

“INNOVACIONES Y MEJORAS TECNOLOGICAS EN EL ENFRIAMIENTO SECUNDARIO DE LA COLADA CONTINUA DE SIDERAR” ⁽¹⁾

López Raúl Daniel, Olocco Juan Carlos ⁽²⁾
Balante Walter, Di Gresia Gustavo, Rubén Vénica ⁽²⁾
Hugo Riboldi, Benitez Guillermo, Capote López Sebastian ⁽²⁾
Martin Omar, Cataldo Miguel, Rodicio Horacio ⁽²⁾

RESUMEN:

El aumento de la producción, confiabilidad operativa y versatilidad de la Colada Continua de Desbastes de SIDERAR (CCD) para adaptarse a distintos tipos de productos con sus diferentes velocidades de colado, no sólo ha sido logrado en parte por la repotenciación de sus sistemas de enfriamiento, sino que también por la reorganización y racionalización del uso del agua de enfriamiento secundario y como así también con la incorporación de una serie de desarrollos tecnológicos propios que significan una innovación en este tipo de instalaciones.

En tal sentido se obtuvieron beneficios de versatilidad en cuanto poder ajustarse a un amplio rango de cambios de velocidades de colado de acuerdo a las distintas secciones (anchos y espesores) y también para colar distintas calidades de acero.

Palabras clave: Agua de spray, enfriamiento secundario, colada continua.

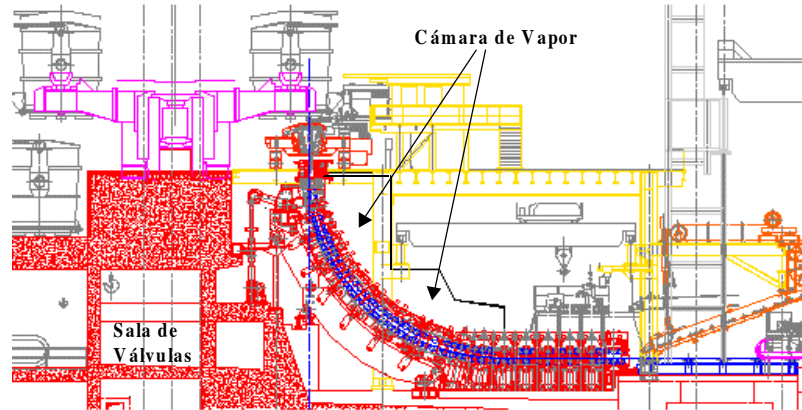
¹ Contribuição Técnica apresentada no XXXV SEMINÁRIO DE FUSÃO, REFINO E SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS, Salvador, BA, 17 a 19 Maio de 2004

² Siderar SAIC – Gerencia de Tecnología – Operación y Mantenimiento de Colada Continua – Automación y Control (San Nicolás, Pcia Bs As, República Argentina)

1. INTRODUCCION

El Sistema de Refrigeración Secundario de la Colada Continua de SIDERAR es del tipo convencional, constituida por picos rociadores dispuestos en 5 Zonas que tienen sus propios controles. En la **Figura N° 1** se ve la Cámara de Vapor y la Sala de Válvulas)

Figura N° 1



2. ZONAS DE ENFRIAMIENTO Y SUS DIVISIONES.

Originalmente el sistema de enfriamiento secundario contaba con solo 9 Grupos controlados por línea. Una de las mejoras constituyó en disponer mayor subdivisión en los controles y en el agregado de la nueva Zona 5. En la **Figura N° 2** se muestran todas las Zonas e indicado las posibilidades de los máximos y mínimos caudales expresados en lts/min.

Grupo:	Diam.	Caudales (Lts/min)	
		Max	Min
Lateral Derecho	2"	140	57
Lateral Izquierdo	2"	140	57
Anillo L.Móvil	2"	209	95
Anillo L.Fijo	2"	209	95
Zona 1a L. Móvil	3"	628	256
Zona 1a L. Fijo	3"	628	256
Zona 1b L. Móvil	3"	344	139
Zona 1b L.Fijo	3"	344	139
Zona 1b Extremos	3"	344	139
Zona 2 L. Móvil	4"	698	285
Zona 2 L. Fijo	4"	698	285
Zona 3 L. Móvil	3"	558	236
Zona 3 L. Fijo	3"	684	290
Zona 4 L. Móvil	2"	215	91
Zona 4 L. Fijo	2"	279	118
Zona 5 L. Móvil	2"	184	0
Zona 5 L. Fijo	2"	239	0
Total:		6541	2538

