



ANÁLISIS CAUSA RAIZ DE CORTE DE SECUENCIA EN COLADA CONTINUA POR ROTURA DE BARRA TAPÓN¹

Marcelo Labadie²
Jaime Usart³
Juan Mirabelli⁴
Abel Vela⁵
Gustavo Di Gresia⁶
Silvia Camelli⁷

Resumen

A partir de Agosto 2010 se producen en la colada continua de Ternium Siderar interrupciones operativas por rotura de barras tapón en el repartidor. Debido a la elevada ocurrencia de los mismos (una rotura mensual) y la concentración de estos eventos en una de las líneas, independientemente del repartidor utilizado, se decidió analizar la mecánica de los mismos mediante: 1) Estudios termomecánicos de la barra tapón y del mecanismo de accionamiento; 2) Evaluación y fatiga probable producida por el brazo de accionamiento mecánico; 3) Características del material refractario constituyente de la barra; y 4) Análisis de las prácticas operativas. El presente trabajo pretende ilustrar las implementaciones de las acciones enunciadas y la correlación con los resultados obtenidos.

Palabras claves: Colada continua; Repartidor; Refractarios; Barra tapón.

ANALYSIS OF SEQUENCE BREAK IN CONTINUOUS CASTING BY STOPPER BAR RUPTURE

Abstract

Since August 2010, in the continuous casting machine of Ternium Siderar have been produced operational disruptions because of the rupture of the stopper bars. Due to the high occurrence of these events (one break per month) and the concentration in one of the strands, regardless of the tundish been used, it was decided to study the rupture mechanisms by: 1) Thermomechanical studies of stopper bar and the rod drive mechanism; 2) Evaluation and fatigue caused by the mechanical arm; 3) Characterization of stopper bar refractory material; 4) Analysis of operative practices. This paper aims to illustrate the implementations of the outlined actions and the correlation with the obtained results.

Key words: Continuous casting; Tundish; Stopper bar; Refractory.

¹ Contribución técnica al 43º Seminario de Acería, 20 al 23 de maio de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Ing. Tecnologia de Refractarios - Ternium Siderar.

³ Ing. Planeamiento y Servicio Tecnológico - Ternium Siderar.

⁴ Téc. Jefe Sector Refractarios Acería - Ternium Siderar.

⁵ Ing. Jefe Sector Colada Continua - Ternium Siderar.

⁶ Ing. Procesos Colada Continua - Ternium Siderar.

⁷ Ing. Materiales Refractarios – Instituto Argentino de Siderurgia.



1 INTRODUCCION

La acería de Ternium Siderar produce 2,8 millones de toneladas anuales a través del proceso convertidor al oxígeno (295 tn) – metalurgia secundaria (LF + TS) – colada continua, con un promedio de 45 coladas por día. La producción corresponde a aceros de bajo y medio carbono calmados al Al y al AL-Si.

La máquina de colada continua de planchones es de dos líneas con una secuencialidad promedio de 25 coladas por repartidor y un máximo de 35 coladas. El control de flujo del sistema repartidor – molde es mediante barra tapón (*stopper*). El posicionado de esta barra tapón es a través de un accionamiento electromecánico lineal controlado por un cilindro hidráulico.

En el período agosto de 2010 – agosto de 2011 se registraron 12 eventos debido a la rotura de la barra tapón; 10 de los cuales se presentaron en la línea 2 y dos en la línea 1.

Con la finalidad de identificar las causas de estos eventos se implementaron estudios termomecánicos sobre la barra tapón y sobre el mecanismo de accionamiento; caracterización del material refractario y análisis de las prácticas operativas correspondientes.

2 MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1 Modelo de Transitorios Térmicos Sobre la Barra Tapón

Se desarrolló un modelo de elementos finitos termomecánico acoplado para realizar el cálculo de los transitorios térmicos sobre la barra tapón durante las distintas fases del proceso, con su campo de tensiones asociado. El modelo pone de manifiesto el tipo de esfuerzo y las zonas más solicitadas durante las distintas fases de operación. Las condiciones de borde se presentan en la Figura 1. Dentro de los mecanismos de transferencia térmica entre el tapón y el medio se consideraron convección acero – refractario, y refractario – aire; así como radiación refractario – aire y escoria – refractario. En la Figura 2 se muestra la evolución de altura de nivel de repartidor sobre la cual se tuvo un evento.

La Figura 3 muestra el diagrama de tensiones de la barra tapón que se obtuvo a tiempo real según la evolución de altura de nivel de repartidor. Para este caso se analizó inicio de secuencia, cambio de cuchara y maniobra de desescoreo.

