



# **Injection Alloys México S.A. de C.V.**

*Reporte Técnico*

**Uso de Hi-CaSi  
en el tratamiento de modificación de  
inclusiones en aceros producidos en  
Altos Hornos de México S.A.B**



## Objetivos:

- **Introducción de Hi-CaSi (alambre encapsulado con tecnología Hi-Core con un contenido de 230 gr de CaSi por metro) en el tratamiento de inyección de Ca en aceros producidos en AHMSA.**
- **Evaluación de los parámetros del tratamiento de inyección (velocidad de inyección, pies de alambre inyectados, kg Ca/ton) con el objetivo de optimizar el rendimiento.**
- **Evaluar las condiciones metalúrgicas (contenidos de Al y S) en el acero antes de tratamiento de inyección de Ca para analizar su impacto en el rendimiento del tratamiento.**



## Desarrollo

- Se trataron 145 coladas de acero durante los días del 11 al 25 de julio de 2012, (64 coladas con contenido de Ca menor a 20 ppm, y 81 con contenido mayor a 20).
- Los parámetros de inyección de arranque (velocidad de inyección y pies inyectados de alambre) se determinaron en función de la capacidad de la olla, y se fueron modificando para optimizar el rendimiento de acuerdo a los resultados obtenidos.
- El rendimiento del tratamiento con Hi-CaSi se calculó con la muestra de acero obtenida al final de la refinación en la estación de metalurgia secundaria # 2, al igual que se determina con los alambre de calcio convencionales.



## Resultados generales

- En la tabla siguiente se muestran los promedios de los resultados obtenidos en las 145 coladas tratadas, así como los consumos óptimos para lograr estos resultados.

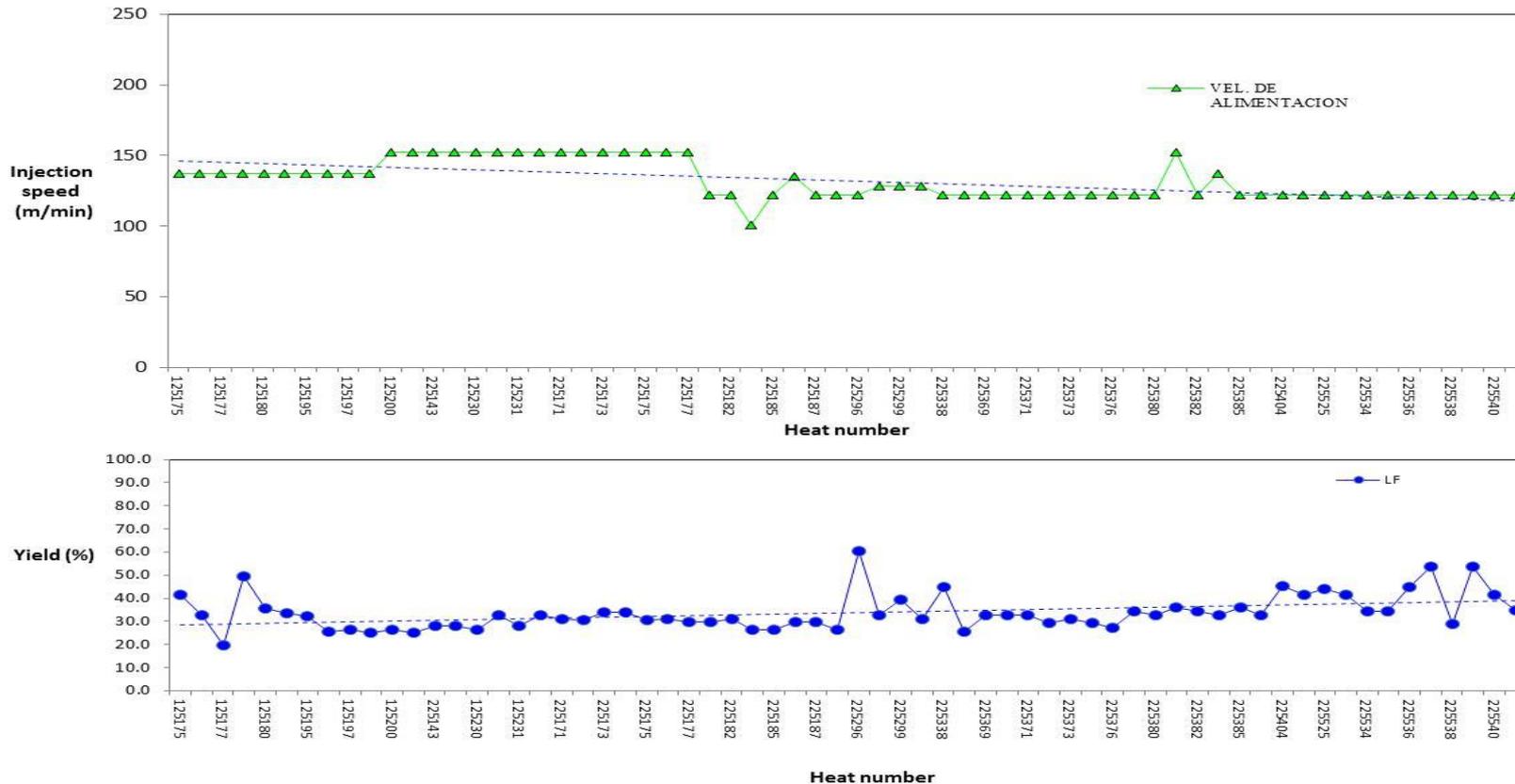
Promedios obtenidos					
coladas tratadas	pies inyectados	kg Hi-CaSi/col	Kg Ca/ton	ppm Ca	% Rend
145	612	42.8	0.084	26	31.5

