



## OPTIMIZACION DE LA VELOCIDAD DE COLADO Y AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD COLADA CONTINUA ACEROS AREQUIPA - PERU<sup>1</sup>

Harold Ayerve V.<sup>2</sup>

### Resumen

Con el objetivo de aumentar la producción en la Acería, se adquirió un transformador de 100MVA (+20%) para el horno eléctrico de 80t, en reemplazo de 45MVA, aumentando el ritmo de producción de 80t/h a 105 t/h (barras de construcción). La Máquina de Colada Continua es de 4 líneas, radio 5 m, sección 130x130mm; molde de 800mm. El ritmo de diseño y práctico de la máquina es de 98.7 t/h (Velocidad 3.2m/min); con esta nueva disposición no estaría en condiciones de operar en sintonía y flexibilidad con el horno, por lo cual se plantearon 3 escenarios: Aumentar las horas de trabajo, Aumentar una línea de colado o Incrementar el radio de la máquina. Estos tres planteamientos llevan consigo problemas de incrementos en energía eléctrica, horas hombre, inversiones considerables y/o paradas de planta de semanas para ejecución de proyectos. Con este fin, se planteó el objetivo de subir el ritmo a 125 t/h, con lo cual se revisaron, recalcularon y analizaron muchas restricciones de diseño (presión de enderezadoras, falta de agua, corto circuito en tundish, etc.) y se probaron todas las variables del proceso metalúrgico, concluyendo que se necesitaba hacer cambios mínimos en maquinaria, insumos del mismo costo y modificar todas las variables metalúrgicas de procesos, logrando en la actualidad alcanzar dicho objetivo, con un máximo de velocidades de colado de 4.5m/min y un ritmo de 134 t/h, lo cual nos convierte, para el tamaño de máquina, en una las coladas más rápidas del mundo.

**Palabras claves:** Superheat; Velocidad de colado; Molde parabólico.

### OPTIMIZATION OF CASTING VELOCITY AND INCREASE OF THE CONTINUOUS CASTING PRODUCTIVITY ACEROS AREQUIPA - PERU

#### Abstract

In order to increase production at the steelworks, was reserved in 100MVA (+20%) transformer for 80t electric furnace, replacing 45MVA, increasing the production rate of 80t/h to 105 t/h (bar construction). Continuous Casting Machine is 4 lines, 5m radius, section 130x130mm, 800mm mold. The production rate of design and practicality of the machine is 98.7 t/h (casting velocity 3.2m/min), with this new provision would not be able to operate in harmony and flexibility in the furnace, which were raised 3 situations: Increase working hours, adding a line of cast or increase the radius of the machine. These three approaches lead to problems of increases in electrical energy, man hours, significant investment and / or plant shutdowns of weeks for project implementation. To this end, the objective was to production rate to 125 t/h, which were reviewed, recalculated, reviewed many design constraints (straightening pressure, water, short circuit in tundish, etc.) and tested all metallurgical process variables and concluded that it needed to make small changes in machinery, supplies the same cost and modify all the variables metallurgical processes, currently making to achieve this objective, with maximum casting velocity of 4.5m/min and production rate of 134 t/h, making us, for the size of machine, one the world's fastest cast.

**Key words:** Superheat; Casting velocity; Parabolic mold.

<sup>1</sup> Contribución técnica al 42° Seminario de Acería, 15 al 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brazil.

<sup>2</sup> Jefe de Colada Continua, Corporación Aceros Arequipa S.A, Panam. Sur Km 241, Pisco – Perú, Phone:0051-56-532969(2260-2251), Fax:0051-56-532971, E-mail:hayerve@aasa.com.pe



## 1 INTRODUCCION

En este trabajo se presentarán las modificaciones necesarias de baja inversión comparada a un revamping de equipos, para que la máquina de colada continua no sea la restricción del ritmo de producción de la Acería, evitando congestión de cucharas y paradas del horno eléctrico.

La Velocidad de línea está limitado por muchos factores, los cuales pueden agruparse en dos grandes grupos: Restricciones de Diseño y Restricciones de Proceso, que a su vez pueden interrelacionarse.

