

Optimización de corte de barras en Colada Continua

Autor:

Aldo Javier Barreiro

VAI-INGDESI Automation

Albarellos 2620 – Capital Federal – Buenos Aires – Argentina

TE: +54 11 4573 2233

Email: jbarreiro@vai-ingdesi.com

1. Resumen

Objetivos: El cambio de grado de acero en una misma secuencia de tundish, así como también el desvío sobre los valores objetivos de ciertas variables de proceso, como por ejemplo flujo de agua de enfriamiento, oscilación de molde, presiones de enderezadoras, etc. traen aparejado el descarte de barras. El objetivo es calcular la posición exacta de los problemas mencionados dentro de la barra cortada, minimizando así el descarte y clasificando las barras en cuanto a su calidad.

Metodología: El sistema se basa en el tracking de acero, comprendido de tres partes principales: en primer lugar la señal de apertura y cierre de cuchara, segundo: el seguimiento del nivel de cambio de acero en el tundish mediante el cálculo del acero extraído por unidad de tiempo y por último el seguimiento del cambio de acero desde el molde hasta las cortadoras basado en la señal de los encoders de cada línea. El tracking de acero brinda el manejo de alarmas tecnológicas, asignando el inicio y fin de una alarma de proceso a una posición inicial y final dentro de uno o varias barras una vez cortadas.

Resultados: El conocimiento del avance del cambio de acero en las líneas, sobre todo tratándose de aceros de distinto grado, es de gran utilidad para el cambio de recetas en el momento adecuado en la oscilación de molde (cuando las recetas dependen del grado de acero) y para el cambio en el momento adecuado de las recetas de flujo de agua de enfriamiento secundario. Esto refleja una mejora en la calidad de las barras producidas que contienen un cambio de colada. Al conocer la posición del cambio de colada en una barra, se generara menos descarte en el momento de su corte.

El tracking es la base para el manejo de alarmas tecnológicas, de manera de poder asignar las alarmas ocurridas durante el proceso a un billet cortado, indicando la posición exacta de la alarma dentro del billet. El manejo de alarmas tecnológicas abre un amplio campo de toma de decisiones sobre cada barra.

2. Introducción

Hoy en día, mas del 94% de la demanda mundial de acero es producida con maquinas de colada continua. Substancialmente la maquina de colada continua consiste del puente o torre de la cuchara, la cuchara, el tundish, la oscilación y nivel de molde y el spray de agua donde el acero líquido sufre un enfriamiento y en su curso comienza a solidificarse. El flujo del acero, la distribución de las temperaturas y las concentraciones de las aleaciones en la cuchara y tundish, son de decisiva importancia para la calidad del acero en los billets [1]. Es de gran importancia por lo tanto, poder detectar las alarmas de proceso suscitadas en el tundish, en los moldes y en el resto de las líneas (sprays de enfriamiento) de manera de señalar las alarmas por desviaciones de variables de proceso en el billet conformado. A tal fin, se diseña un tracking de colada continua que permitirá asignar billets a una determinada colada y asignar problemas en el proceso a una determinada porción del billet, así como también señalar el cambio de grado de acero o cambio de colada en una determinada longitud de billet, permitiendo optimizar el corte de billets en submúltiplos detectando cuales de ellos son afectados por el cambio de colada o por el cambio de grado de acero.

El tracking de colada continua es un conjunto de programas distribuidos en distintos sistemas (PLC, HMI, Procesos Adquisidores, Reportes) y que es dependiente de la sensorística en campo. Esta división del sistema en distintas plataformas, es principalmente debido a que en parte se interactúa con la operación de la maquina a través de la interfaz hombre-maquina (HMI), por otro lado los cálculos críticos se realizan en el PLC debido a la robustez del mismo y finalmente hay procesos corriendo en una PC para realizar el manejo de datos que no puede ser programado en el PLC debido a su complejidad o volumen de datos.

En este sentido el sistema esta construido sin perder de vista el verdadero propósito del PLC el cual es hacer el “handling” de la maquina, implementar los lazos de control y realizar las secuencias de maquina en automático. De manera de no sobrecargar al PLC con operaciones que no son críticas y que pueden ser realizadas en alto nivel, así como también no provocar una complicación innecesaria en la programación del PLC, debido a que este utiliza instrucciones lógicas dedicada especialmente a los propósitos mencionados.

2.1 Objetivos del tracking

El tracking de colada continua esta integrado por sistemas programados en lógica de PLC, lenguajes de alto nivel y base de datos, con los siguientes objetivos:

- Escritura de setpoints de operación
- Alarmas tecnológicas
- Detección de cambio de colada en billets
- Generación de reportes por producto

2.1 Escritura de setpoints de operación

El conocimiento del avance del cambio de acero en las líneas, sobre todo tratándose de aceros de distinto grado, es de gran utilidad para el cambio de recetas en el momento adecuado en la oscilación de molde (cuando las recetas dependen del grado de acero) y para el cambio en el momento adecuado de las recetas de flujo de agua de enfriamiento secundario. Esto refleja una mejora en la calidad de las barras producidas que contienen un cambio de colada. [3] [4]

Con información de gestión suministrada por el HMI es posible saber el grado de acero de la colada en la línea y la sección del billet producido, y con datos de operación como la velocidad de colada se establecen los valores de referencia dinámicos (dependientes de la velocidad) para el enfriamiento secundario y oscilación de moldes.

