

CONTROL ON-LINE DE VIDA DE REFRACTARIOS DE CUCHARA DE ACERO MEDIANTE ANÁLISIS ESTADÍSTICO¹

A. Data²
M. Villarrubia²
R. Vénica³
A. Martín³
W. Chiapparoli³

Resumen

Con el objetivo de predecir el nivel de desgaste de las placas de la válvula lineal y los refractarios de línea de escoria de las cucharas de acero, maximizando la vida de los mismos, Ternium Siderar ha desarrollado dos modelos matemáticos diferentes: 1) Modelo de control de vida de placas de válvula lineal de cuchara; 2) Modelo de control de vida de refractarios de pared y línea de escoria. Ambos modelos relevan diversas variables de proceso y eventos en forma on-line mediante los cuales se calcula el desgaste de los respectivos refractarios. Los modelos analizan composición de escoria, grado de acero, tiempos de proceso, nivel de agitado, apertura de cuchara con oxígeno, entre otras variables. Tras la validación e implementación de estos modelos, que actualmente están operando on-line, no se han repetido filtraciones de placas de válvula ni perforaciones de la pared de cuchara.

Palabras claves: Cuchara; Placas de la válvula lineal; Refractarios.

CONTROLE ON-LINE DA VIDA DE REFRAATÓRIOS DE PANEIA DE AÇO POR MEIO DE ANÁLISE ESTADÍSTICO

Resumo

Com a finalidade de prever o nível da erosão das placas da válvula linear e dos refratários de linha de escória das colheres de aço, levando ao máximo a vida dos mesmos, a Ternium Siderar tem desenvolvido dois modelos matemáticos diferentes: 1) Modelo de controle de vida das placas de válvula linear de panela; 2) Modelo de controle de vida dos refratários da parede e linha de escória de panela. Ambos modelos relevam diversas variáveis de processo e eventos em forma *on-line*, onde se avalia o desgaste dos refratários. Os modelos analisam a composição de escória, grau de aço, tempos de processo, nível de agitado, abertura de colher com oxigênio, entre outras variáveis. Após a validação e implementação destes modelos, que atualmente operam *on-line*, não se repetem filtrações de placas de válvula nem perfurações da parede de colher.

Palavras-chave: Panela de aço; Placas de válvula linear; Refratários.

¹ Trabajo a ser presentado en el 63° Congreso Anual da ABM, 28 de julho a 1° de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

² Gerencia de Acería, Ternium Siderar, (2900) San Nicolás, Argentina

³ IAS, Instituto Argentino de Siderurgia, (2900) San Nicolás, Argentina

1 INTRODUCCION

Ternium es una empresa productora de aceros planos y largos, con centros productivos localizados en México, Argentina y Venezuela, líder en el mercado latinoamericano con procesos integrados para la fabricación de acero y derivados.

El proceso de aceración tiene por objetivo acondicionar el metal a las especificaciones deseadas mediante una serie de operaciones discontinuas, la mayoría de las cuales se llevan a cabo en recipientes denominados cucharas. Las mismas cuentan con un revestimiento y válvulas de material refractario que posibilitan el manejo del acero. El empleo eficiente de estos refractarios es clave en las operaciones tanto desde el punto de vista de la seguridad como de la calidad y los costos.

Por este motivo, Ternium Siderar ha desarrollado dos modelos para maximizar la vida de los refractarios, que por su ubicación en la cuchara, están más solicitados:

- Modelo de estimación de vida de placas de válvula lineal de cuchara.
- Modelo de estimación de vida de refractarios de pared y línea de escoria

2 MODELO DE CONTROL DE VIDA DE PLACAS DE VÁLCULA LINEAL DE CUCHARA

Desgaste de Placas de Válvula Lineal

El aumento del diámetro de los agujeros y los desgastes de las superficies deslizantes (Figura 1), son consecuencia en general de la erosión mecánica por el contacto con el acero líquido durante el vaciado y la corrosión por ataque químico sobre las superficies en contacto con acero en movimiento y ocasionalmente con escoria. Estos motivos son las causas principales del desgaste de las placas deslizantes utilizadas en cucharas de acería.