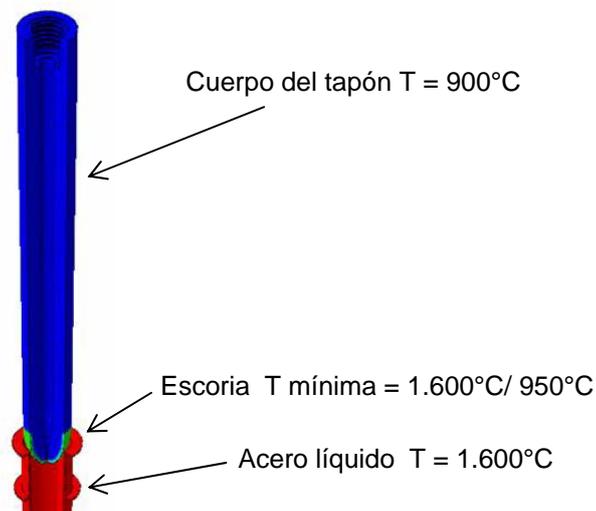


Figura 1. Condiciones de borde utilizadas en el modelo de elemento finito.

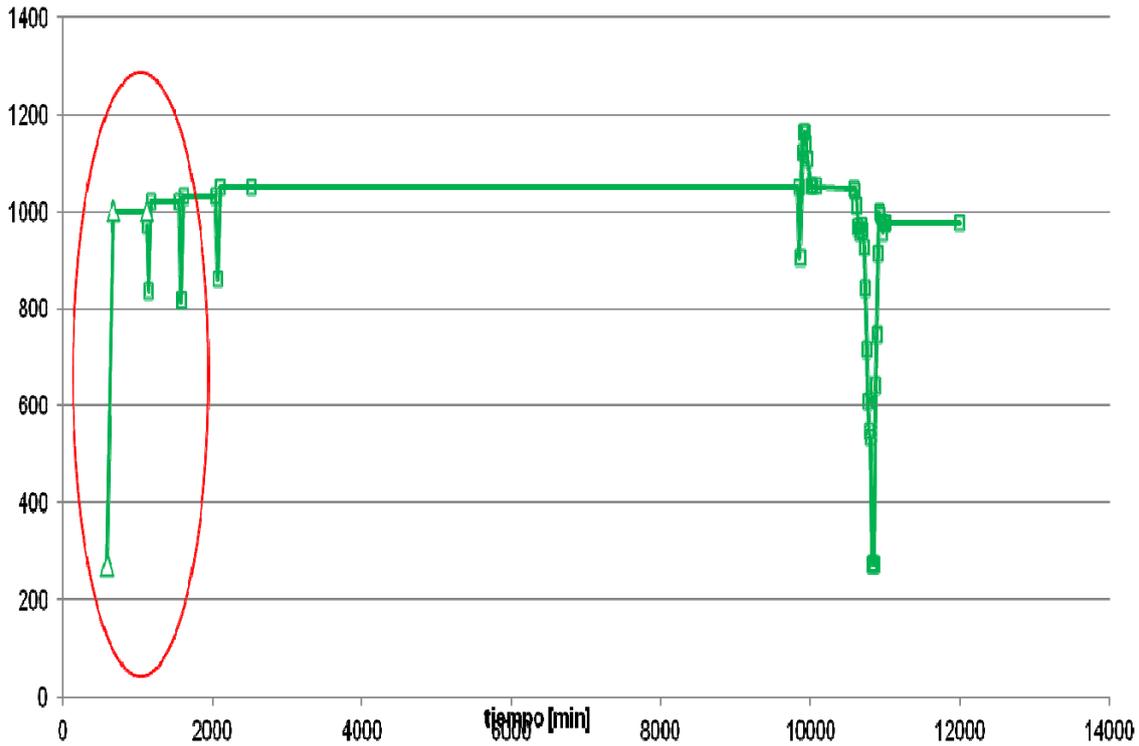


Figura 2. Evolución de altura de nivel de repartidor.