2.2 Alarmas Tecnológicas

El tracking de acero brinda el manejo de alarmas tecnológicas, asignando el inicio y fin de una alarma de proceso a una posición inicial y final dentro de uno o varias barras una vez cortadas. Las alarmas de proceso sucedidas entre Moldes y Cortadoras son asignadas a los billets correspondientes una vez que estos son cortados. El sistema de alarmas tecnológicas calcula la posición dentro del billet de la alarma cuando esta se activa y la posición de la alarma dentro del billet cuando esta se desactiva, tomando como referencia absoluta la cabeza del billet. En el caso que la alarma dure más de un billet se tomara la posición de cuando la alarma se desactiva en el último billet en que la alarma estuvo presente.

2.3 Detección del cambio de colada en billets

Como un caso particular de las alarmas tecnológicas es posible identificar los billets en los que existen aceros de dos coladas diferentes. El sistema asigna el numero billet a una colada dependiendo de la cantidad de acero perteneciente a esa colada en el billet. Si se produjo un cambio de acero debajo de la cortadora, el siguiente billet cortado tendrá acero de dos coladas consecutivas. Dicho billet será asignado a aquella colada que conforme más del 50% de acero del billet que contiene el cambio. Además se puede señalar a que distancia de la cabeza del billet se encuentra el cambio de colada, ya sea de un mismo grado de acero o de grados de acero diferentes.

Se debe tener en cuenta, un entorno alrededor del punto señalado en el billet como cambio de acero, dicha banda de cambio de acero dependerá del modelo de mezcla de acero en el tundish, el cual depende de numerosos factores como el grado de acero, flujo de la cuchara al abrir, geometría del tundish, etc. [2]

2.4 Generación de reportes por productos

El sistema de tracking guarda tiempos, datos de proceso y gestión relacionados por el numero de colada. De esta manera se administran los datos para realizar distintos reportes en el sistema, agrupados en turno, día, mes, etc. usando como criterio de agrupación la identificación del producto, que en este caso es el número de colada. Asimismo se confeccionan reportes de billets: producción de billets por colada y reporte detallado de alarmas tecnológicas para cada billet.

3. Tracking de acero y tracking de Billets

El tracking de acero para la optimización de corte se divide en dos secciones principales:

- El tracking general
- El tracking de billets.

3.1 Tracking general

El tracking general es el tracking del acero desde la cuchara hasta las maquinas cortadoras. Es la base para el tracking de billets, y esta comprendido de tres partes principales:

- La primera parte del tracking general es regida por la señal de apertura y cierre de cuchara, la cual dará inicio y fin respectivamente a una nueva colada en la maquina. Los tiempos de colada se tomarán en referencia a estas señales. Esta señal indica el instante en el cual se debe comenzar con los cálculos para el seguimiento del cambio de colada en el tundish.

- La segunda parte, realiza el seguimiento del nivel de cambio de acero en el tundish mediante el cálculo del acero extraído por unidad de tiempo y el peso en tiempo real del tundish.
- Por último, se debe hacer el seguimiento del cambio de acero desde el molde hasta las cortadoras basado en la señal de los encoders (contadores de pulso) de los motores de las enderezadoras de cada línea.

El tracking general está relacionado con la bajada de setpoints en la máquina (sobre todo la tercera parte) y con la generación de reportes por productos. Además el tracking general sirve como alimentación para el tracking de billets.

La tercera parte del tracking general mencionada anteriormente, es la base para las alarmas tecnológicas, las cuales son completadas con el tracking de billets.

Para la programación del tracking general, se debe conocer el momento del inicio y fin de secuencia. Inicio de secuencia es la apertura de la primera cuchara de secuencia. El fin de secuencia es cuando la cola de la colada traspasa las cortadoras. Estas dos señales son requerimientos del tracking general. En el inicio de secuencia se debe incrementar el número de secuencia así como también resetear todos los contadores de longitud de secuencia.

3.2 Tracking de Billets

El tracking de billets asigna un número de colada y un número consecutivo de billet para esa colada una vez cortado un billet, además le asigna a dicho billets las alarmas tecnológicas presentes en la línea cuando el billet estaba en proceso de producción.

Las fuentes principales de información del tracking de billets, son el número de colada del acero presente debajo de la cortadora suministrado por el tracking general, y las señales de la máquina cortadora (en corte y finalización de corte).

