla de horas fuego adoptando como premisa un aumento de la temperatura que alcanza el punto frío de todas las cargas.
- ✓ Se redefinió la fórmula por medio de la cual se realiza el ajuste para cargas no cilíndricas, unificándola además con la que se utiliza en la Plata San Nicolás.

REFERENCIAS

- 1 Marcelo Luccioni; Pablo Seré. “Mejora de Productividad en Recocido Batch, a través de la optimización de geometría de carga utilizando el modelo de Punto Frío del IAS”. In: 41° Seminario de Laminación de ABM, octubre del 2004, Joinville