# Resultados

## Variación del rendimiento vs velocidad de inyección

### Aceros con menos de 20 ppm Ca

- Se realizó la optimización del rendimiento modificando principalmente los parámetros de inyección (disminuyendo en primera instancia la velocidad de inyección hasta 400 ft/min) para determinar la profundidad ideal donde el alambre se fundirá y liberará el polvo de CaSi. En la siguiente grafica se muestra la tendencia al incremento del rendimiento con esta disminución de la velocidad de inyección.



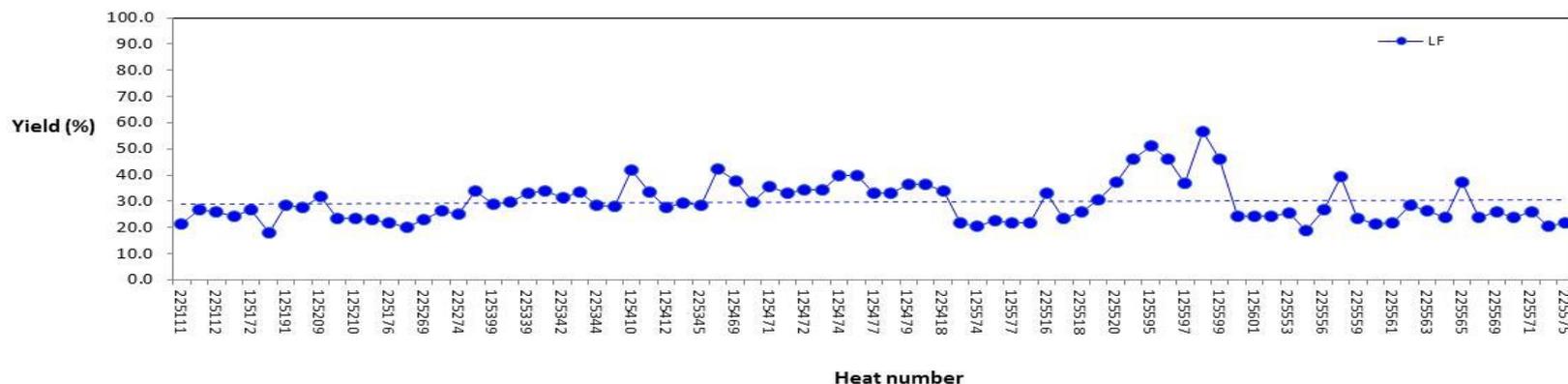
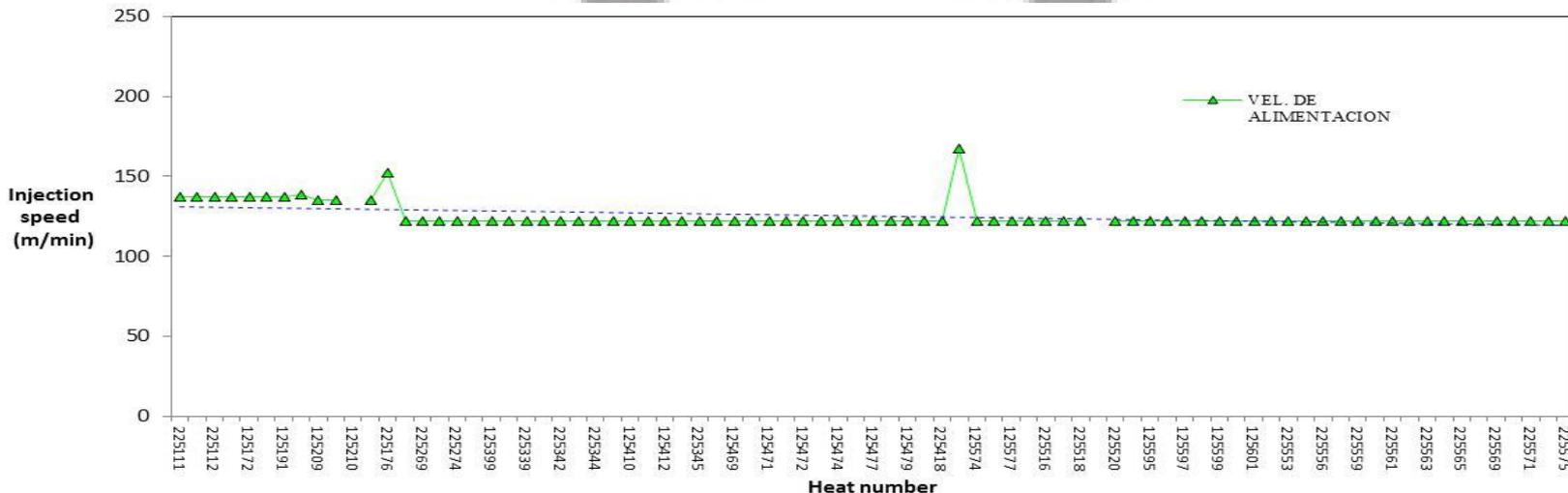