Como restricciones de diseño tenemos el radio de curvatura pequeño (5m) el cual modificarlo involucra una inversión alta, además un tiempo de parada considerable, por lo tanto la longitud del molde y la longitud de la zona secundaria no podrán ser aumentadas. El tiempo de permanencia de acero en el tundish es muy bajo y aumentar el tamaño de dicho distribuidor ocasionaría un aumento de la capacidad de la grúa (nueva grúa puente) y la estructura de la nave (obra civil). Incrementar una o dos líneas de producción tampoco es la solución inmediata por el tiempo de parada necesario y el alto costo.

En cuanto a la longitud metalúrgica, sabiendo que se podía superar las velocidades de diseño se calculó la longitud metalúrgica proyectada alargando la zona de corte en cinco metros, para alcanzar la velocidad objetivo más un diez por ciento, esta modificación fue realizada íntegramente por el mismo personal del área.

Como restricciones de proceso, tenemos todas las variables que puedan ocasionar restricción de la velocidad de colado, perforaciones de línea o defectos en el producto, como flujo de agua primaria, ratio de agua secundaria, sincronización de la oscilación, presión de jaula extractora, etc.

Todas las restricciones han sido analizadas en forma teórica-práctica de manera de lograr el objetivo propuesto.

## 2 MATERIALES Y METODOS

Para los cálculos de transferencia de calor se tomó data histórica de agua primaria y fórmulas del Dr. Mandred Wolf, encontrándose un valor de coeficiente de transferencia de calor  $K$  de  $28.98 \text{ m/min}^{1/2}$ . En cuanto a los diámetros de buza de cuchara, buzas de tundish superior e inferior se usó ecuaciones básicas de descarga de fluidos.

Las modificaciones planteadas son las siguientes:

- Disminuir el superheat del acero para trabajar con el mínimo posible ( $10^{\circ}\text{C}$ ) en el tundish de manera de compensar el calor a extraer con el aumento de velocidad obteniendo una piel resistente.
- Incrementar el diámetro de la buza de cuchara de 32 a 38mm de manera que la cuchara pueda abastecer al tundish en la mayor parte del tiempo.
- Incrementar el diámetro de las buzas superiores de tundish de 19 a 21mm y el diámetro de las buzas inferiores (intercambiables) de 16.5 a 20 mm con medidas intermedias cada 0.5 mm.
- Colocar inhibidor de turbulencia al tundish para aumentar el bajo tiempo de permanencia del acero líquido (menor a 7 min) disminuyendo la probabilidad de corto circuito que conlleva a perforaciones por escoria de las líneas centrales.



- Aumentar el flujo de agua primaria de manera de lograr una mayor extracción de calor en el molde mejorando el espesor de piel.
- Desarrollar con los fabricantes de moldes una nueva conicidad parabólica que siga mejor la contracción del acero en el molde para una mejor extracción de calor.
- Reducir la marca de oscilación debido que en dicha marca al ser de bajo relieve, se pierde contacto acero-molde por tanto la extracción de calor disminuye, por ende debemos escoger una amplitud de carrera óptima y una frecuencia menor a 200cpm (limitación mecánica particular), para tener los mejores valores de tiempo de strip negativo, mould lead y pitch (distancia entre marcas) que reduzcan la profundidad de la marca de oscilación.
- Se debe revisar la cantidad de agua secundaria a trabajar considerando que en la parte baja de la zona secundaria la transferencia de calor es mucho menor ya que la piel solida no es muy buena conductora del calor que se extrae desde el núcleo líquido hacia la superficie en contacto con los sprays de agua.
- Se debe reducir la presión de las enderezadora para no causar abombamiento de la barra ya que se tendrá menor relación sólido/ líquido en el punto de enderezado.
- El porcentaje de tensión de interfase sólido/líquido a trabajar será de 0.52%, mayor al recomendado por el fabricante de la máquina.
- Se ampliará la distancia entre el menisco de acero en el molde hasta el punto de corte en 5m.

### 3 RESULTADOS

Se disminuyó el superheat encontrándose una relación entre dicho valor y el ritmo de la colada continua (velocidad de línea), observándose en la Figura 1; que para ritmos superiores a 125 t/h el superheat debe ser de 10°C, por debajo de estos valores se encontró una reducción de la fluidez de chorro de acero tundish-molde con la consecuencia pérdida de línea y de secuencia.