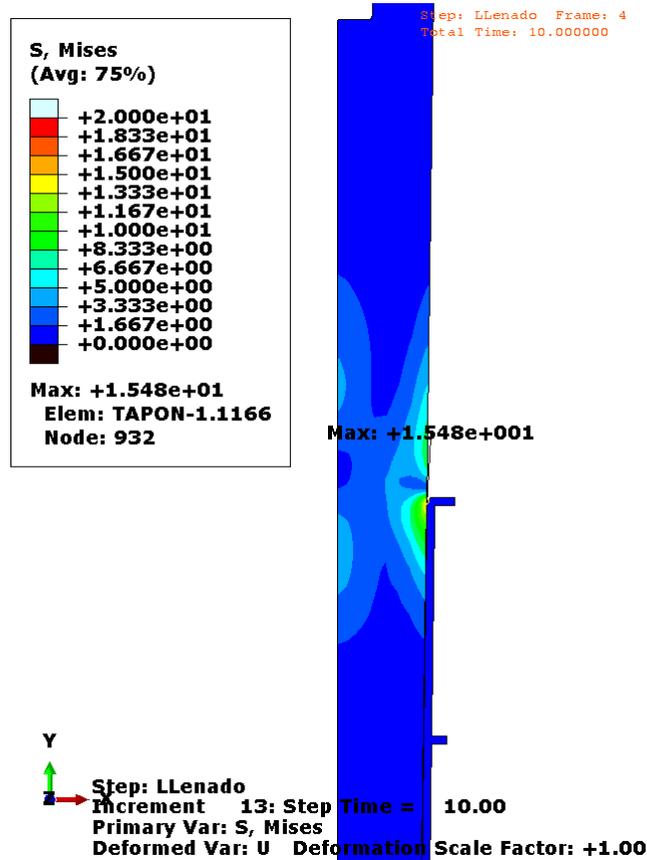


Figura 3. Diagrama de tensiones de la barra tapón a tiempo real según la evolución de altura de nivel de repartidor.



2.2 Modelado de Efectos Mecánicos del Sistema de Accionamiento del Conjunto Barra Tapón – Brazo Mecánico

Se desarrolló un modelo de elementos finitos, considerando cargas iniciales gravitatorias del sistema. En la Figura 4 se presenta el conjunto barra tapón – brazo mecánico.

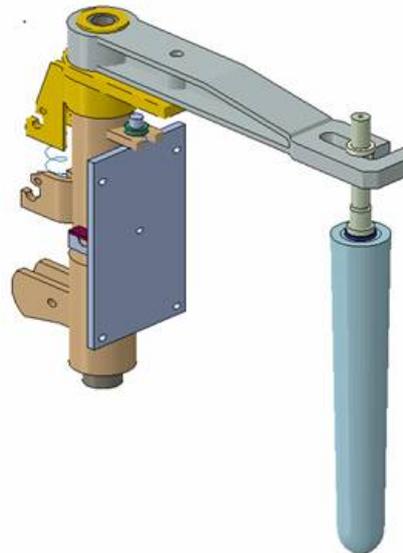


Figura 4. Sistema de accionamiento de la barra tapón.

Este análisis permitió determinar los valores de la matriz de rigidez del sistema precargado y en consecuencia los distintos modos de vibrar. En la Figura 5 se presentan los cuatro modos más representativos de los 300 analizados.