# Resultados

## Variación del rendimiento vs velocidad de inyección

### Aceros con más de 20 ppm Ca

- De igual forma, este incremento del rendimiento (mayor a 30%) se presento en estos aceros, sin embargo en los últimos días de la prueba (24 y 25 julio), en estos aceros existió un incremento en cantidad de ft inyectados, lo que disminuyó esta tendencia





# Resultados

## Resumen por grado de acero

- En la siguiente tabla se muestran los promedios de los resultados obtenidos por tipo de acero, así como los consumos específicos lograr estos resultados.

grados de acero	coladas tratadas	pies inyectados	kg Hi-CaSi/col	Kg Ca/ton	ppm Ca	% Rend
10 a 20	46	417	29.2	0.058	20	35.1
20 a 40	84	683	47.7	0.094	29	30.4
gas amargo	15	812	56.9	0.112	30	26.7

# Resultados

## Optimización del rendimiento en función de los kg Ca / ton

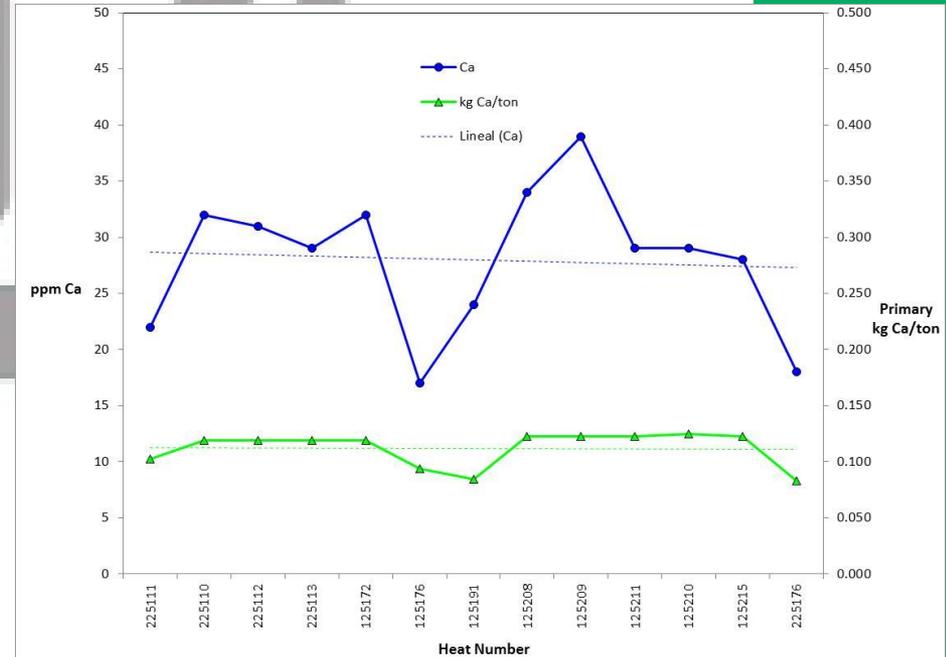
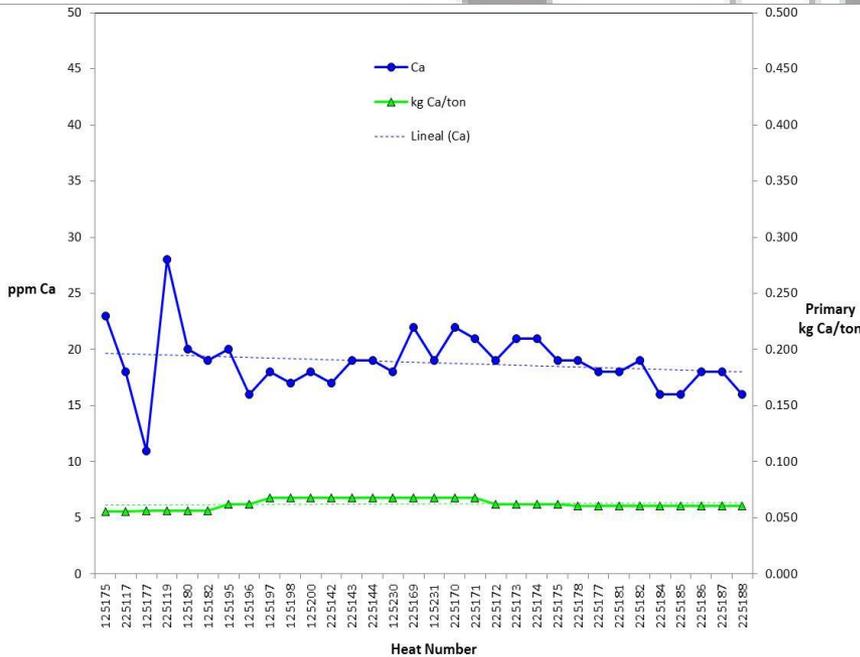
### Objetivo: 30 % rendimiento



- Una vez determinada la óptima velocidad en 400 ft/min (aprox. 120 m/min) se comenzó con la disminución de los ft inyectados de Hi-CaSi para determinar la máxima cantidad de Ca requerida par lograr una adecuada disolución en el acero evitando la sobresaturación con este elemento, o bien, una pobre modificación de inclusiones con una baja recuperación de ppms.

OBJETIVO 30 %

grados de acero	coladas tratadas	pies inyectados (ft)	Velocidad de inyección (ft/min)	kg Hi-CaSi / colada	Kg Ca/ton	ppm Ca	% Rend
10 a 20	32	457	460	31.7	0.063	19	30.3
20 a 40	13	808	450	56.7	0.112	28	24.9