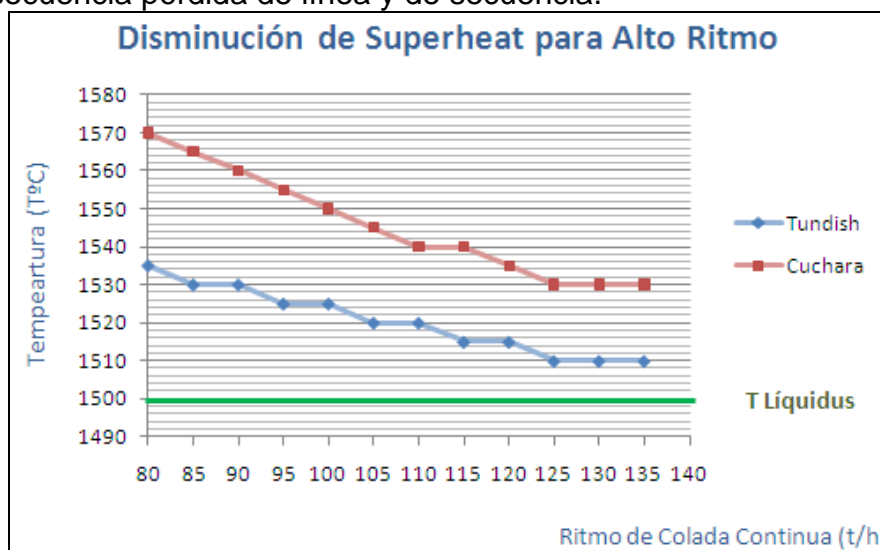


Figura 1. Relación Superheat vs Productividad.



De esta manera se ha compensado en parte el calor que tiene que extraer el agua del acero líquido a través del molde, para formar un espesor de piel resistente.

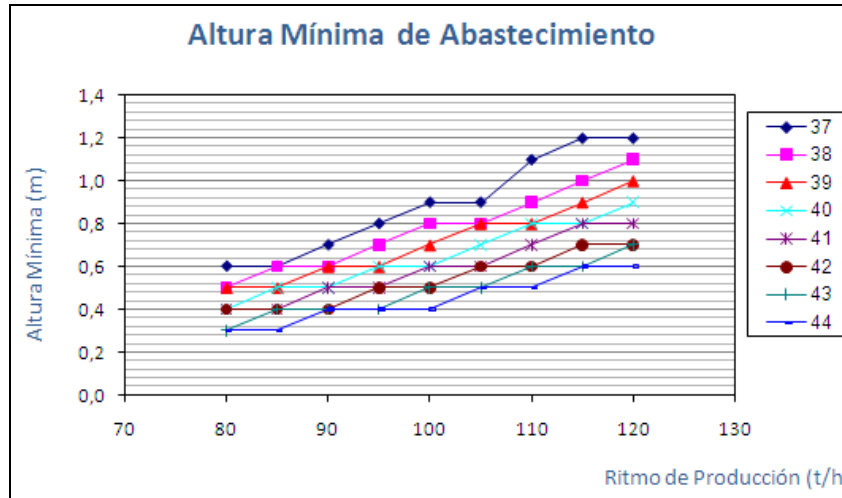


Figura 2. Abastecimiento de acero líquido cuchara-tundish.

En la Figura 2. se ha graficado teóricamente como a medida que disminuye el diámetro de la buza o al aumentar el ritmo de producción de la colada continua existe una altura mínima en la cual la cuchara no abastecerá al tundish, el cual a su vez trabaja con buzas mayores (18-20mm), disminuyendo la altura del acero en el distribuidor, reduciendo la presión ferrostática, por tanto la velocidad de línea. Con el cambio de sistemas de cuchara se puede empezar con una buza de 38 mm en reemplazo de 32 mm la cual a su vez con el desgaste colada a colada va incrementando su diámetro, logrando una reducción de la altura mínima de desabastecimiento de 2m hasta 0.6 m.

En un trabajo conjunto proveedor-cliente se realizaron pruebas con un molde de una conicidad diferente (línea amarilla). En la siguiente gráfica (Figura 3) se puede observar el cambio de conicidad del molde con el fin de seguir mejor la contracción del acero, logrando una mayor extracción de calor sin problemas de calidad, con respecto al molde triple taper (línea azul).