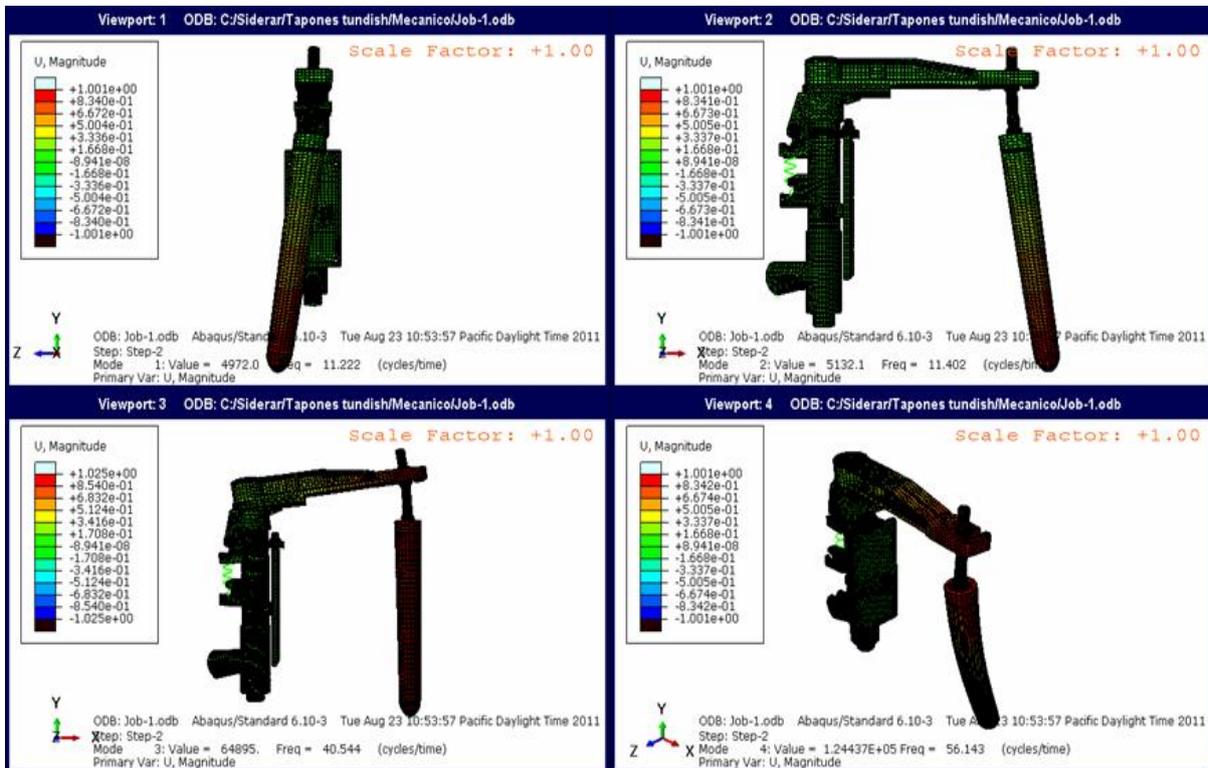


Figura 5. Modos de vibración más representativos del sistema de accionamiento.



Los distintos movimientos del sistema fueron analizados y representados a base de la información disponible en el sistema de nivel 2 (QNX): señales de excitación y posición real del mecanismo (Figura 6).

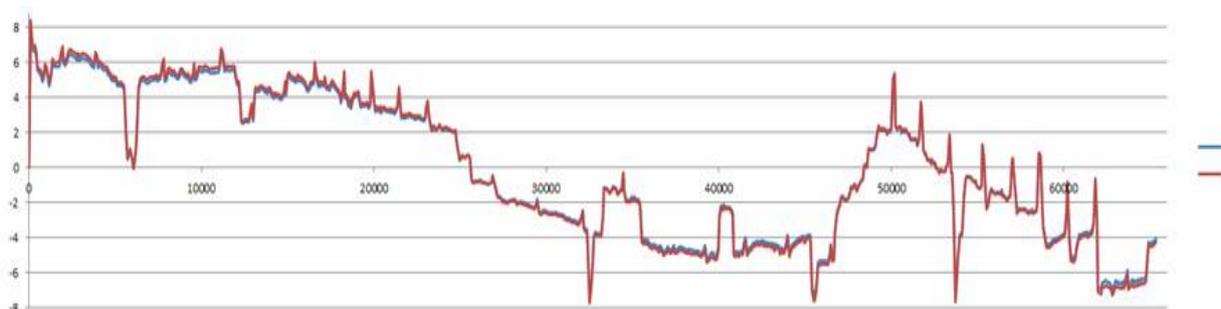


Figura 6. Movimientos del sistema de accionamiento.

2.3 Caracterización del Material Refractario del Cuerpo de la Barra Tapón

Los ensayos de caracterización llevados a cabo sobre el cuerpo de la barra tapón a 30 cm – 35 cm del extremo superior (zona de fractura en servicio) fueron:

- identificación de fases cristalinas por difracción de rayos X (DRX);
- composición química por fluorescencia de rayos x (FRX) y pérdida por calcinación a 950°C;
- determinación de propiedades físicas y mecánicas a temperatura ambiente
- determinación de la resistencia a la flexión en caliente (HMOR);
- dilatometría hasta 1.400°C con una velocidad de calentamiento / enfriamiento de 3°C / min en atmósfera de Ar;
- resistencia al choque térmico bajo procedimiento establecido por la norma ASTM C1171-05;
- análisis térmico diferencial y análisis termogravimétrico.

Estos ensayos se realizaron en forma comparativa tanto sobre una barra tapón de uso actual como sobre una barra tapón correspondiente a una partida del año 2008, con la finalidad de verificar las propiedades entre las mismas.

2.4 Prácticas Operativas

A raíz de los diferentes eventos ocurridos se implementaron modificaciones en las prácticas operativas. Entre ellas se pueden mencionar:

- secuencia: disminuir la cantidad de coladas de uso de las barra tapón;
- escoria: disminuir la frecuencia de desescoreo;
- controlar el pasaje de escoria de cuchara al repartidor.

3 RESULTADOS

3.1 Modelo de Transitorios Térmicos Sobre la Barra Tapón

Las correlaciones obtenidas de las simulaciones del modelo térmico en función del proceso de altura de nivel de repartidor (posición línea de escoria sobre el cuerpo de la barra tapón) se presentan en las Figuras 7 y 8.