4. Implementación

Para la implementación del tracking se utilizan como base, entre otras, las siguientes señales:

- Señal de apertura y cierre de cuchara
- Peso de Cuchara (necesario como control de los cálculos)
- Peso de Tundish en tiempo real
- Señales de los encoders de los motores de las enderezadoras / extractoras
- Señales de apertura de líneas
- Señales de corte de billet

Con la ayuda del HMI, el sistema de tracking recibe los datos necesarios para efectuar los cálculos relacionados con el tracking y las recetas referentes al enfriamiento secundario y oscilación de molde. Entre estos datos, se encuentra la sección de los moldes, la cual es necesaria para el realizar los cálculos del acero extraído del tundish por cada línea, para poder determinar cuando el cambio de colada llega a los moldes.

El sistema cuenta con un encoder en el motor de las enderezadoras/extractoras de cada línea. Dicho encoder se conecta a un “Hi-speed-counter” el cual está interconectado con el PLC, y mediante el cual se obtienen los pulsos que representan un ángulo de giro del rodillo extractor.

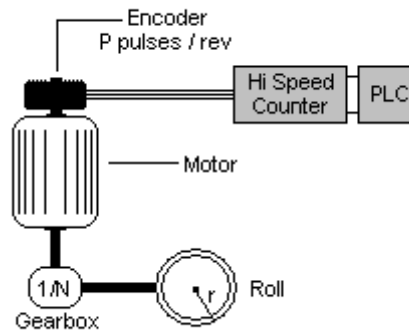


Figura 1. Motor enderezadoras-extractoras

Con los pulsos contados en cada muestreo y teniendo los siguientes parámetros como dato, se calcula el acero extraído del tundish:

Datos

- $P \left[\frac{\text{pulses}}{\text{rev}} \right]$ Pulsos por vuelta del encoder
- N Relación de engranajes (N vueltas de motor / 1 de rodillo)
- $r [\text{inches}]$ Radio del rodillo extractor
- $\Delta p_i [\text{pulses}]$ Pulsos contados entre dos muestreos en la línea i-esima
- $\partial \left[\frac{\text{lb}}{\text{inch}^3} \right]$ Densidad del acero
- S_i Sección del molde de la línea i-esima

Siendo Δp la cantidad de pulsos contados por el “Hi-speed-counter”, se calcula la unidad de longitud barra extraída desde el molde en un scan de muestreo (DL) como:

$\Delta l [\text{dec inches}]$ Longitud extraída entre dos muestreos en décimas.

$$\Delta l_i = 10 \cdot \frac{\Delta p_i}{P} \cdot r \cdot \frac{1}{N}$$

Sabiendo la densidad del acero utilizado (∂), con la sección del molde (S_i) se calcula el peso del acero extraído por cada línea en un scan ($W_i [\text{lb}]$):

$$W_i = \Delta l_i \cdot S_i \cdot \partial$$

Peso extraído total para n líneas en cada muestreo ($W_i [\text{lb}]$):

$$W_t = \sum_{i=1}^n W_i$$

En el momento que se obtiene la señal de apertura de cuchara sobre el tundish, se comienza a calcular el peso total de acero extraído del tundish. En el instante de la apertura de cuchara, se almacena en una variable el peso instantáneo del tundish. En cada muestreo que se calcula, se resta a este valor el diferencial de peso extraído del tundish, y de esta forma hacer el seguimiento del acero en el tundish de la colada previa. Llamamos a la colada presente en la cuchara, colada actual, y colada previa a la remanente en el tundish de la colada anterior a la presente en la cuchara en el momento de su apertura.

De manera que el peso de la colada previa en el tundish se calcula de la siguiente manera en cada scan:

$$WT_{PH} = W_{AP} - W_t$$

Donde WT_{PH} es el peso del tundish para la colada previa y W_{AP} es el peso del tundish en el momento de la apertura de cuchara.

Cuando el valor de WT_{PH} llega a cero, significa que la colada previa en el tundish ha finalizado, y que la nueva colada actual presente en la cuchara, ha llegado a los moldes. Todos los cálculos referidos a la colada, como por ejemplo demoras, promedios de variables por colada, etc. se refieren a la colada presente en los moldes.

En el grafico de la figura 2 se muestra el peso de cuchara (que sirve para la detección de apertura y cierre de cuchara), el peso del tundish y el peso calculado de la colada previa en el tundish, para varias coladas:

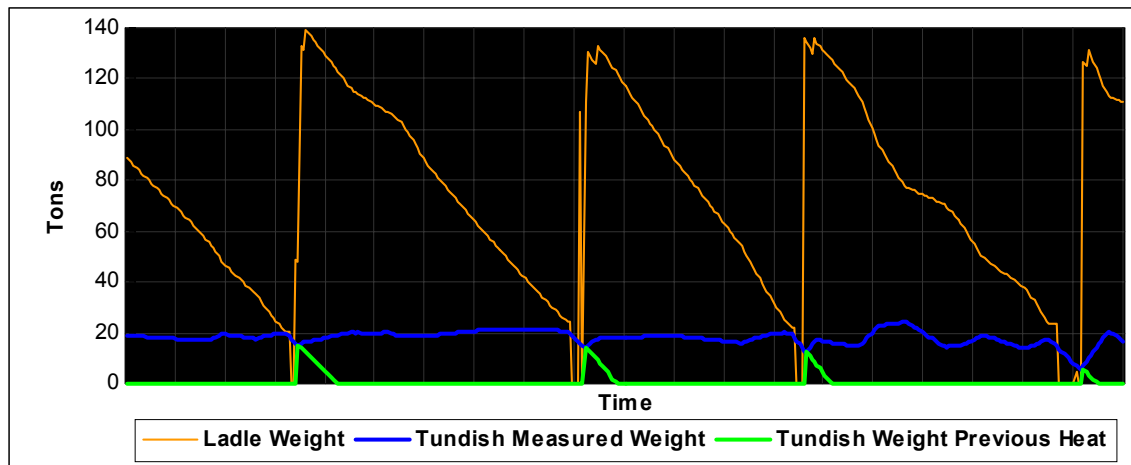


Figura 2. Peso de Cuchara / Tundish

En el grafico de la figura 3, se muestra el peso del tundish medido, y el peso de la colada previa en el tundish, mostrando el momento de cierre de la cuchara anterior y apertura de la nueva cuchara y el cálculo del peso total extraído del tundish en las líneas de acuerdo a las formulas anteriores.

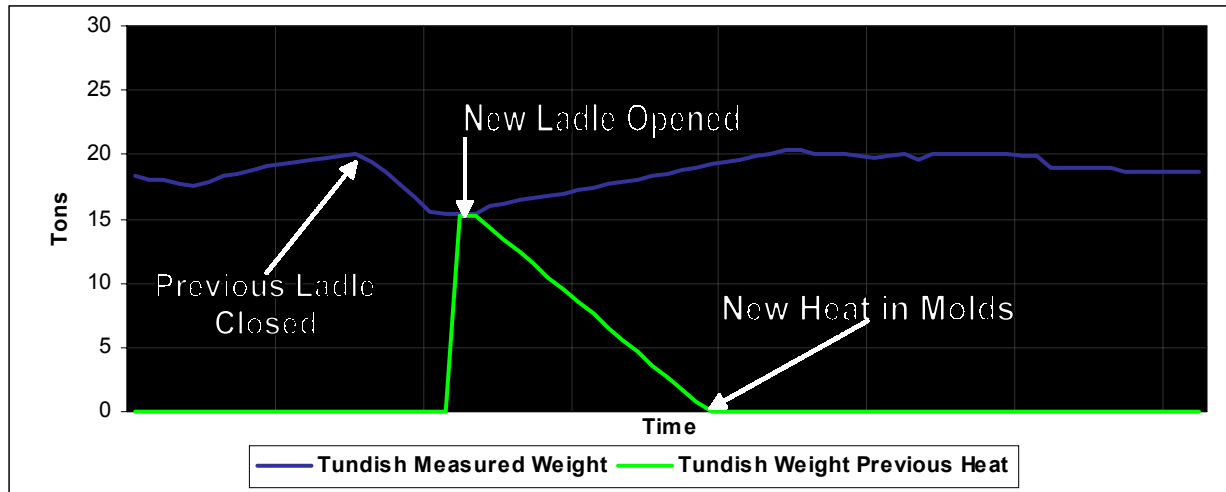


Figura 3. Peso medido de tundish y peso calculado de colada previa en tundish

En el mímico de la figura 4 se muestra el cambio de colada en el tundish. El sistema lleva todas las variables relacionadas con el cambio de colada, como por ejemplo el número de colada y el grado de acero. La colada superior en el tundish, es la misma colada que la señalada como Actual en la cuchara (se grafican en el siguiente mímico con el mismo color). Y la colada presente en la línea es la señalada como colada anterior en el tundish.

El mímico relacionado con el tracking y avance de colada en las líneas y alarmas tecnológicas, muestra todos los pesos en juego (colada en cuchara, colada actual en tundish y colada previa) así como también las longitudes de colada referidas al molde, longitudes de secuencia de coladas, y cortes de billets asignados a cada colada. En esta pantalla se observara el billet que contiene el cambio de colada, permitiendo identificar el billet y la posición del corte dentro del billet de manera de poder optimizar su corte posterior en submúltiplos.