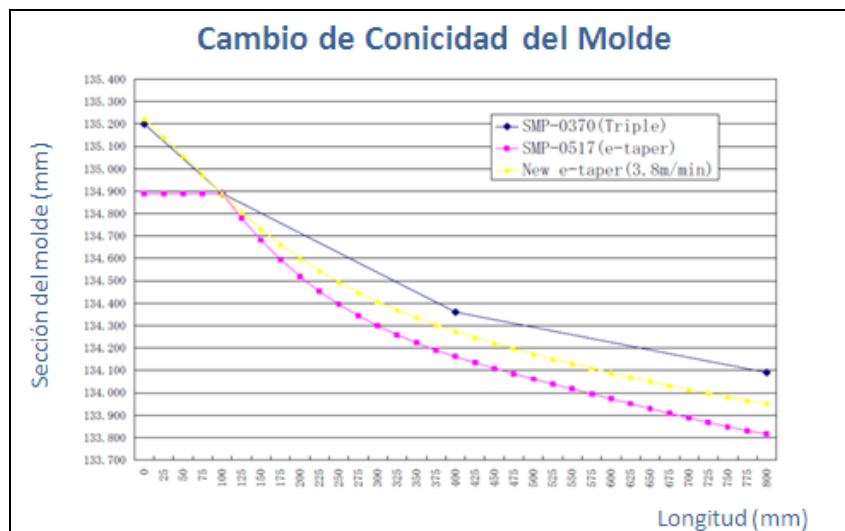


Figura 3. Conicidad Triple Taper vs Conicidad Parabólica.



Con el nuevo molde parabólico se probó diferentes valores de flujos de agua primaria, comprobándose que la mayor extracción de calor se da con flujo de agua 2000l/min (Velocidad de paso de agua 17.6 m/s), la extracción de calor en un molde no se da necesariamente con mayor flujo de agua debido a dos factores: Si el flujo de agua produce una elevada velocidad de agua en la camisa se reduce la transferencia de calor por turbulencia. Cuando el flujo de agua es muy alto, la extracción de calor se da en muy poca área, es decir la unidades de calor por mm cuadrado es elevada, produciendo que la piel solidificada se desprege del molde rápidamente reduciendo la transferencia de calor, además de deformar la conicidad del molde, cambiando en esta zona el taper a uno más abierto, aumentando el gape de aire, reduciendo también la transferencia de calor. En la Figura 4 y Figura 5 se muestra lo descrito.

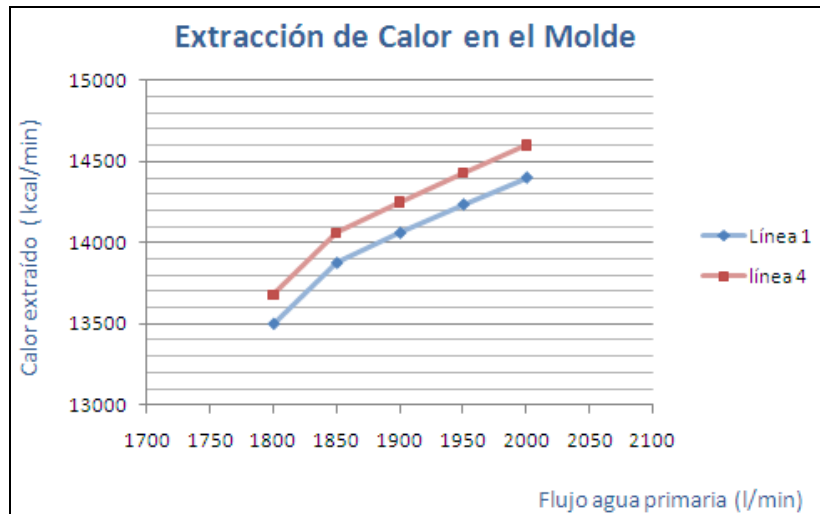


Figura 4. Conicidad Triple Taper vs Conicidad Parabólica.