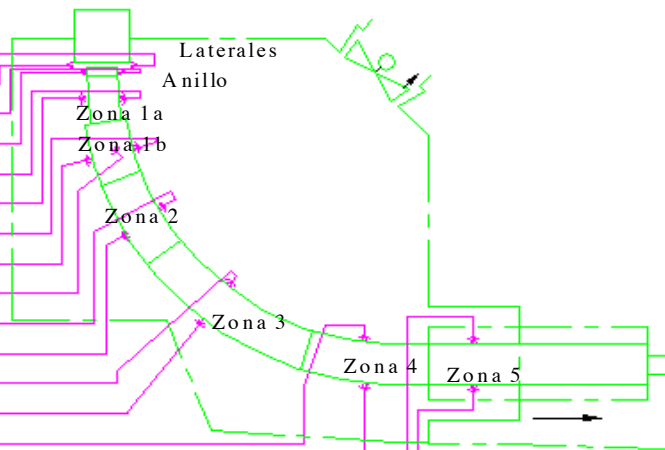


Figura N° 2

3. CONFIGURACION DE LOS PICOS ROCIADORES

A partir del año 1999 comenzaron a reemplazarse los modelos de los Picos Rociadores adaptándose a los requerimientos de extracción calórica y en la racionalización del agua y como así también en evitar sobreenfriamientos en las zonas extremas una vez solidificadas.

En la **Figura N° 3** se compara la configuración de Picos originales del Año 1985 con la actual (Año 2003) sólo para el caso del Lado Fijo (Lado Móvil y Laterales también se cambiaron)

REFERENCIAS:		AÑO 1985			AÑO 2003			APLICADO EN ZONA N°
SIMBOLO	TIPO	ANGULO	CAUDAL (1)	CANTIDAD	ANGULO	CAUDAL (1)	CANTIDAD	
▲	ABANICO PLANO	80°	10	11	80°	12.6	7	ANILLO
△	ABANICO PLANO	-	-		80°	6.3	4	ANILLO LADO EXTREMOS
●	CONO LLENO	65°	7	42	65°	8.5	30	ZONA 1A LADO EXTREMOS
○	CONO LLENO	-	-		65°	4.5	12	ZONA 1A LADO EXTREMOS
■	ABANICO PLANO	90°	12	18	110°	26.2	10	ZONA 1B
□	ABANICO PLANO	-	-		110°	8.7	10	ZONA 1B LADO EXTREMOS
◆	ABANICO PLANO	90°	12	30	110°	17.9	20	ZONA 2
▼	ABANICO PLANO	100°	1.2	30	110°	12.1	30	ZONA 3
●	ABANICO PLANO	100°	10	10	110°	20.5	10	ZONA 4
□	ABANICO PLANO	-	-		110°	19.7	9	ZONA 5

(1) Caudal de Referencia en Lts/min y a una Presión de 2,8 bar

Figura N° 3

4. RACIONALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA SECUNDARIA.

Los nuevos Picos fueron seleccionados también con el objeto de la racionalización del uso del Agua. Tal es el reemplazo de la anterior distribución del agua transversal al desbaste por una nueva distribución mas del tipo trapezoidal. En la **Figura N° 4** se comparan ambas situaciones para el caso de la **Zona 1b**. Se la subdividió en un nuevo Grupo (Zona 1b extremos) donde estos picos actúan sobre las partes extremas del desbaste. En el caso de desbastes de anchos menores de 1.100 mm, estos picos extremos no actúan (sólo un mínimo caudal para evitar su taponamiento)

Para anchos superiores a 1.100 mm, estos Picos extremos actúan pero con un caudal del 50 % con respecto a los Picos centrales (tanto Lado Fijo como Lado Móvil) y así se obtiene la figura trapezoidal de distribución de caudales de agua tal como lo mostrado. Así no se obtiene a su vez un sobreenfriamiento en los extremos que puedan producir grietas en la etapa del enderezado.

En cuanto a la distribución del agua a lo largo de la línea en solidificación, siguiendo una curva de distribución hiperbólica resultó ser la mas ventajosa metalúrgicamente tanto en calidad como en asegurar el corazón solidificado antes de salir de la zona soportada (Segmento 15). En la **Figura N° 5** están indicados los caudales específicos (Lts de Agua / Kg de Acero) para una velocidad de colada de 1,85 m/min y sección de 1650 x 200 mm.