En la Figura 7 se muestra que las tensiones máximas sobre la cara externa de la barra tapón no superan las tensiones máximas admisibles por la pieza. En cambio, las tensiones sobre la cara interna de la barra tapón son superiores a la máxima



admisible (Figura 8). Este efecto se puede observar en los tapones post mortem, tal como se muestra en la Figura 9, donde se observa la presencia de grietas internas en los mismos.

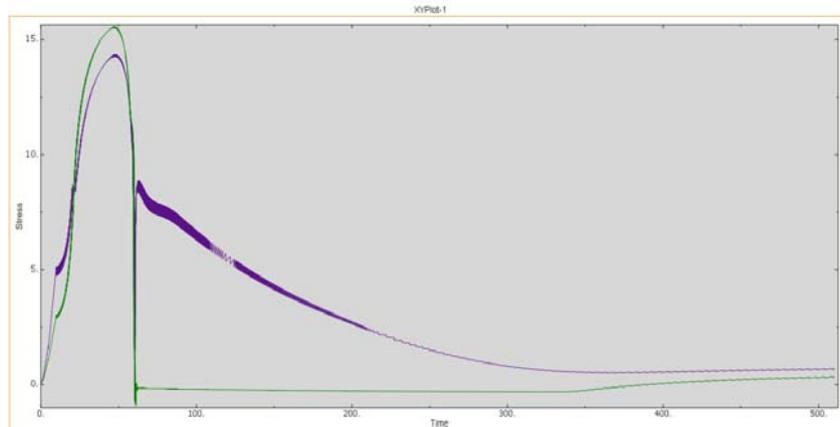


Figura 7. Tensiones máximas en MPa sobre la cara externa de la barra tapón.

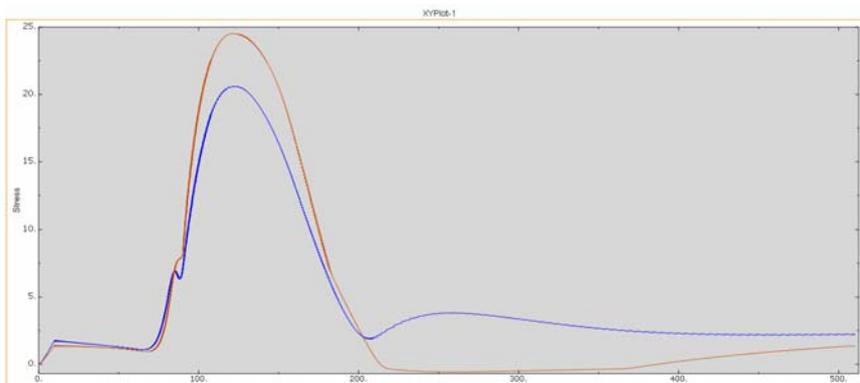


Figura 8. Tensiones en MPa sobre la cara interna de la barra tapón.



Figura 9. Fractura de barra tapón post mortem y presencia de grietas internas.

3.2 Modelado de Efectos Mecánicos del Sistema de Accionamiento del Conjunto Barra Tapón – Brazo Mecánico

La acción de control no tiene consecuencia estructural sobre el tapón tal como se muestra en la distribución de tensiones y en los valores de aceleraciones



representados en la Figura 10. La aceleración máxima del desplazamiento del sistema de accionamiento determina tensiones de trabajo menores a 1 MPa.