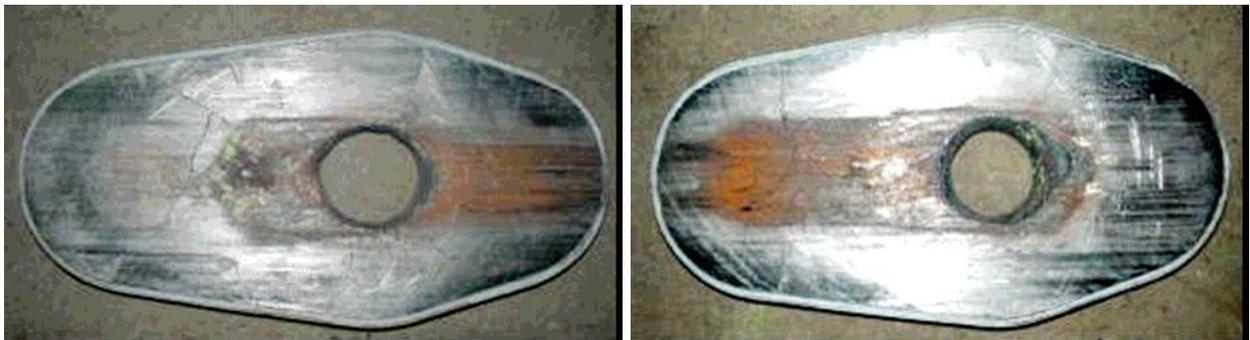


Figura 1. Desgaste en las caras en contacto, como consecuencia del desplazamiento lineal.

La aparición de grietas radiales (Figura 2), que nacen en el orificio, es consecuencia del choque térmico que ocurre en la apertura y cierre, y que genera elevado estado de tensiones en la zona cercana al agujero.



Figura 2. Placas retiradas con seis coladas, en las cuales se observa la aparición de grietas radiales, con origen en el orificio.

La severidad de los ataques químicos y físicos sobre las placas, dependen de la composición del acero, su temperatura, velocidad y tiempo de colado. Un concepto importante es que cuanto mayor sea el estrangulamiento, más fuerte va a ser el desgaste en las regiones de borde del agujero de la superficie deslizante. Esto puede llevar a la penetración de acero entre las placas y como resultado de esto aumenta la dificultad de movilidad de la placa deslizante, incrementándose la erosión superficial de la misma.

Se realizó un seguimiento de placas post mortem, relevamiento y análisis de información referida a las variables vinculadas al desgaste de las placas, análisis de criterios utilizados por otras plantas para retirar de servicio las placas, determinación de densidad, microscopía óptica y electrónica de muestras post mortem. Con estos resultados se pudo concluir que las diferencias dimensionales (incrementos y deformaciones de los diámetros de pasaje) no son significativas entre las placas que colaron grados normales (promedio 5,7 coladas por juego) y las que colaron grados API (promedio 4,1 coladas por juego). Es decir que el criterio utilizado hasta ese momento para retirar de servicio las placas sería acertado, desde el punto de vista del seguimiento post mortem.

Por lo tanto, se realizó una adaptación inicial al caso Ternium Siderar, del criterio utilizado por otra acería para evaluar la vida de las placas. Este criterio contempla el análisis de tipo de calmado, porcentaje de manganeso, tratamiento con calcio, tiempos de colada en máquina y apertura de cuchara con oxígeno y fue implementado en planta a través de un sistema experto.

TExpert - Conceptos Generales

El TExpert, desarrollado por el personal de Ternium Siderar, es la herramienta seleccionada para entregar como resultado un puntaje para cada cuchara y analizar si se debe realizar el cambio de placas de la misma (Figura 3). Esta herramienta posee una interfaz gráfica orientada al usuario, utilizando un lenguaje familiar y dándole toda la flexibilidad de una aplicación gráfica “drag & drop”. Al no tener que preocuparse por todo lo relativo a administración de datos de entrada y salida, su principal tarea es transmitir su “know-how” en un lenguaje gráfico amigable. Asimismo, el sistema contempla todas las restricciones

propias de los sistemas de tiempo real; controlando la validez temporal de los hechos y el tiempo de evaluación de las reglas asociadas al problema en cuestión.