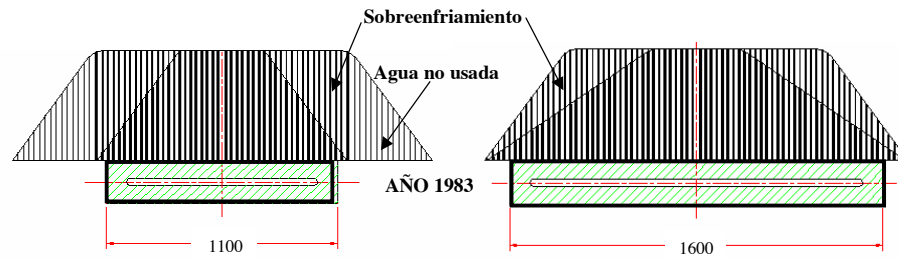


Figura N° 4

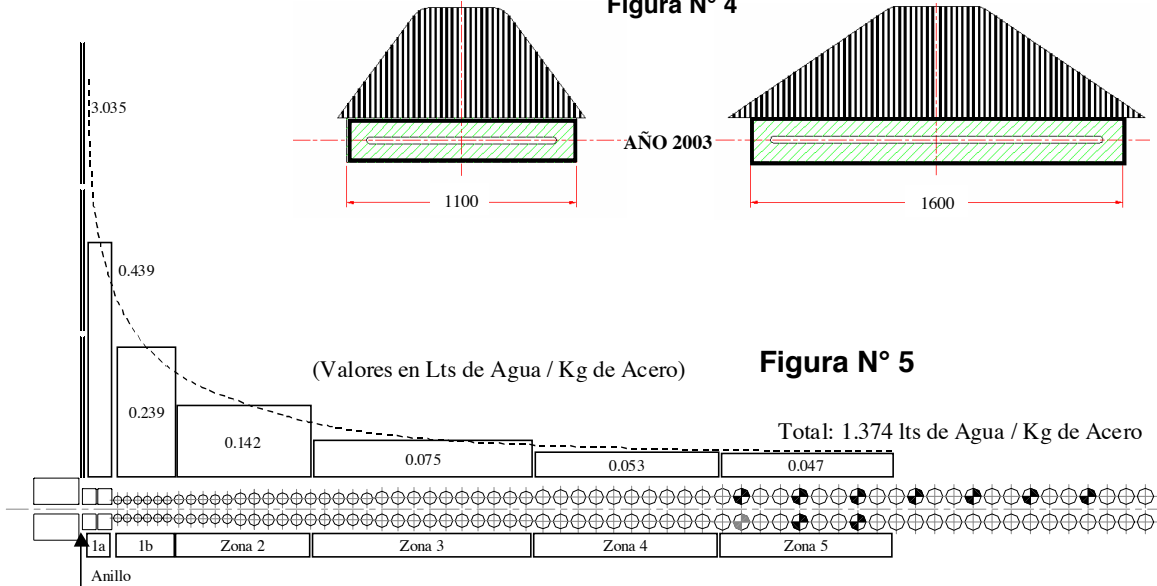


Figura N° 5

5. MODELIZACION FLUIDODINAMICA.

Para el nuevo diseño del actual sistema de enfriamiento secundario se procedió a realizar una modelización fluidodinámica aplicable a todos los caudales posible de agua. En primer lugar fue necesario determinar la curva de funcionamiento teórica del requerimiento de los caudales según las necesidades de la colada. Para ello se comienza el trabajo determinando las curvas características de todos los tipos de picos que responden a la ley indicada en la **Tabla**.

A manera de ejemplo se desarrollará como se ha procedido sólo con la “Zona del Anillo” que está constituida con los Picos cuyas características funcionales son las indicadas en el cuadro:

$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{P_1}}{\sqrt{P_2}}$	Para los picos centrales:	Para los picos laterales:
	Presión 2,8 Bar 12,6 l/min	Presión 2,8 Bar 6,3 l/min.
	Presión 6,0 Bar 18,5 l/min	Presión 6,0 Bar 9,3 l/min.

Con estos valores se despeja matemáticamente la constante “k” del pico:

$$k_{central} = \frac{Q_1}{\sqrt{P_1}} \cong \frac{Q_2}{\sqrt{P_2}} \cong \frac{12,6}{\sqrt{2,8}} \cong \frac{18,5}{\sqrt{6}} \cong 7,55 \Rightarrow P_x = \left(\frac{Q_x}{k_{central}} \right)^2 \Rightarrow Q_x = \sqrt{P_x} \times k_{central}$$

$$k_{lateral} = \frac{Q_1}{\sqrt{P_1}} \cong \frac{Q_2}{\sqrt{P_2}} \cong \frac{6,3}{\sqrt{2,8}} \cong \frac{9,3}{\sqrt{6}} \cong 3,8 \Rightarrow P_x = \left(\frac{Q_x}{k_{lateral}} \right)^2 \Rightarrow Q_x = \sqrt{P_x} \times k_{lateral}$$

Con estas ecuaciones se traza la gráfica de la ley del comportamiento de un pico lateral y la gráfica de un pico central que se aplican en las Vainas de la zona del Anillo, tanto en el Lado Fijo como en el Lado Móvil. (Ver **Figura N° 6** y **Figura N° 7**)