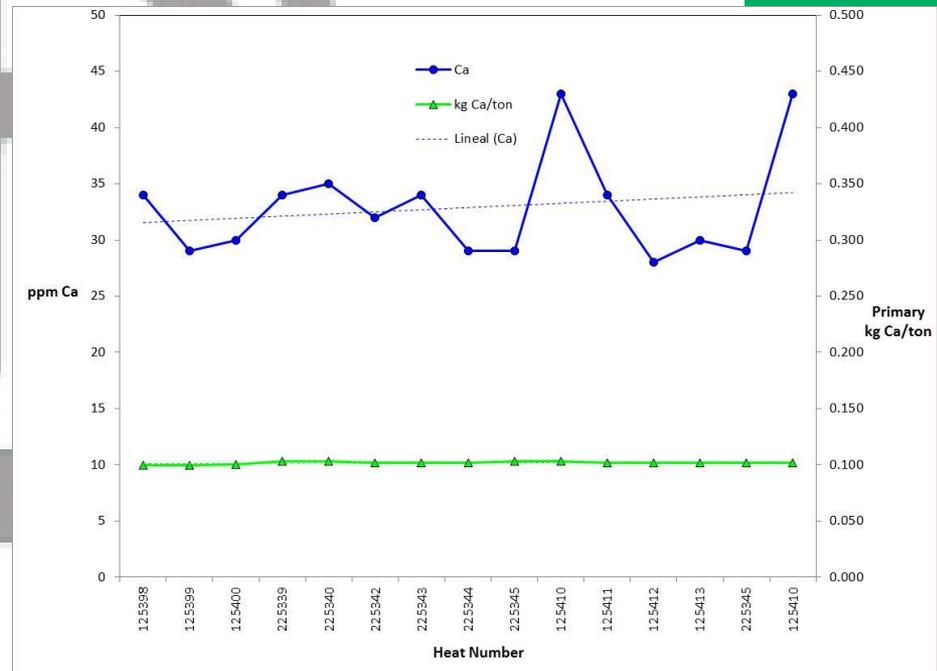
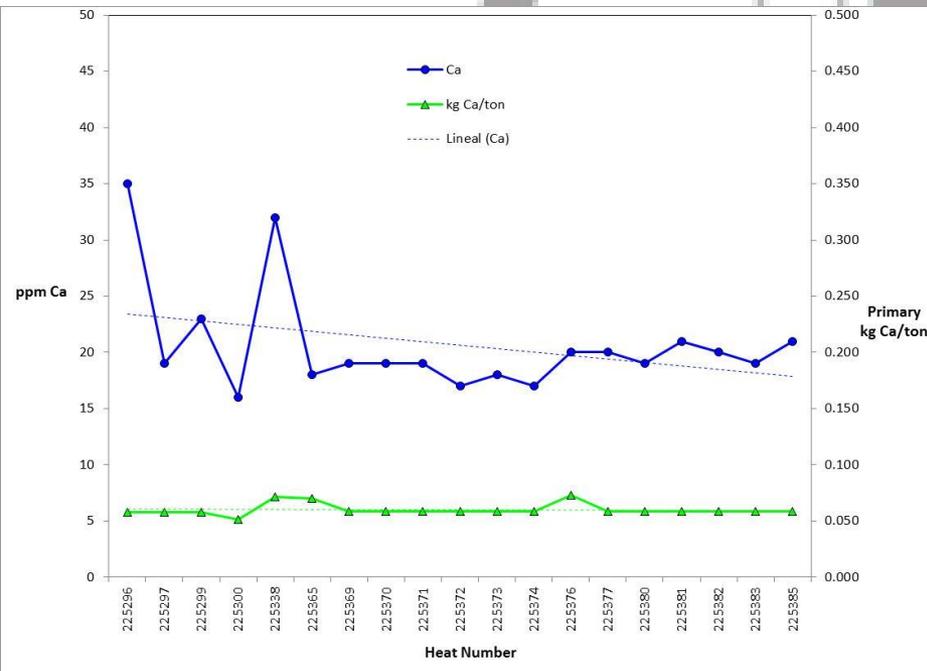
# Resultados

Optimización del rendimiento en función de los kg Ca / ton

Objetivo: 35 % rendimiento

OBJETIVO 35 %

grados de acero	coladas tratadas	pies inyectados (ft)	Velocidad de inyección (ft/min)	kg Hi-CaSi / colada	Kg Ca/ton	ppm Ca	% Rend
10 a 20	19	433	410	30.4	0.060	21	34.5
20 a 40	15	736	400	51.6	0.102	33	32.2