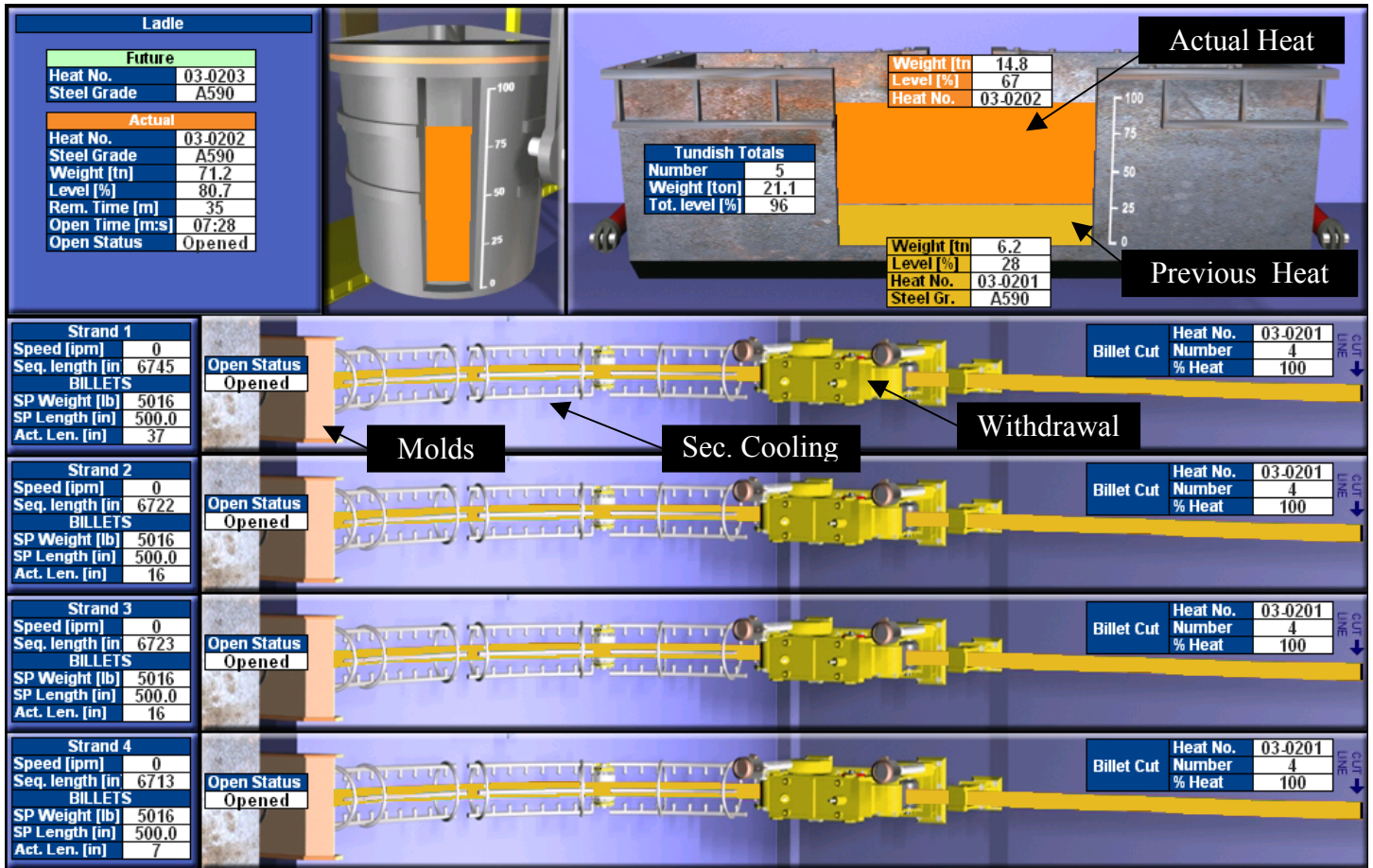


Figura 4. Mímico cambio de colada en tundish

A partir del momento en que el peso calculado de la colada previa en el tundish llega a cero, comienza el cálculo de la longitud de la colada nueva. Es decir, se pone en cero la longitud de la nueva colada y se realiza el seguimiento de la nueva colada hasta que sea reemplazada por otra en los moldes.

Cuando el cambio de colada sobrepasa los moldes y fluye hacia las cortadoras, se muestra el avance de la cabeza de colada en el mímico (como se observa en la figura 2), de la misma manera que se muestran las alarmas tecnológicas desde los moldes hasta las cortadoras.