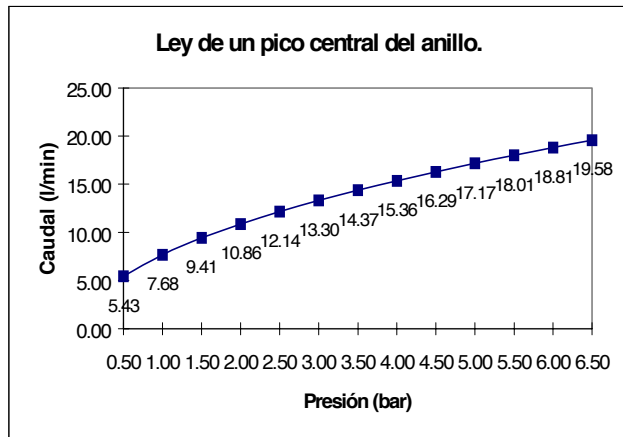


Figura N° 6

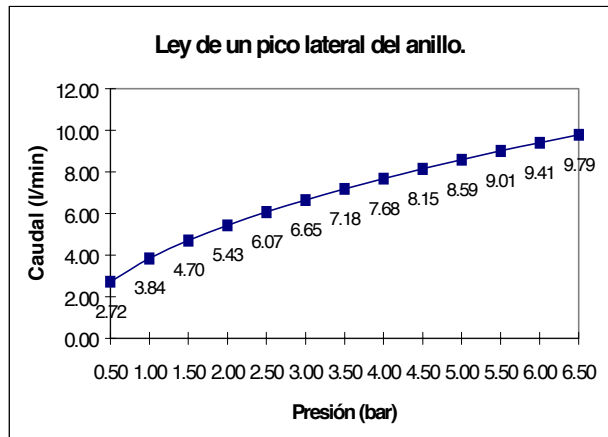


Figura N° 7

La vaina del anillo (Tanto lado Fijo como Móvil) posee 11 Picos cada uno, de los cuales 7 son centrales y 4 laterales. Con estas gráficas y sumando el efecto de los 11 Picos en total, se obtiene la gráfica de la ley del comportamiento de la Vaina. **La Figura N° 8** muestra la mencionada gráfica.

De esta manera ya se dispone del primer dato sobre que presión se debe contar en la Vaina para satisfacer los caudales deseados que impone la colada para esta Zona. Luego el Modelo calcula la diferencia de presión en la instalación desde la Vaina hasta el transductor de Presión en la Sala de Válvulas. Para ello se procede:

- □ Diferencia de altura geodésica: Se establece de los planos.
- □ Perdidas de carga: Se calculan las pérdidas de carga ocasionada por la instalación, (Longitud y diámetro de la cañería, rugosidad, accesorios, mangueras, etc.)
- □ Se obtiene la gráfica: Caudal-Presión para esta Zona conforme a lo mostrado en la **Figura N° 9**. Se puede observar la presión de trabajo de los picos, y la presión en correspondencia que debe registrar el transmisor de presión en la sala de válvulas.

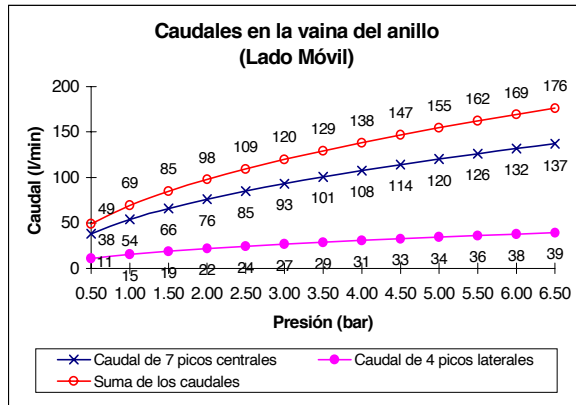


Figura N° 8

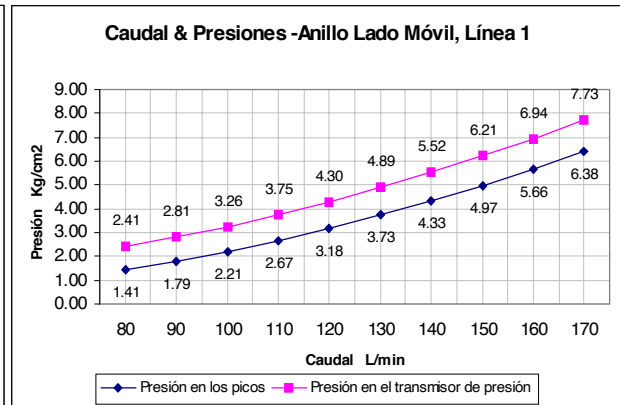


Figura N° 9

De igual manera se procede con las restantes Zonas del Sistema de Enfriamiento. Por otro lado se debe determinar la curva de funcionamiento del sistema de Bombeo (Bombas Principales y las Bombas Booster si corresponde que estén en servicio) que se explica en el próximo punto.