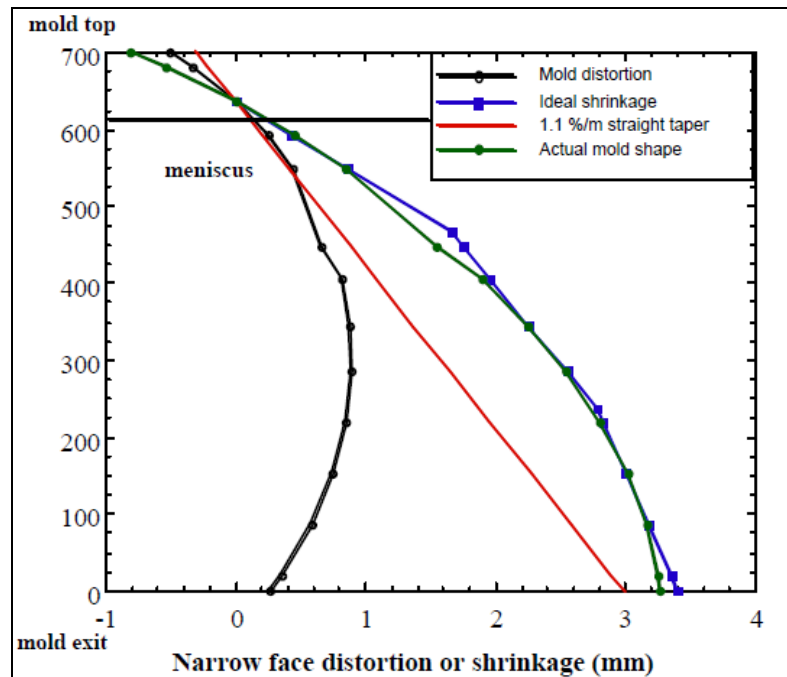


Figura 5. Distorsión de Conicidad.<sup>(9)</sup>



El incremento de la velocidad a su vez viene asociado a un incremento en la frecuencia para mantener la sincronización de la oscilación, en pruebas iniciales, las articulaciones de la mesa sufrieron daño, por lo que se limitó a 200 ciclos por minuto la frecuencia de trabajo, por lo cual, se aumentó el stroke a 15mm de manera de no exceder el valor de frecuencia, en la figura 6, puede observarse diferentes amplitudes de carrera siendo 15 mm (curva azul) la que cruza el rango óptimo de tiempo de strip negativo (NST).

En la curva de oscilación programada se modificó los valores de frecuencia para velocidades bajas, trabajando con un tiempo de strip negativo muy cercano a 0.12 s.

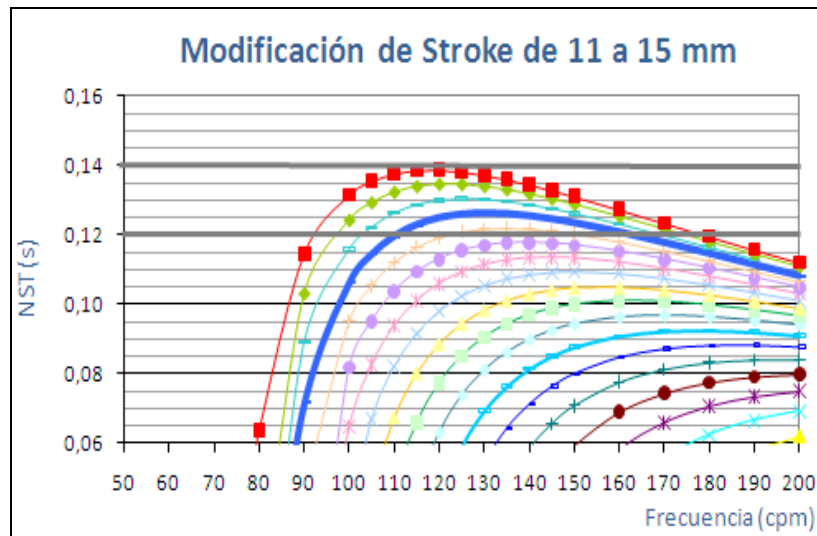


Figura 6. Aumento de la amplitud de de carrera.

En las pruebas iniciales se encontraron palanquillas con un fuerte abombamiento y luego de diferentes pruebas, con las limitaciones del sistema hidráulico se disminuyó la presión de las enderezadoras de manera de tener una diferencia de lados menor a la máxima tolerancia (menor a 3 mm). La gráfica actual se presenta a continuación.