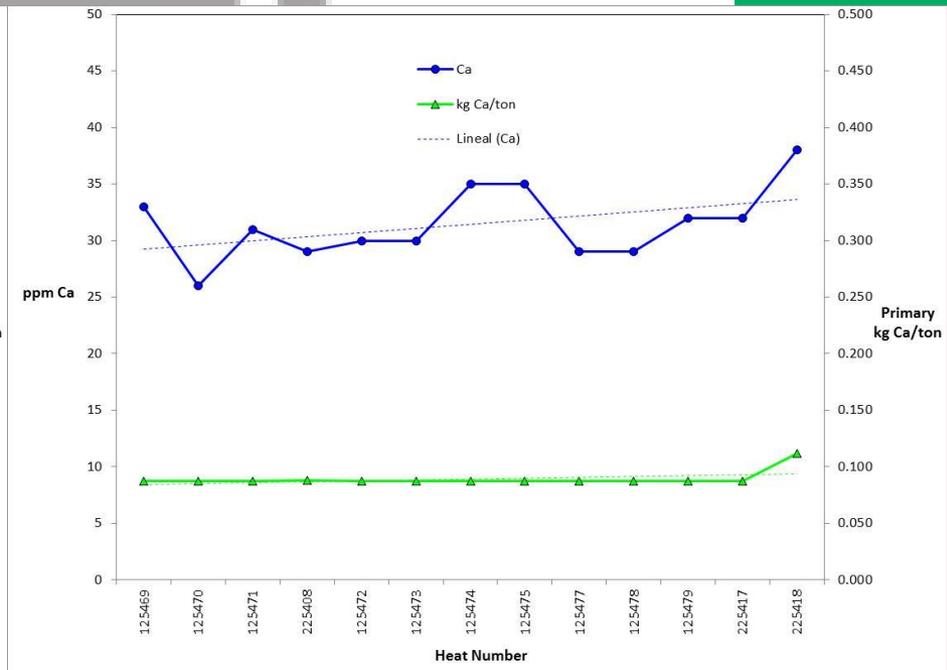
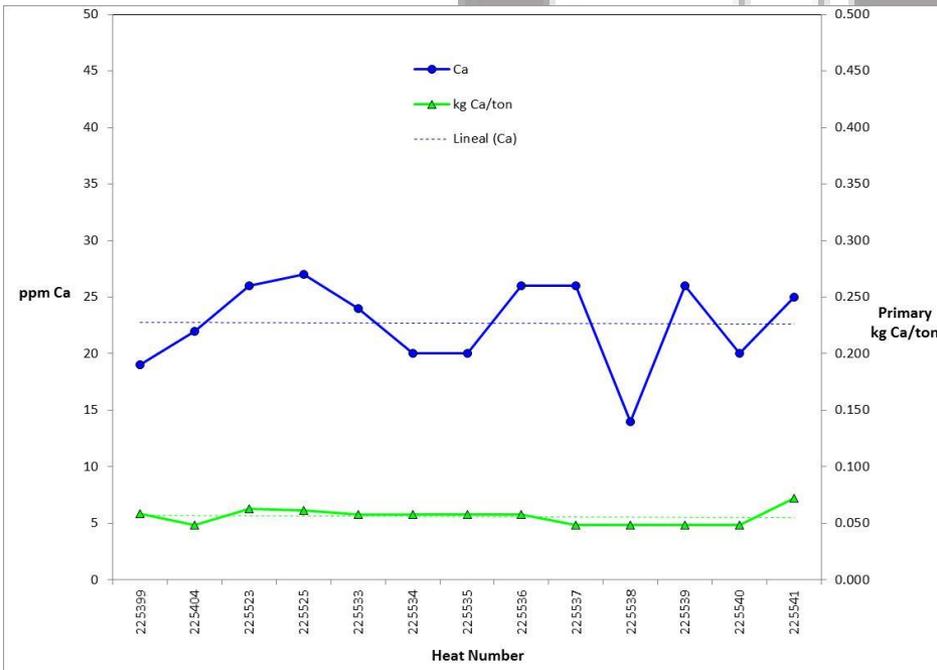


# Resultados

Optimización del rendimiento en función de los kg Ca / ton

Objetivo: 40 % rendimiento

OBJETIVO 40 %							
grados de acero	coladas tratadas	pies inyectados (ft)	Velocidad de inyección (ft/min)	kg Hi-CaSi / colada	Kg Ca/ton	ppm Ca	% Rend
10 a 20	13	405	400	28.4	0.056	23	40.9
20 a 40	13	645	400	45.3	0.089	31	35.2