Todas estas ecuaciones son llevadas en conjunto a una Planilla Excel y así el Modelo permite calcular las condiciones de funcionamiento de todas las Zonas. La búsqueda del equilibrio en el punto deseado, es mediante la determinación de la pérdida de carga adicional que se requiere en cada Zona para encontrar el equilibrio mencionado. Son las Válvulas Reguladoras de Caudal las que compensan con la Pérdida de Carga de Ajuste. El Modelo calcula entonces cual debe ser el porcentaje de apertura necesario de cada una de las Válvulas y advertir si las mismas trabajarán en puntos razonables (Entre el 25 y 75 % de apertura) y como así también determinar si es necesario alguna modificación.

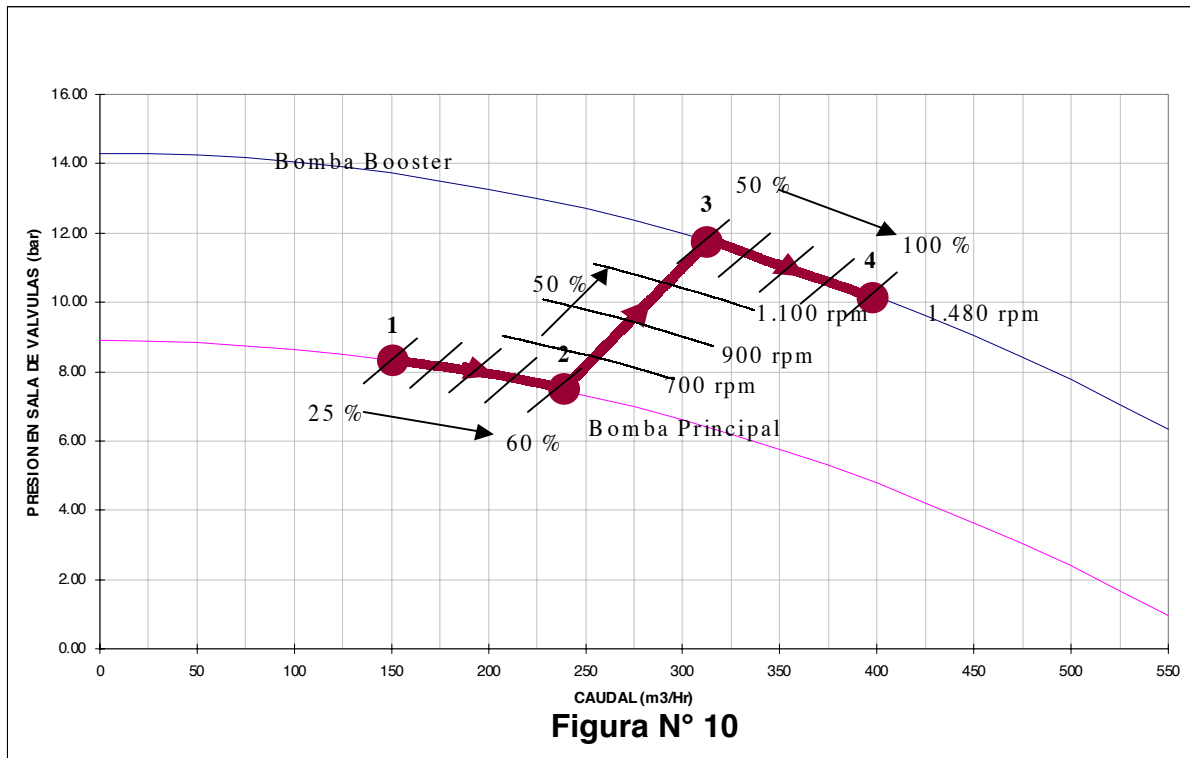
6. NUEVA INSTALACIÓN DE BOMBEO.

Con el objeto de incrementar los caudales de la refrigeración secundaria e independizar cada una de las dos líneas de colada se procedió a realizar un nuevo sistema de Bombeo que consistió en la incorporación de Bombas Booster independientes para cada línea y los motores de las mismas son a su vez accionados por Frecuencia Variable.

La opción de agregar las Bombas Booster quedó demostrada en la modelización. El sistema principal de Bombeo (que cuenta con 2 Bombas Centrifugas en operación y 2 en Stand By para las dos líneas) con el agregado en marcha de una 3er bomba principal no aportaba un mínimo incremento de caudal con el sistema de cañería de vinculación disponible.