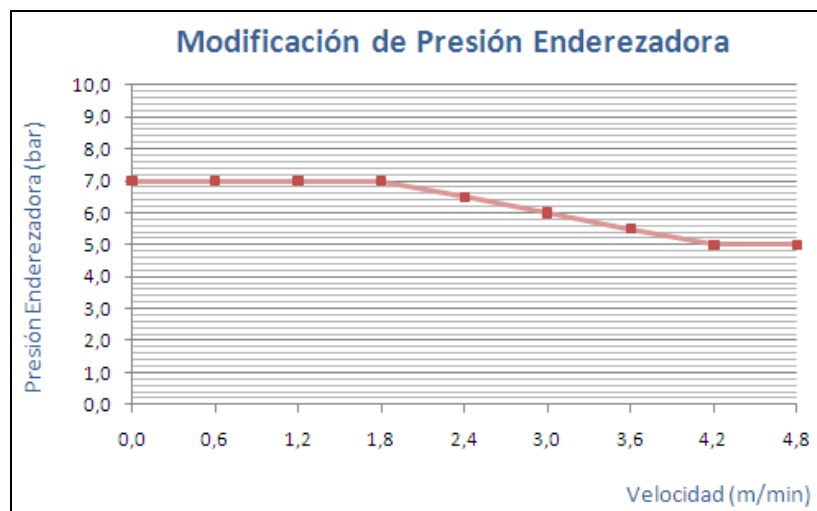


Figura 7. Variación de la Presión de Enderezado vs Velocidad de Línea.



Al aumentar la velocidad, aun con una mejor extracción de calor por el nuevo molde, la longitud metalúrgica se incrementó, haciendo necesario retrasar la zona de corte en cinco metros aproximadamente, con la cual no se encontró hasta el momento ningún tipo de presencia de líquido durante el corte. La Tabla 1 se basó en la constante de transferencia de calor encontrado antes de la modificación (menor velocidad).

**Tabla 1.** Tabulación de Longitud Metalúrgica

SECCION 130x130mm			
Velocidad de Línea (m/min)	Ritmo de Colada (t/h)	Diámetro de Buza (mm)	Longitud Metalúrgica (m)
2.0	63	13.4	10.1
2.1	66	13.7	10.6
2.2	69	14.0	11.1
2.3	72	14.3	11.6
2.4	75	14.7	12.1
2.5	79	15.0	12.6
2.6	82	15.2	13.1
2.7	85	15.5	13.6
2.8	88	15.8	14.1
2.9	91	16.1	14.6
3.0	94	16.4	15.1
3.1	97	16.7	15.6
3.2	101	16.9	16.1
3.3	104	17.2	16.6
3.4	107	17.4	17.1
3.5	110	17.7	17.6
3.6	113	17.9	18.1
3.7	116	18.2	18.6
3.8	119	18.4	19.1
3.9	123	18.7	19.6
4.0	126	18.9	20.1
4.1	129	19.1	20.6
4.2	132	19.4	21.1
4.3	135	19.6	21.6

**Garantía Fabricante**

**CAASA**

K= 28,98 ,m/min<sup>1/2</sup>  
S= 130 ,mm  
P Métrico= 131 kg/m

Distancia Menisco-Corte Anterior 16,85 m  
Distancia Menisco-Corte Modificada 22,00 m

Con los cálculos, cambios realizados y las pruebas descritas se ha logrado alcanzar velocidades de línea hasta de 4.5 m/min de manera continua, con un espesor de piel de 12 mm a la salida del molde. De esta manera se puede superar un ritmo de 130 t/h, como se aprecia en la figura N8 del software de control de proceso HMI.