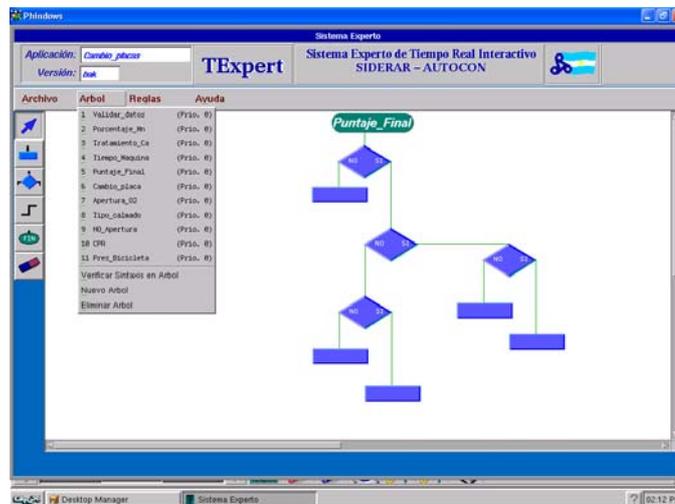


Figura 3. Sistema Experto desarrollado por Ternium Siderar

2.3 Determinación del Puntaje

El Sistema Experto calcula el puntaje para cada cuchara analizando las siguientes variables: Tipo de Calmado, el Tratamiento con Ca, el % de Mn, los Tiempos de Máquina y la Apertura con O₂.

- **Tipo de calmado:** Son aceros calmados al aluminio (grados normales) o al SiAl (API, 15B30, etc). Existen también algunos pocos casos de aceros para uso eléctrico, que son calmados al silicio (FK 03 ELEC).
- **Porcentaje de Manganeso:** El contenido de manganeso se tiene en cuenta debido a que el peligro sería la formación de silicatos de manganeso Mn₂SiO₄, cuyo punto de fusión de 1345°C es menor a la temperatura de colado, provocando desgaste por abrasión y fusión de la fase mencionada; pero en el presente caso las placas no tienen elevado contenido de sílice, siendo poco probable la aparición de dichos silicatos
- **Tratamiento con calcio:** Todos los aceros son tratados con calcio, es decir que se encuadran dentro de los casos en los cuales se suman puntajes, que dependerán de las cantidades y condiciones del calcio inyectado. Si bien para el caso Siderar se presenta solo la primer condición, que corresponde al caso de inyección para colabilidad, se ha establecido un límite de calcio de 20 ppm, a partir del cual se distingue entre penar con menor o mayor puntaje.
- **Tiempos de máquina:** Los tiempos en el caso actual son en general mucho menores a los que presentan las condiciones del criterio presentado. En consecuencia se opta por hacer un paralelo, de manera de tomar como referencias para los límites adoptados, los valores de caudal promedio de la empresa y el promedio de Siderar.
- **Apertura con Oxígeno:** se penaliza a la cuchara con el puntaje equivalente a una colada.

La aplicación on-line está constituida por 11 árboles de reglas (Figura 4):