Distinto es el resultado obtenido con las Bombas Booster donde los incrementos de caudales obtenidos fueron importantes. También con la opción de estas bombas fuera de servicio (en by-pass) o accionadas por frecuencia variable permitió una gran flexibilidad operativa por la posibilidad del amplio rango de caudales a poder satisfacer (Bajos caudales para aceros estructurales y altos para aceros comerciales). La modalidad operativa que prevé la operación en automático se ajusta a los pasos que se indican graficados en la **Figura N° 10** y a su vez en el

cuadro de la **Figura N° 11**. En la misma se aprecia la flexibilidad de ajustarse a los caudales según las distintas exigencias operativas.



Referencia	Caudal		Vál. Regulad. % de Apertura	Bomba Booster RPM	Observaciones
	(m3/Hr)	Lts/min			
Punto 1	150	2500	25%	0	*
Tramo 1-2	150 a 240	2500 a 4000	25% a 60%	0	
Punto 2	240	4000	50%	700	**
Tramo 2-3	240 a 315	4000 a 5250	50%	700 a 1480	***
Tramo 3-4	315 a 400	5250 a 6000	50% a 90%	1480	

Figura N° 11

(*) Mínimo Caudal posible parra Aceros Estructurales.

(**) Punto de arranque de la Bomba Booster

(***) Frecuencia Variable. Las Válvulas operan a un 50 % de apertura promedio

7. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DINAMICO.

El sistema de enfriamiento dinámico está basado en la división del “strand” (*) en porciones o fetas de igual longitud. El objetivo del sistema es calcular los caudales de las zonas para que la cantidad de agua recibida por cada feta al salir de cada zona de enfriamiento sea igual a un valor objetivo. Actualmente el sistema regula los caudales de las zonas 2, 3, 4 y 5.

(*) “strand” la cantidad de acero que hay entre el molde y la salida de la extractora (Zona de acero soportado)

El sistema tiene cuatro componentes principales: a) uno que se encarga del cálculo de los caudales, b) otro proceso denominado tracking de agua que se encarga de

contabilizar la cantidad de agua recibida por cada feta, c) otro proceso encargado de determinar los volúmenes de agua acumulada (este volumen es el objetivo del control) por feta para cada zona y finalmente d) un programa que baja los SP (Set Points) de caudal a cada una de las zonas de refrigeración. Todos estos programas están corriendo en el Sistema QNX instalado en la CCD

a) Cálculo de los caudales

Para alcanzar el objetivo de control, se calcula un caudal de agua que, a la velocidad actual de la línea, haga que el error entre el agua acumulada por feta y el agua acumulada deseada al salir de la zona para todas las fetas sea mínimo.

La expresión del error que se desea minimizar es:

$$E = \sum_{i=1}^{i=n} \left(SpA_z - \left(a_{zi} + q_z \cdot \frac{L_{zi}}{v} \cdot \frac{Lf}{L_z} \right) \right)^2 \quad \text{Donde:}$$

E : Error que se desea minimizar

SpA_z : Valor deseado agua acumulada por feta para la zona z

a_{zi} : Agua acumulada para la feta i de la zona z determinado por el tracking de agua

q_z : Caudal de agua de enfriamiento a calcular para la zona z

L_{zi} : Distancia desde la posición ocupada por la feta i hasta el final de la zona z

v : Velocidad de línea

L_f : Longitud de feta

L_z : Longitud de la zona z

n : Cantidad de fetas en la zona z

Derivando la expresión del error en función de q_z e igualando a 0 resulta:

$$\frac{dE}{dq} = \frac{2 \cdot L_f}{v \cdot L_z} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (-L_{zi}) \cdot \left(SpA_z - \left(a_{zi} + q_z \cdot \frac{L_{zi}}{v} \cdot \frac{L_f}{L_z} \right) \right) = 0 \quad \text{Despejando } q_z \text{ resulta:}$$

$$q_z = \frac{v \cdot L_z}{L_f} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_{zi} \cdot (SpA_z - a_{zi})}{\sum_{i=1}^{i=n} L_{zi}^2}$$

b) Tracking de agua

El proceso de tracking de agua se encarga de contabilizar para todas las fetas de cada zona la cantidad de agua que ha recibido desde que las fetas salen del molde. Este proceso toma en tiempo real los valores de caudal de todas las zonas y la velocidad de línea e integra para cada una de las fetas el valor de agua aportada.

c) Cálculo de los Volúmenes de agua deseada

Dada una tabla de agua deseada para una velocidad de colado de 1.2 m/min y una ecuación de variación (definidas por el tipo de acero, dimensiones del desbaste a colar y el modelo metalúrgico de solidificación conforme a la configuración de los picos) se conoce en todo momento el Caudal deseado para una velocidad de colada dada. Este programa por lo tanto realiza la integración de este caudal para la longitud de la colada (Strand). Supone que la línea se va a mover a velocidad V estacionariamente y permite obtener una curva de Volumen en función de metros de strand.

La **Figura N° 12** muestra la Curva Objetivo de volumen que debe cumplir el modelo.