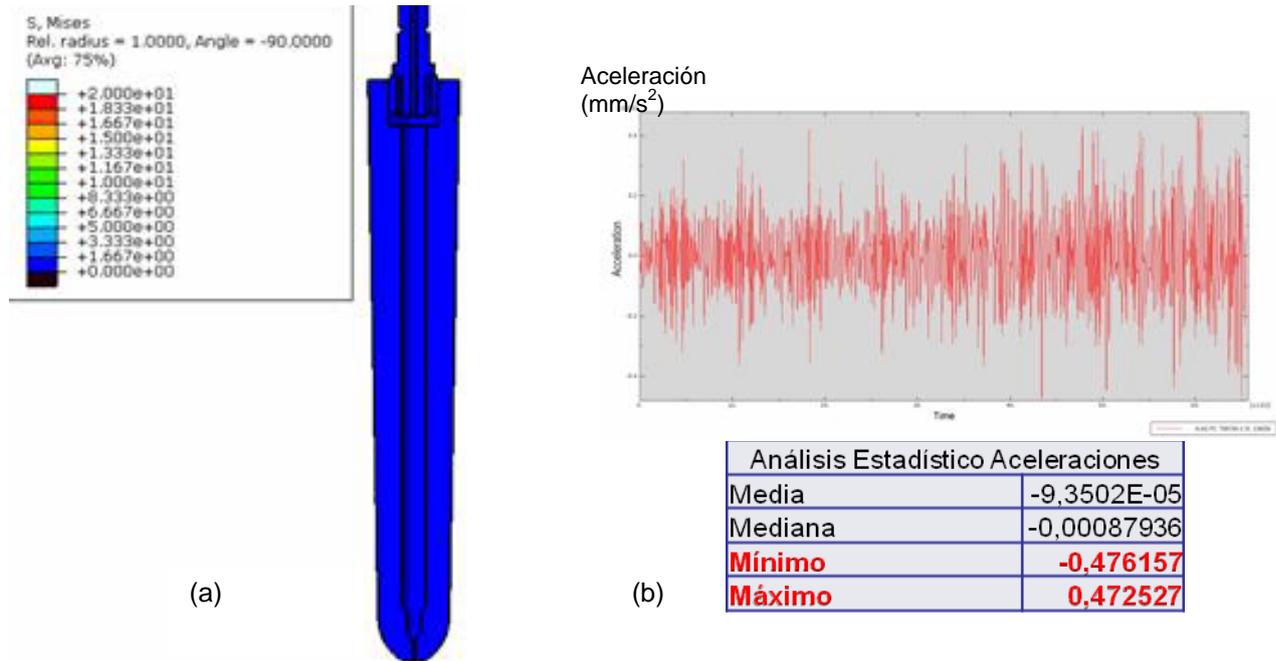


Figura 10. (a) Distribución de tensiones; (b) Valores de aceleraciones.

3.3 Caracterización del Material Refractario del Cuerpo de la Barra Tapón

Las fases cristalinas principales identificadas en el cuerpo de las dos barras tapón en estudio fueron: corindón (Al_2O_3), grafito (C), carburo de silicio (SiC) y silicio metálico (Si). En la Figura 11 se presenta la distribución de fases y elementos en la microestructura de una barra tapón correspondiente a la partida actual.

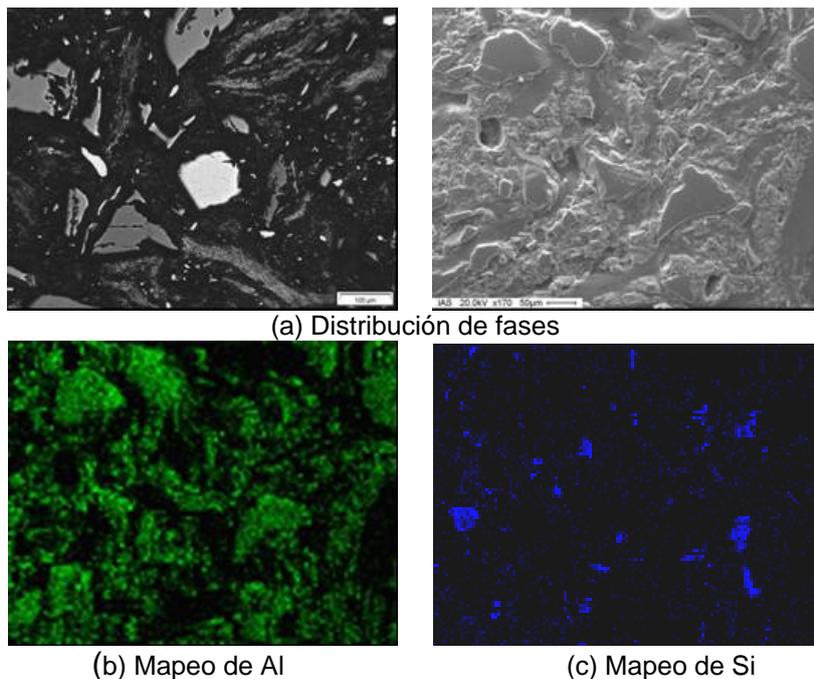


Figura 11. Distribución de fases y elementos en el cuerpo de la barra tapón.



La composición química del cuerpo de las dos barras tapón sin uso se presenta en la Tabla 1, así como también la pérdida por calcinación a 950°C.