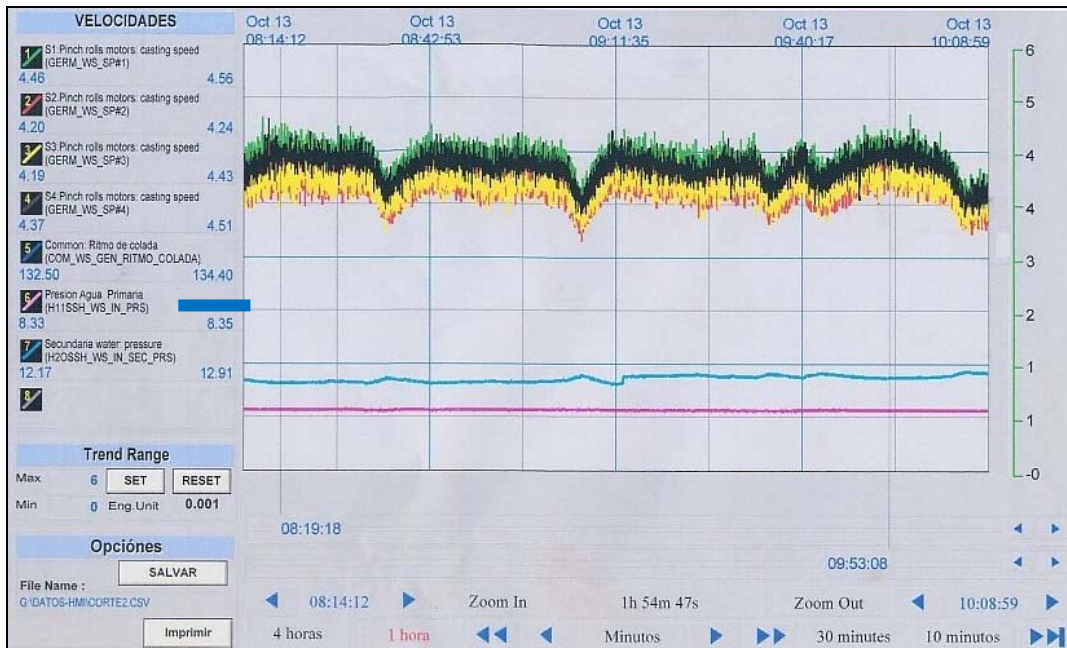


Figura 8. Gráfica de Control del Software de Automatización.

## 4 DISCUSION

El coeficiente de transferencia de calor  $K$  encontrado ( $28.98 \text{ m/min}^{1/2}$ ) es ligeramente menor al actual ( $30.5 \text{ m/min}^{1/2}$ ) debido a la diferente extracción de calor al tener nueva conicidad y diferentes parámetros de colado como velocidad y temperatura.

La velocidad obtenida ligeramente mayor al objetivo puede causar el uso de buzas de cuchara de mayor diámetro para no tener problema de desabastecimiento de acero en el tundish y su consiguiente reducción de la velocidad de línea.

Es muy importante la coordinación entre el horno cuchara y colada continua para el mantenimiento de la secuencia, de la calidad de la palanquilla y el alto ritmo de colado.

## 5 CONCLUSIONES:

Luego de los resultados obtenidos podemos concluir lo siguiente:

- Se superó el objetivo propuesto, alcanzando una velocidad de línea de  $4.5 \text{ m/min}$ , con lo cual una máquina de colada continua pequeña de 4 líneas y de  $5 \text{ m}$  de radio sin barra rígida, puede llegar a ritmos ligeramente superiores a  $130 \text{ t/h}$  logrando estar por encima del horno eléctrico, como deben ser por diseño; elevando la productividad de la Acería.
- La calidad de la palanquilla no ha sufrido variación debido a que se mantiene los niveles de calidad superficial e interna.
- Los equipos de la máquina de colada continua no han sufrido deterioro prematuro debido a los controles tomados preventivamente.
- Los cálculos teóricos básicos son herramientas muy importantes que describen el proceso claramente y permiten tener una línea base de donde pruebas preliminares.





- Las pruebas no siempre serán óptimas en los primeros intentos, pero no deben ser motivo para desanimarnos, más bien para reajustar valores teórico-prácticos y poder describir mejor el proceso, para su optimización posterior.
- Se debe siempre revisar primero el proceso, antes de hacer grandes inversiones y paradas de planta.
- Al disminuir el superheat se ha disminuido el tiempo de permanencia del acero en el horno cuchara, reduciendo energía eléctrica, consumo de electrodos y desgaste de la línea de escoria de las cucharas aumentando su vida útil.

### Agradecimientos

Un agradecimiento a los trabajadores y colegas del departamento de Acería de la Corporación Aceros Arequipa por el apoyo para la realización del presente trabajo.

A mi familia por ser la fuente de mi inspiración y un reconocimiento especial al Ing. Jorge Uyén Montoya maestro y guía por las lecciones aprendidas como profesional y como ser humano, a un año de su sensible fallecimiento.

### REFERENCIAS

- 1 "Basic Aspects of Moulds" – Brian G. Thomas – Brimacombe Continuous Casting Course – Canadá 2010
- 2 "Aspects of Mould Oscillation & Transverse Cracking" – E S Szekeres – Brimacombe Continuous Casting Course – Canadá 2010
- 3 "Solidification During Continuous Casting of Steel – Brimacombe Continuous Casting Course – Canadá 2010
- 4 "Evaluación técnica del sistema de oscilación de la máquina de colada continua" - Ing Jorge Uyén M. – CAASA - Perú 1993
- 5 "Lingotamento Continuo de Billets" - Lauro José Salles Chevrand, Guilherme Otavio Nogueira dos Reis – Brasil 1989