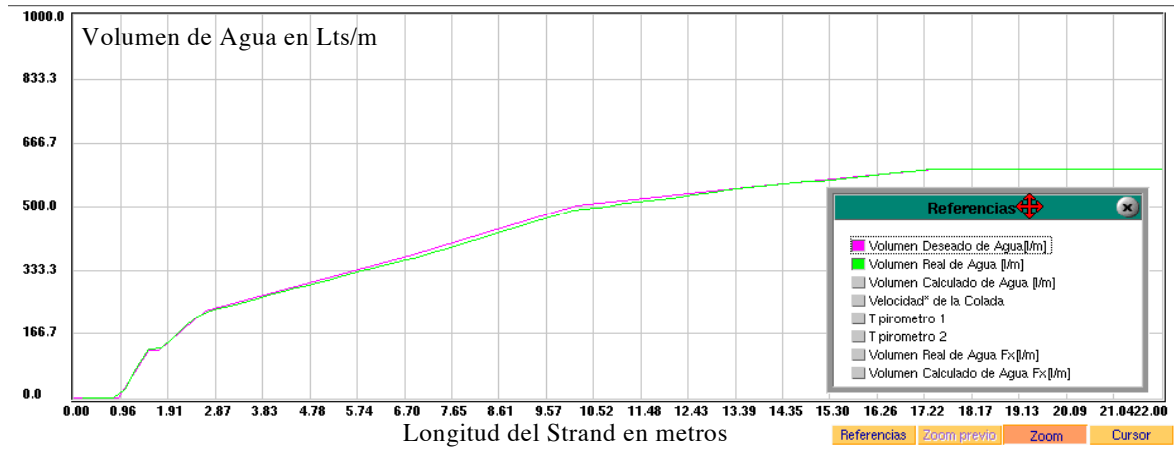


Figura N° 12

d) Bajada de SP de caudal por zonas

Los caudales calculados por el modelo finalmente deben ser enviados al lazo de control de caudal por zona. Aquí interviene otra función mas del sistema que es el Flujo Pulsante de Agua que se describe en el próximo punto

8. CONTROL DE PICOS TAPADOS Y FUGAS

Considerando la sensibilidad de la calidad superficial de los desbastes con relación a estar sometido a un enfriamiento heterogéneo, ya sea por taponamiento de Picos o bien por fugas por desprendimientos de mangueras o salida de Picos, se elaboró un Modelo Fluidodinámico de control donde en forma continua (on-line) se dispone de la información en una Pantalla en el sistema QNX.

Para el Modelo se determinaron las curvas teóricas óptimas del funcionamiento de cada una de las Zonas y dos Curvas de referencia particulares sobre las presiones que se llegaría en el caso de los taponamientos y fugas máximas admitidas para cada Zona en particular. En la **Figura N° 13** se muestra una de estas curvas para el caso del Anillo Lado Móvil y en la **Figura N° 14** se ve la pantalla del QNX que indica el estado instantáneo de todas las Zonas de “Línea 2 Lado Móvil”

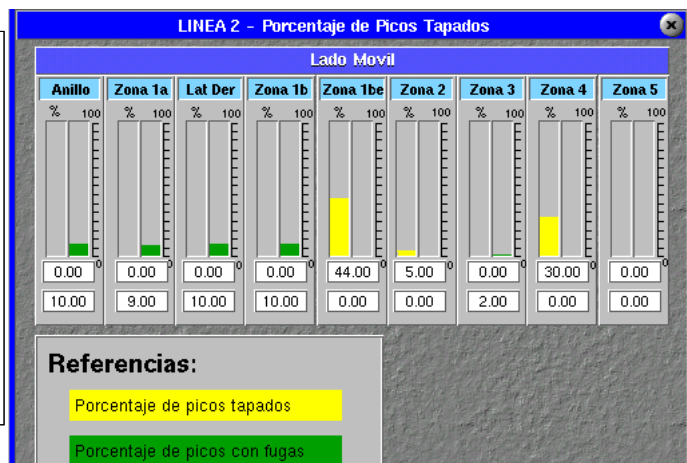
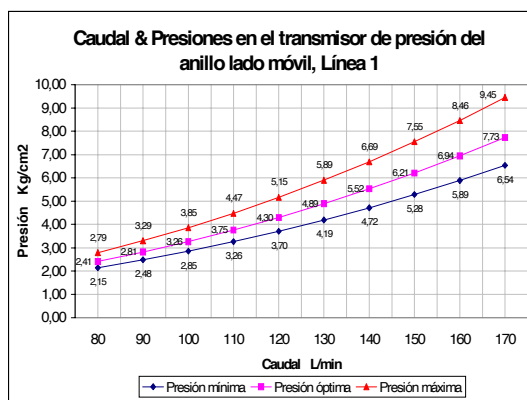


Figura N° 13 y 14

9. CONCLUSIONES

Mediante la repotenciación de sus sistemas de enfriamiento secundario, la reorganización y racionalización del uso del agua y como así también con la incorporación de una serie de desarrollos tecnológicos propios que significan una innovación en este tipo de instalaciones, le permitió a SIDERAR entre otras medidas poder incrementar su velocidad de colada para espesor 200 mm de 1,40 m/min (mayor valor antes de iniciar las reformas) a 1,85 m/min como en el presente año.