Tabla 1. Composición química por FRX de las dos partidas de barra tapón

Cuerpo barra tapón	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	K ₂ O %	Fe ₂ O ₃ %	PxC %
Partida actual	62,2	16,2*	0,4	1,3	19,3
Partida año 2008	61,4	16,3*	0,4	0,8	20,6

* Si+SiO₂+SiC

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en la determinación de densidad y porosidad aparente, resistencia a la compresión y a la flexión y el módulo elástico a temperatura ambiente para las dos partidas de barra tapón en estudio. En cambio, en la Tabla 3 se presenta la resistencia a la flexión a 1.350°C y los valores de resistencia a la flexión después de someter las probetas al ensayo de choque térmico bajo dos gradientes térmicos (950°C y 1.100°C).

Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas de las dos partidas de barra tapón sin uso

Cuerpo barra tapón	Densidad (g/cm ³)	Porosidad aparente (%)	CCS (MPa)	MOR (MPa)	E (GPa)
Partida actual	2,67	15,4	24	10,5	15,6
Partida año 2008	2,65	16,1	27	8,8	-

Tabla 3. HMOR a 1.350°C y MOR post ensayo de choque térmico

Cuerpo barra tapón	HMOR 1.350°C (MPa)	MOR – Δ950°C (MPa)	MOR – Δ1.100°C (MPa)
Partida actual	5,9	9,1	8,7
Partida año 2008	-	7,9	7,6

La evolución dimensional del cuerpo de la barra tapón de uso actual, durante un ciclo de calentamiento – enfriamiento se presenta en la Figura 12, donde se observa que el material alcanza una expansión máxima de 0,73% a 1.400°C.

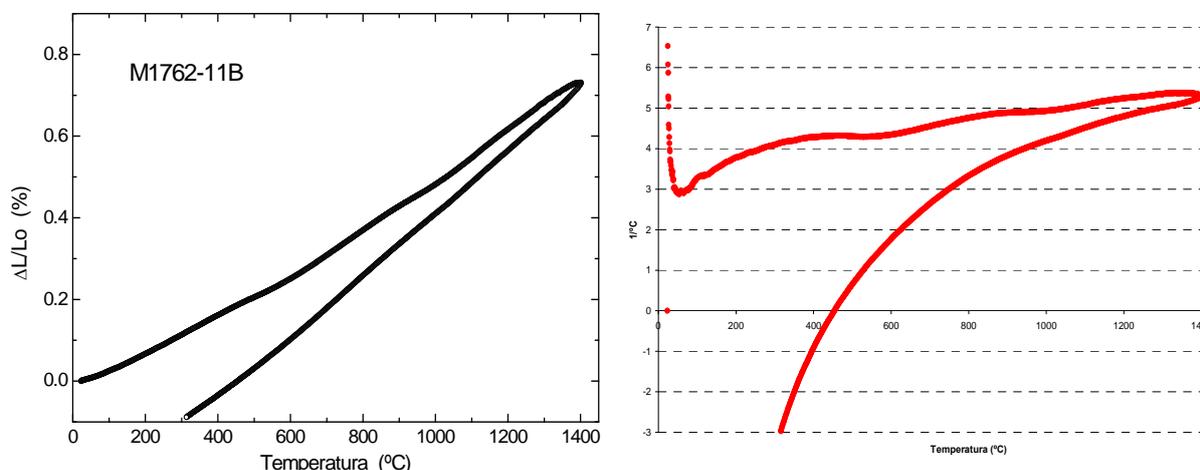


Figura 12. Curva dilatométrica y coeficiente de dilatación para el cuerpo de la barra tapón sin uso.



En la Figura 13 se presenta las curvas termogravimetricas de las dos barras en estudio, donde se observa:

- Pico exotérmico entre los 440°C y 640°C, correspondiente a la oxidación de la liga orgánica;
- pico exotérmico entre los 670°C y los 1.000°C, correspondiente a la oxidación del grafito y del Si. Generalmente el rango de oxidación de grafito es entre 700°C-950°C y el Si entre los 950 °C-1.050°C;
- los dos materiales presentan similar pérdida de peso hasta los 1.000°C: 19,5% para la barra correspondiente a la partida actual y 20,6% para la partida de año 2008;
- a partir de 1.100°C se observa un incremento de peso asociado a la oxidación del SiC.