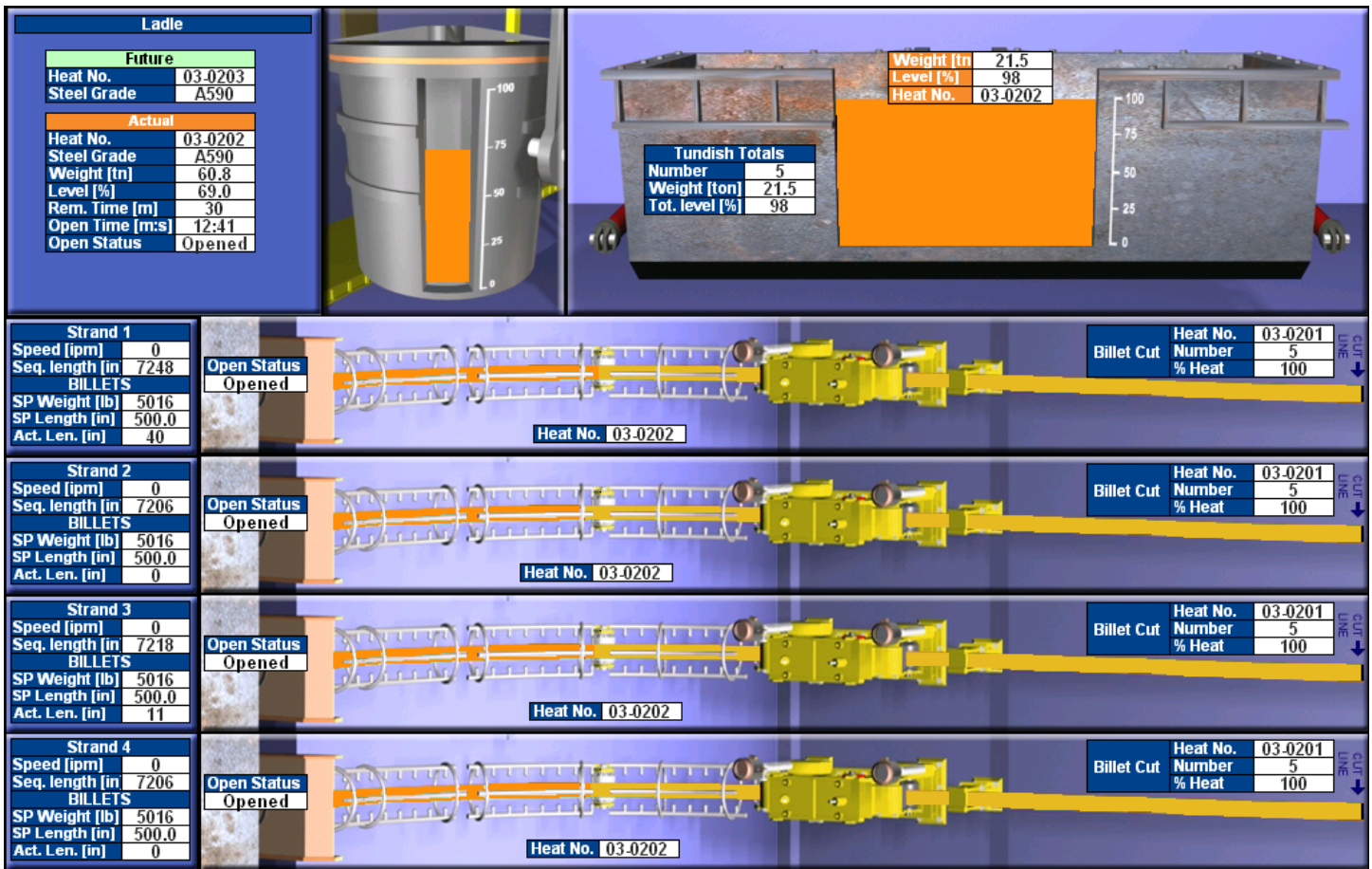


Figura 5. Avance de cambio de colada en las líneas

Se presenta aquí un listado de ejemplo de alarmas tecnológicas utilizadas en el sistema:

- Nivel de Molde
 - Nivel promedio fuera de banda de control interna
 - Nivel promedio fuera de banda de control externa.
- Enfriamiento Primario
 - Alta diferencia de temperatura en agua de enfriamiento primario
 - Falta de flujo de agua en agua de enfriamiento primario
- Enfriamiento Secundario
 - Diferencia de Promedio de flujo de agua de spray con setpoint de receta ALTO / BAJO (por cada zona de enfriamiento)
- Enderezadoras extractoras
 - Alarma en presión de enderezadoras

En la Figura 6 se muestra un reporte de alarmas tecnológicas generado por el sistema, en el cual se pueden ver aquellos billets que tuvieron alarmas cuando aun estaban en las líneas en proceso de fabricación.