- **Validar_datos:** se validan los datos de entrada, se calcula en tiempo de colado y se analizan las curvas de peso de cuchara y presión del hidráulico de bicicleta de ambos carros porta repartidores.
- **Tipo_calmado:** Dependiendo del rango de aplicación máximo de Si se determina el tipo de calmado y se le asigna el puntaje correspondiente (Puntaje 1).
- **Porcentaje_Mn:** según el % Mn de la muestra en CCD, se asigna el puntaje correspondiente (Puntaje 2).
- **Tratamiento_Ca:** Dependiendo de las ppm de Ca y el tiempo de colado, se asigna el puntaje correspondiente (Puntaje 3).
- **Tiempo_Maquina:** Según el tiempo de colado se asigna el puntaje correspondiente (Puntaje 4).
- **Apertura_O2:** Dependiendo de si hubo apertura con O2 se penaliza la cuchara con el puntaje correspondiente a una colada (Puntaje5).
- **NO_Apertura:** Graba un archivo con la colada que tuvo apertura con O2 y envía un e-mail al personal operativo y de procesos con los datos de la colada en cuestión.
- **CPR:** En función de los valores de las curvas de presión de hidráulico de bicicleta, se determina que carro porta repartidor se está utilizando.
- **Pres_Bicicleta:** Se determina si hubo despresurización para analizar si hubo apertura con O2

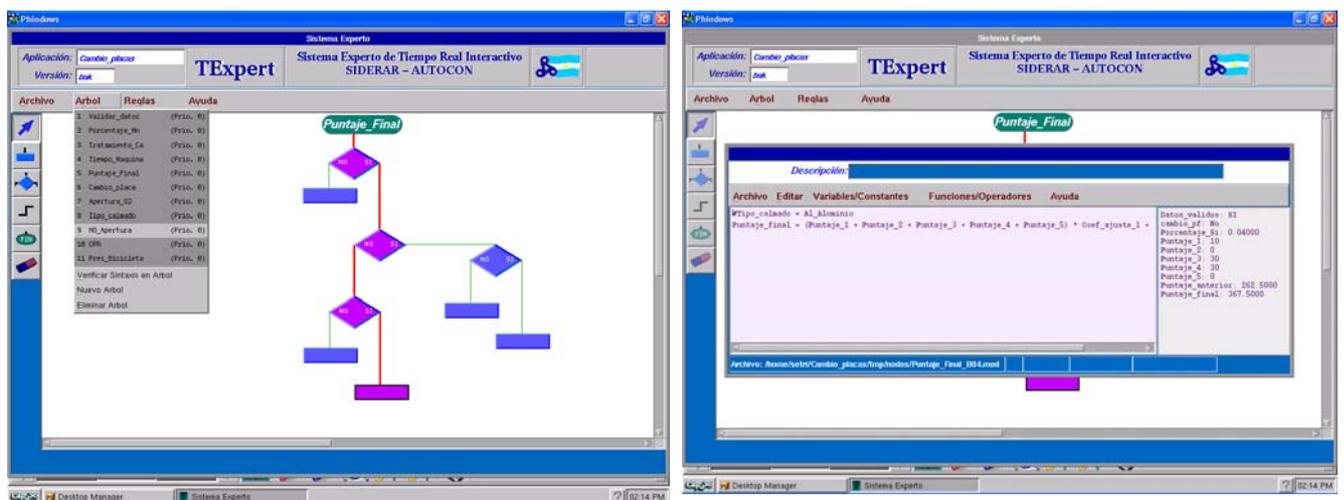


Figura 4. Aplicación del Sistema Experto

- **Puntaje_final:** Calcula el puntaje final como la sumatoria de los puntajes 1, 2, 3, 4, 5 y dependiendo de si se cambió la placa en la corrida anterior suma o no el Puntaje anterior.
- **Cambio_Placa:** Si el puntaje final es mayor o igual a un determinado valor, envía un aviso al operador de SERCOL (Servicios de Colada) para que cambie la placa y almacena el puntaje final. De lo contrario, únicamente guarda el puntaje final como puntaje anterior para la siguiente corrida.



Figura 5. Cartel de aviso al operador

2.4 Resultados

Si bien la implementación de este modelo no ha repercutido en una reducción en el consumo de placas, el cambio de placas se realiza en el momento oportuno, independientemente de la apreciación del operador, teniendo de esta manera una operación más segura y sin filtraciones de placas.