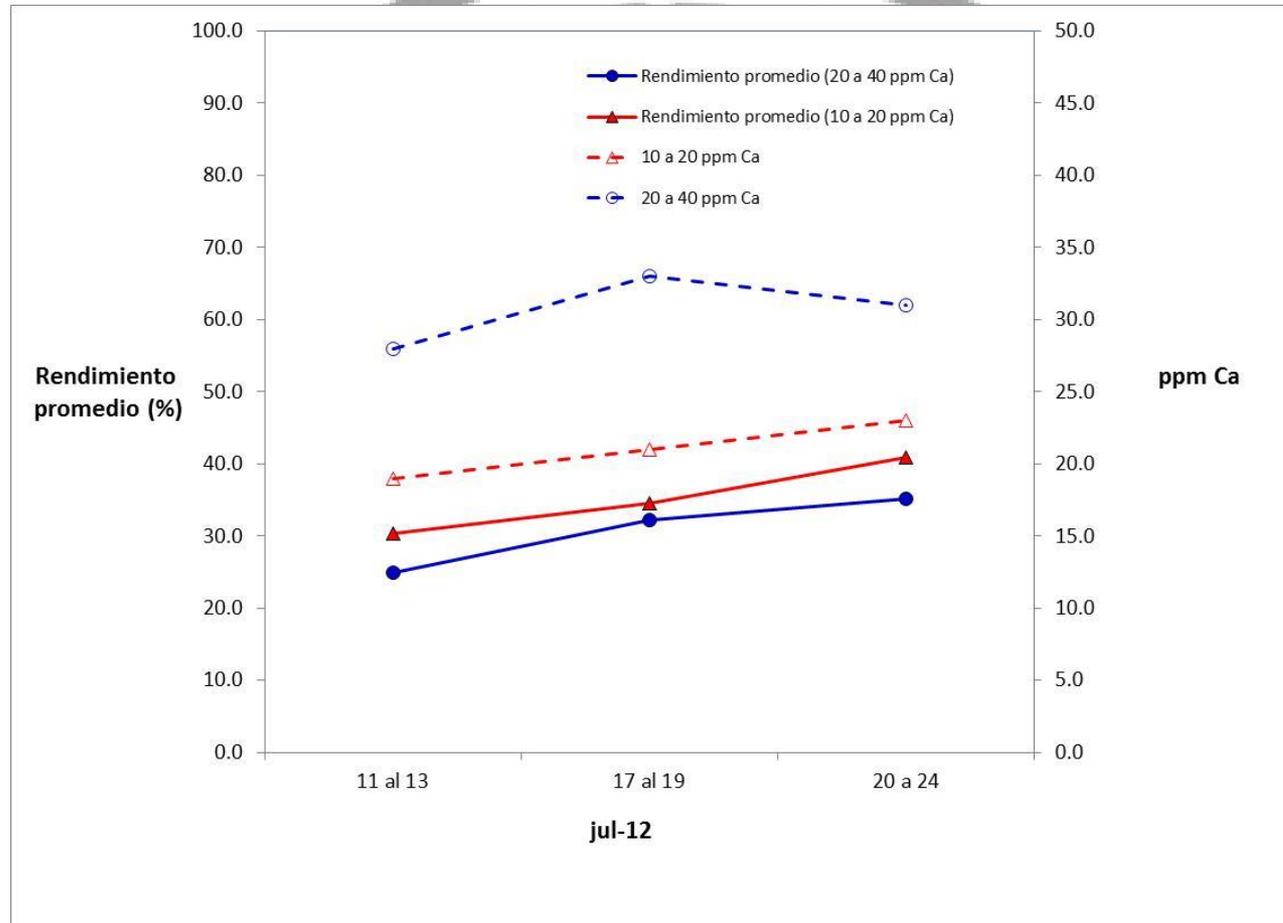




# Resultados

## Optimización del rendimiento en función de los kg Ca / ton

- Incremento del rendimiento de Hi-CaSi disminuyendo la cantidad de ft