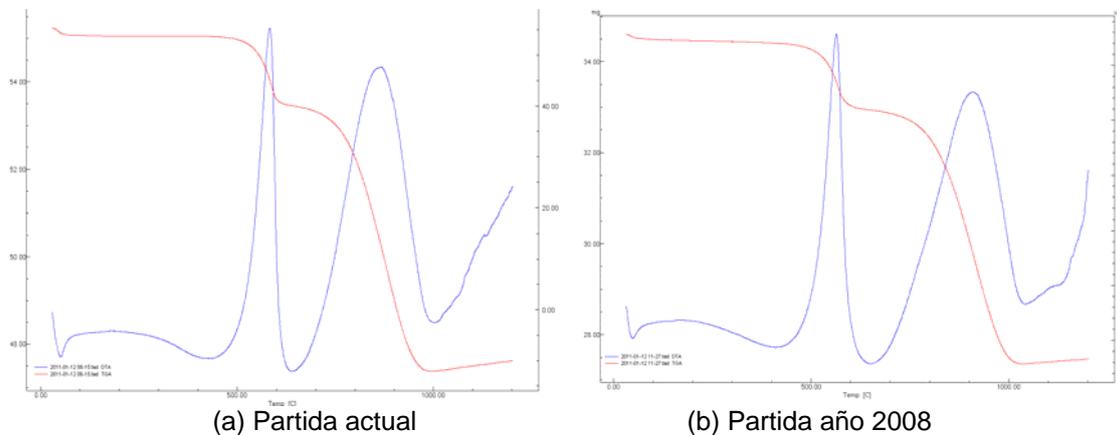


Figura 13. ATD – ATG de los dos materiales de la barra tapón en estudio.

4 DISCUSION

La vida de las barra tapón en servicio es de 20 horas, es decir unas 35 coladas. A raíz de la ocurrencia de eventos, la primera acción implementada fue una reducción de la cantidad de coladas de las mismas en operación, de 20 hs a 18 hs y posteriormente a 14 hs. A pesar de esta reducción se presentó un evento después de 16 coladas en servicio (8 hs de colado). Entonces, otra acción implementada fue disminuir la frecuencia de desescoreo, se pasó de 7 coladas a 9 coladas. También, se modificó la sensibilidad del detector de escoria con la finalidad de minimizar el pasaje de escoria de cuchara al repartidor.

Estas acciones implementadas permitieron trabajar por un período de 6 meses sin eventos. Luego, se presentaron tres nuevos eventos consecutivos.

El estudio termomecánico mediante el modelado de elementos finito revela que:

- el origen de la aparición de grietas es en el lado interno del cuerpo de la barra tapón, donde se superan la tensiones máximas admisibles debido a los gradiente térmicos directamente proporcionales a los bruscos cambios de nivel de altura acero – escoria en el repartidor;
- el sistema de accionamiento de la barra tapón no tiene efectos estructurales de importancia sobre el mismo.

En función de los ensayos de caracterización llevados a cabo, las dos partidas de barras tapón sin uso presentaron:

- valores similares de densidad y dentro del rango especificado por el proveedor;



- porosidad aparente dentro de los límites especificados y con leve dispersión entre las dos barras;
- composición química semejante y las mismas fases cristalinas;
- valores similares de pérdida por calcinación y coincidentes por diferentes técnicas (FRX vs ATG);
- semejante comportamiento termogravimétrico y termodiferencial.

En cuanto a las propiedades mecánicas, la partida de uso actual presenta mayor resistencia a la flexión en frío y después de los ensayos de choque térmico, pero con mayor porcentaje de pérdida de resistencia (Tabla 4). También, cabe destacar que no se observa diferencias significativas en la resistencia mecánica para los dos gradientes de temperatura (ΔT de 950 y 1.100°C).

Tabla 4. Porcentaje de pérdida de MOR luego del choque térmico

	MOR (% de pérdida)	
	950°C	1.100°C
Partida actual	11%	15%
Partida año 2008	5 %	9 %

5 CONCLUSIONES

Los estudios termomecánicos realizados por elemento finito corroboraron la generación de grietas internas en el cuerpo de la barra tapón debido a la acción de un gradiente térmico elevado en función de la altura de nivel acero-escoria en el repartidor. Estos estudios descartaron influencia de tensiones mecánica sobre las piezas a partir del mecanismo de accionamiento.

A través de los ensayos de caracterización realizados, las dos barras sin uso con fecha de fabricación con dos años de diferencia, presentan propiedades químicas, mineralógicas y físicas similares. La resistencia a la flexión en frío de la partida de uso actual es superior respecto a la del año 2008. Este comportamiento se mantiene después del ensayo de choque térmico pero con mayor pérdida resistencia residual.

La generación de eventos se asocia a problemas termomecánicos y de resistencia al choque térmico con mayor incidencia en la línea 2, esta presenta mayor exposición al ingreso de aire por su ubicación frente al canal de desescoreo.

Se comenzaron a implementar diferentes acciones con la finalidad reducir el gradiente térmico en el cuerpo de la barra tapón, tales como: reducción del espesor de pared, protección con manta cerámica, etc.