3 MODELO DE CONTROL DE VIDA DE REFRACTARIOS DE PARED Y LINEA DE ESCORIA

Desgaste de Refractarios de Cuchara

La variabilidad de las condiciones operativas conduce a una amplia variación en la vida útil del refractario. En nuestro caso se observaba una alta dispersión en la duración del refractario de la línea de escoria, teniendo campañas que duraban 70 ciclos (coladas) y otras con más de 100. Esta incertidumbre derivó en varias perforaciones y para evitarlas se redujo dramáticamente la vida del refractario, con el consecuente aumento en los costos.

El análisis de las distintas campañas evidenció los principales agentes responsables de la erosión del refractario: FeO, Al₂O₃ y MgO en la escoria, tiempos de agitado de la cuchara y de calentamiento en el Horno Cuchara (LF), potencia del agitado y las horas que las cucharas están fuera de operación en quemadores.

La forma en que estos factores se interrelacionan influye directamente en el mecanismo de desgaste y consecuentemente en la velocidad. Para contemplar esto, se desarrolló el concepto de "colada equivalente", que representa la desviación del proceso respecto a una colada ideal.

Metodología Empleada para la Predicción de Vida Útil

Para el cálculo de la colada equivalente se desarrolló una fórmula que contempla los principales agentes de desgaste ponderando su impacto e interrelación. De las variables mencionadas anteriormente, se descartó el MgO de la escoria, no porque su impacto sea despreciable, sino porque su valor tiene un efecto relativo en función del valor de saturación de MgO en la escoria y el mismo es muy difícil de calcular en tiempo real.

Todas las demás variables fueron incluidas en la siguiente ecuación:

$$N_i = \frac{\left(a_0 + \frac{t_{s0}}{t'_{s0}} \cdot a' \cdot \eta_{s0} \right) \cdot \left(\frac{FeO_{s0}}{FeO_{s0}'} - 1 \right) + \left(b_0 + \frac{t_{s0}}{t'_{s0}} \cdot b' \cdot \eta_{s0} \right) \cdot \left(\frac{Al_2O_{3s0}}{Al_2O_{3s0}'} - 1 \right) + c \cdot \left(\frac{t_{s0}}{t'_{s0}} - 1 \right) + d \cdot \left(\frac{t_{LF}}{t'_{LF}} - 1 \right) + e \cdot \left(\frac{t_{TS}}{t'_{TS}} - 1 \right) + \left(f_0 + \frac{f'}{(1 + \eta_{LF})^m} \right) \cdot \left(\frac{PO}{PO'} - 1 \right)}{n} + 1$$

$$N_Q = g \frac{t_Q}{24}$$

$$N = \sum N_i + N_Q$$

Donde:

N_i : cantidad de coladas equivalentes de una colada

N_Q : cantidad de coladas equivalentes al tiempo del quemador

N : número de coladas equivalentes acumuladas en la campaña

t_{s0} : tiempo de agitado en estación de tratamiento de cuchara al vuelco del convertidor

t'_{s0} : t_{s0} estándar

η_{s0} : Potencia de agitado en cuchara al vuelco del convertidor

FeO_{s0} : % de FeO en la escoria previo al acondicionamiento en el LF

FeO_{s0}' : FeO_{s0} estándar

Al_2O_{3s0} : % de Al_2O_3 en la escoria previo al acondicionamiento en el LF

Al_2O_{3s0}' : Al_2O_{3s0} estándar

t_{LF} : tiempo de tratamiento en el horno cuchara (LF)

t'_{LF} : t_{LF} estándar

t_{TS} : tiempo de tratamiento en la Trimming Station (TS)

t'_{TS} : t_{TS} estándar

PO : tiempo de calentamiento con electrodos en el LF

PO' : PO estándar

η_{LF} : Potencia de agitado en cuchara en el LF

t_Q : tiempo en quemador acumulado en la campaña

Se determinaron los estándares de las distintas variables a partir de un relevamiento de todo un año de operación. Estos valores estándares (cuya nomenclatura se realiza con el símbolo ') representan la condición de operación típica o estándar de la acería con la cual la duración de los refractarios es la estándar. En la medida que el proceso se desvía de estos valores el desgaste de los refractarios también varía en consonancia. La ecuación pretende precisamente cuantificar y cualificar esa desviación a fin de conocer que mecanismos de desgaste atacaran el refractario y así predecir su desgaste.