inyectados con un ligero incremento de las ppms de Ca.



# Resultados

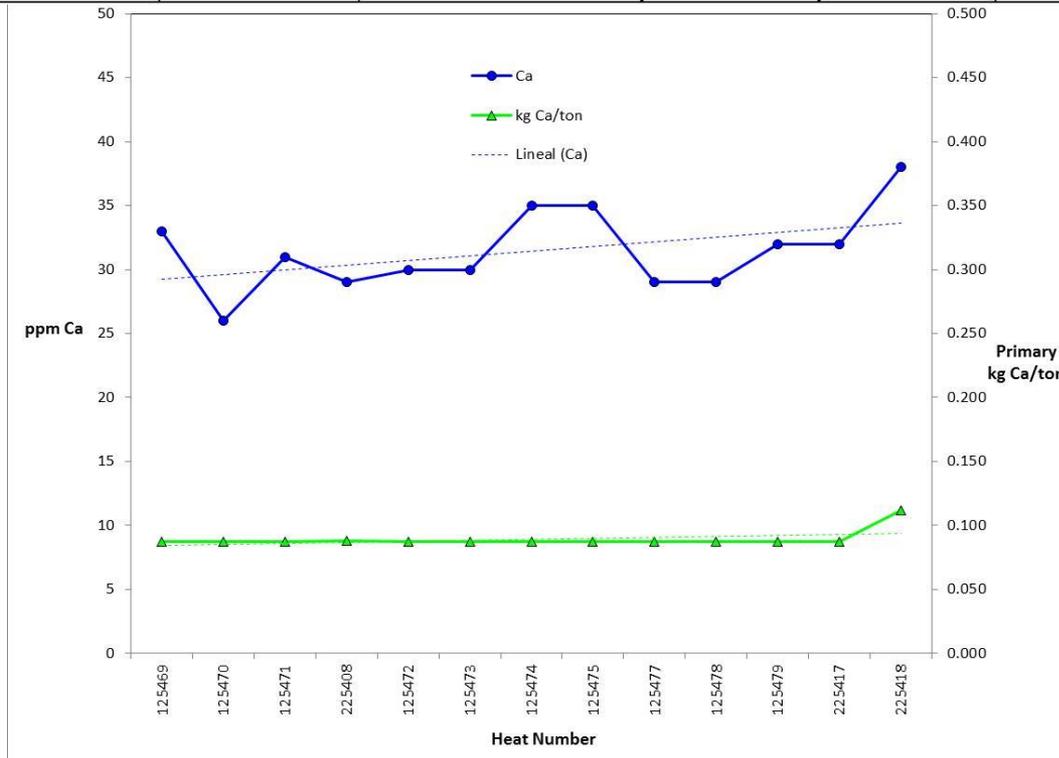
## Rendimientos logrados los días 24 y 25 de Julio, con un incremento en los kg Ca/ton