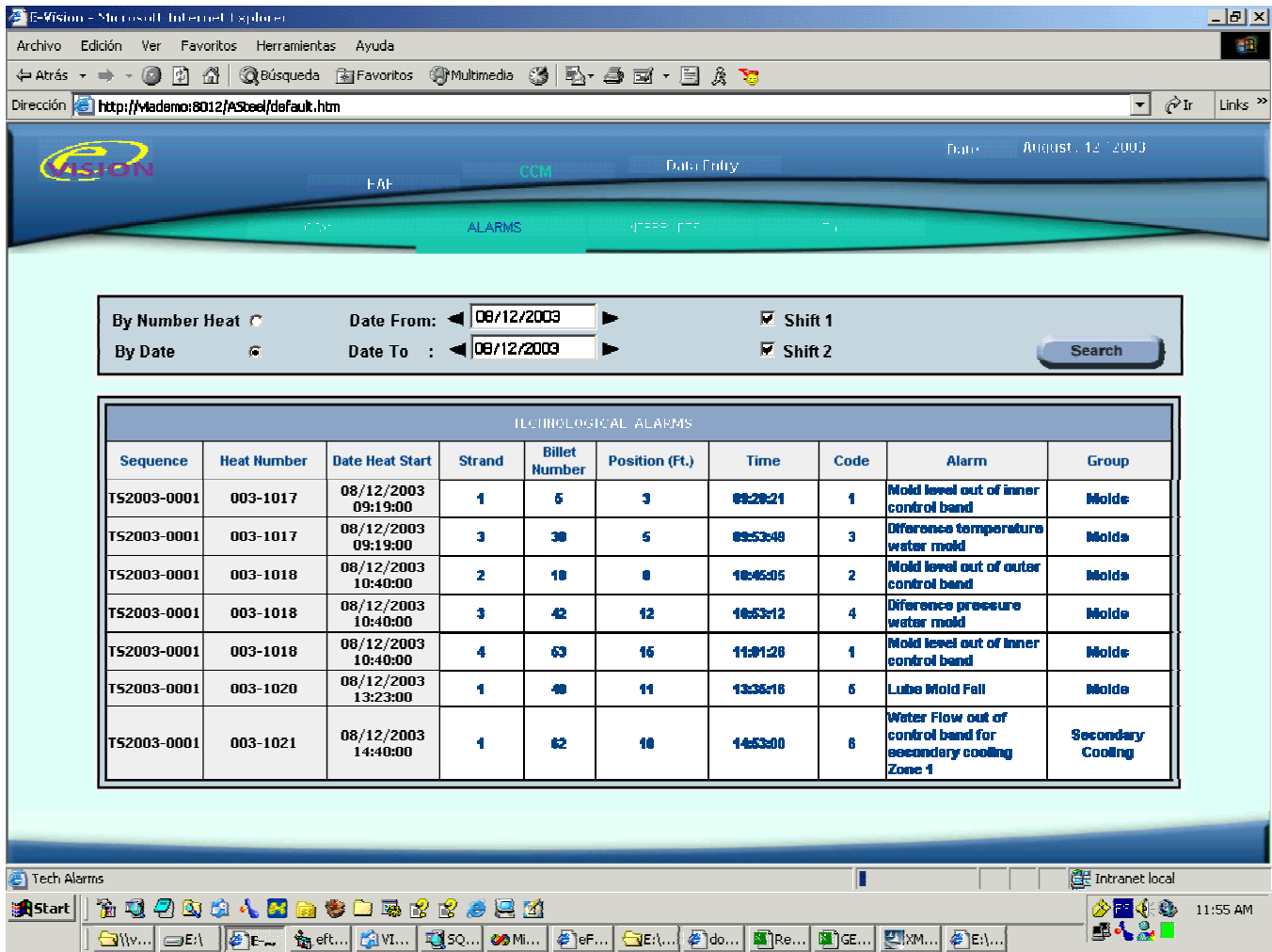


Figura 6. Alarmas tecnológicas

5. Tecnología utilizada

La tecnología utilizada en el sistema de tracking es la siguiente:

Software

- 1) Windows 2000 Server
- 2) Wonderware Intouch 8
- 3) MS SQL 2000 Server
- 4) Visual Basic
- 5) IIS 5 & Internet Explorer
- 6) AB OPC Server

Hardware

- 1) 3 PCs Pentium IV 1.7GHz
- 2) PLC: Allen Bradley PLC5/80E

El diagrama de la Figura 7 muestra la arquitectura del sistema:

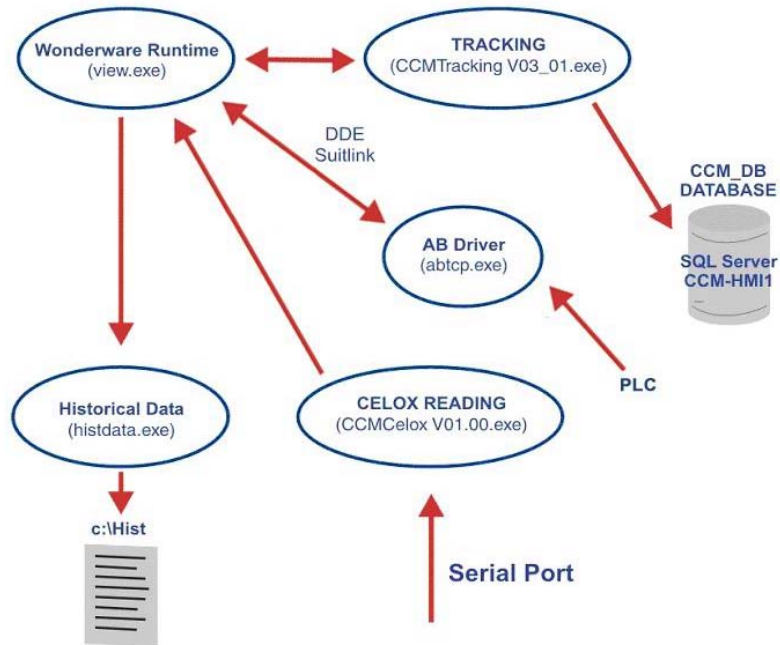


Figura 7. Arquitectura del sistema

El diagrama de red utilizado se muestra en la figura 8.