También posibilitó obtener similares beneficios de versatilidad en cuanto poder ajustarse a un amplio rango de cambios de velocidades de colado de acuerdo a las distintas secciones (anchos y espesores) mediante soluciones que difieren a las empleadas convencionalmente en estos casos como ser la implementación de los costosos sistemas de Aire-Mist.

10. REFERENCIAS

1. López Raúl Daniel, Di Gresia Gustavo, Castellá Armando, Balante Walter, Riboldi Hugo, López Claudio y Speroni Fabián. Thermal Balance of Siderar Slab Continuous Casting. Iron and Steel Society Conference, ISS Tech 2003. Indianapolis, Indiana, USA, April 27-30, 2003.
2. López Raúl Daniel, Di Gresia Gustavo, Castellá Armando, Balante Walter, Pereyra José, Riboldi Hugo, López Claudio y Speroni Fabián. Evaluación, evolución e intervenciones en los circuitos de refrigeración de la Colada Continua de Siderar. 13° Seminario de Acería del IAS – 29 de Octubre al 1 de Noviembre de 2001 – Buenos Aires - Argentina.
3. Speroni Fabián y López Raúl Daniel. “Balance Térmico Colada Continua de Desbastes”, Publicación N° 2570-RT-0003 (Rev.1, año 2000) de la Gerencia de Tecnología, SIDERAR S.A.I.C., Centro Siderúrgico Gral. Savio, CC 801 – 2900 San Nicolás – Pcia. de Buenos Aires, República Argentina.
4. Speroni Fabián y López Raúl Daniel. “Modelización fluidodinámica del enfriamiento secundario”, Colada Continua de Desbastes, Publicación N° 2570-RT-0001 (Rev.1, año 2000) de la Gerencia de Tecnología, SIDERAR S.A.I.C., Centro Siderúrgico Gral. Savio, CC 801 – 2900 San Nicolás – Pcia. de Buenos Aires, República Argentina.

“INNOVATIONS AND TECHNOLOGICAL IMPROVEMENTS IN THE SECONDARY COOLING OF THE SLAB CONTINUOUS CASTING OF SIDERAR”⁽¹⁾

**López Raúl Daniel, Olocco Juan Carlos⁽²⁾
Balante Walter, Di Gresia Gustavo, Rubén Vénica⁽²⁾
Hugo Riboldi, Benitez Guillermo, Capote López Sebastian⁽²⁾
Martin Omar, Cataldo Miguel, Rodicio Horacio⁽²⁾**

ABSTRACT

SIDERAR slab continuous casting was first started up in the year 1985 in order to produce slab of structural, low carbon, tin plate and API steel Grades, being the nominal capacity of design arranged for a production of 650.000 Tn/year. From the year 1993 on, a continuous and steady increase of production levels is carried out and reaches 2,400,000 Tones by the year 2002.

One of the main reasons that allowed an increase in production was a casting speed growth from 1.40 m/min to 1.85 m/min for a 200 mm thickness. At first, this was possible due to an enlargement of its metallurgical length. Its original length was of 19,662 mm and currently is of 23,262 mm. Secondly; this was possible due to the modifications in its secondary cooling system.

Some of the actions taken on such cooling system varies from the rationalisation, the re-powering, the set-up distribution change and the secondary spray nozzles selection as well as the introduction of a series of technological developments of our own, which implies an innovation respect to this type of facilities.

The technological developments of our own that can be pointed out are as follows: a) Flow-Dynamic modelling, b) Implementation of Booster Pumps driven by variable frequency motors that allow a proper set-up to a large flow range, c) Pulsing flow technology in order to replace low flows, d) Dynamic control of clogged nozzles and flow leaks.

Similar versatility benefits were achieved in the sense of being able to run a wide range of casting speed changes respect to the different sections (width and thickness) by means of another type of solutions that are different from the ones which are normally implemented in these cases, such as the implementation of costly Air-Mist systems.

Key words: secondary cooling, spray water system, secondary spray nozzles

¹ Technical contribution presented at XXXV ABM Steelmaking Seminar,
Salvador, BA, 17 - 19 May, 2004

² Siderar SAIC – Gerencia de Tecnología – Operación de Colada Continua –
Mantenimiento de Acería – Automación y Control
(San Nicolás, Pcia Bs As, República Argentina)