Una vez determinado el valor estándar de los parámetros de referencia solo resta aplicar una serie de filtro o condiciones al cálculo para así poder determinar el valor de los coeficientes de la ecuación. Para esto se analizaron las variables de 2000 coladas y mediante la aplicación del método de regresión numérica de Newton-Raphson y así se obtuvo el valor de los 12 coeficientes de la ecuación.

Resultados

El nuevo modelo permitió lograr menor amplitud en coladas por campaña y una menor desviación estándar que las coladas reales y que el modelo precedente. Es importante destacar que el modelo anterior no se utilizaba debido su poca confiabilidad y alta dispersión.

	Modelos		Reales
	Nuevo	Anterior	
Promedio	102	108	86
Amplitud	24	44	33
Desv. Est.	7,36	10,60	9,05

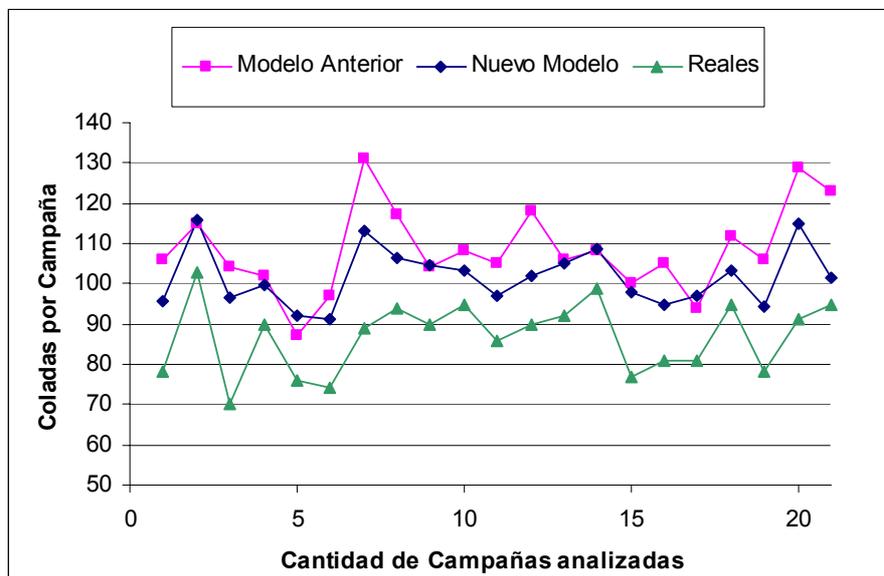


Figura 6. Comparación entre modelo de línea de escoria antiguo y actual

4 CONCLUSIONES

- Con la implementación de estos modelos no se han repetido filtraciones de placas de válvula ni perforaciones de la pared de cuchara, eventos que anteriormente, si bien eran esporádicos, no eran infrecuentes.
- Es importante destacar que debido a que el modelo de control de vida de placas requería la información de apertura espontánea o no de la cuchara se desarrolló en paralelo una lógica para la detección automática de apertura de cuchara con O_2 .
- Como trabajo futuro para el modelo de coladas equivalentes queda en primer lugar incorporar a la ecuación el efecto del MgO por comparación con el valor de saturación del mismo en la escoria y en segundo lugar realizar una resolución de los coeficientes de la ecuación tomando 2^n coladas donde n es el número de coeficientes a determinar.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Rapetto y R. Vénica, SIDERAR, INFORME N° PRO 05 077, Junio 2005.
- 2 M. Viale, O. Martin, J. Franchin, "Sistema Experto Interactivo de Tiempo Real"
- 3 W. Chiapparoli, L Castellá, M. Vota y E. Brandaleze, Asistencia a Procesos, IAS.