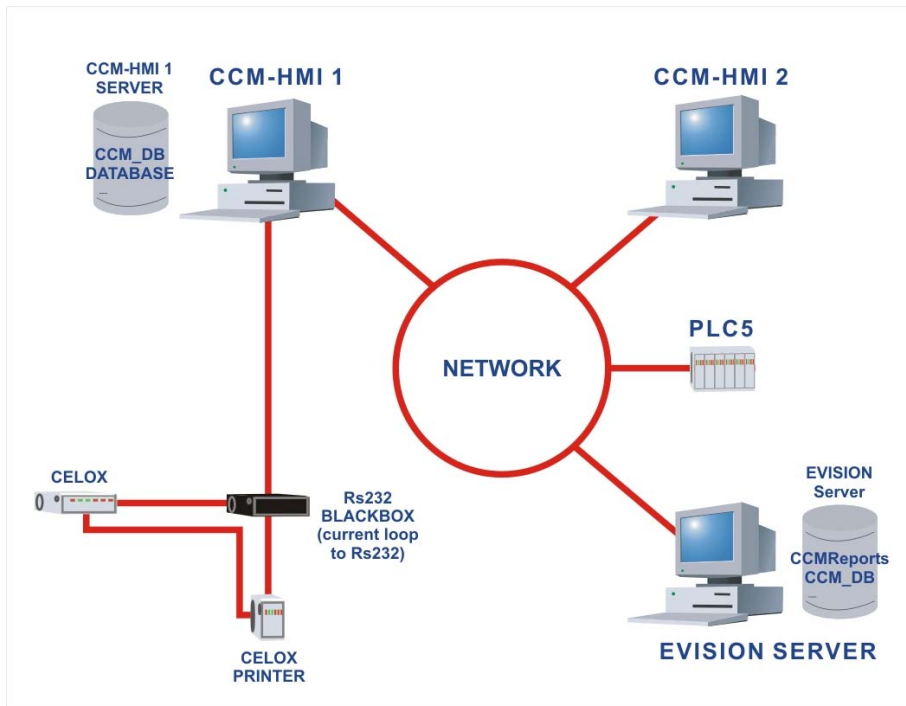


Figura 8. Esquema de red

7. Conclusión

El tracking de acero en las líneas, brindó las siguientes mejoras en la maquina de colada continua:

- Optimización en el cambio de recetas de enfriamiento y oscilación de molde de acuerdo al grado de acero. Esto permite que no existan billets afectados por el incorrecto enfriamiento secundario, ya que el sistema permite saber el momento exacto en que la nueva colada alcanza los moldes
- Identificación del billet conteniendo el cambio de acero y distancia a partir de la cabeza del billet de la franja conteniendo la mezcla de aceros, lo cual permite optimizar el corte en submúltiplos de dicho billet.
- El sistema de alarmas tecnológicas permite la toma de decisiones en la clasificación y detección de problemas en la calidad de los billets, permitiendo identificar solo los billets afectados por las alarmas de proceso para su descarte o tratamiento.
- Manejo de reportes de coladas y reporte de billets generados automáticamente. El reporte de producción de billets es potenciado con el reporte de alarmas tecnológicas adjuntas a cada billet.
- El sistema brinda toda la información en forma grafica, permitiendo mejorar la operación en el caso de cambio de colada o arranque de secuencia, como muestran los mímicos presentados en este trabajo.

8. Agradecimientos

En el desarrollo aquí expuesto trabajó el Ing. Gabriel Pulido al cual se agradece la colaboración para la confección de este trabajo y el desarrollo e implementación del sistema.

9. Bibliografía

[1] Odenthal H., Bölling R., Pfeifer H. “**NUMERICAL AND PHYSICAL SIMULATION OF TUNDISH FLUID FLOW PHENOMENA**”. 11 th Japan-Germany Seminar on Fundamentals of Iron and Steelmaking, 17.-18.09.2002, Düsseldorf, S. 86-98

[2] Thomas B. “**MODELING STUDY OF INTERMIXING IN TUNDISH AND STRAND DURING A CONTINUOUS-CASTING GRADE TRANSITION**”. Iron and Steelmaker (ISS Transactions), Vol. 24, No. 12, Iron and Steel Society, Warrendale, PA, 1997, pp.83-96.

[3] Hardin R., Liu K., Kapoor A. and Beckermann C. “**A TRANSIENT SIMULATION AND DYNAMIC SPRAY COOLING CONTROL MODEL FOR CONTINUOUS STEEL CASTING**”. METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS B VOLUME 34B, JUNE 2003—297

[4] Thomas B.G., “**CONTINUOUS CASTING: MODELING**” *The Encyclopedia of Advanced Materials*, (J.Dantzig, A. Greenwell, J. Michalczyk, eds.) Pergamon Elsevier Science Ltd., Oxford, UK, Vol. 2, 2001, 8p., (Revision 3, Oct. 12, 1999).