- En el proceso de optimización de parámetros, durante las fechas mencionadas se fijó el objetivo de alcanzar rendimientos de 40%, sin embargo, en estas fechas la cantidad de Hi-CaSi inyectada aumentó hasta 738 ft, sin mayor incremento en las ppm de Ca recuperadas, y con el consecuente decremento en el rendimiento, es decir existió una sobresaturación con Ca en el acero.

Días 24 y 25 de Julio

grados de acero	coladas tratadas	pies inyectados (ft)	Velocidad de inyección (ft/min)	kg Hi-CaSi / colada	Kg Ca/ton	ppm Ca	% Rend
20 a 40	25	738	400	51.8	0.102	31	29.8



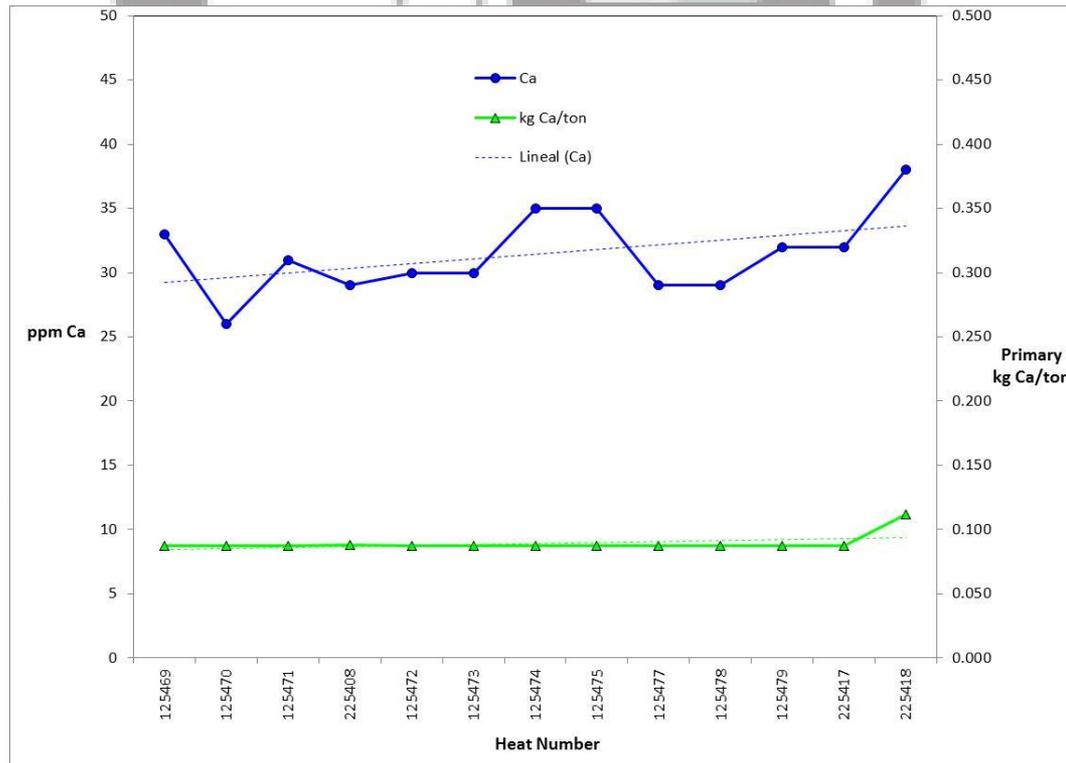
# Resultados

## Rendimientos logrados los días 16 y 23 de Julio con producción de aceros para tubería de Gas Amargo



- El mismo caso ocurre en las coladas de acero de gas amargo, donde a pesar de la cantidad de ft inyectados de Hi-CaSi, el contenido Ca en el acero no es mayor a 30 ppm, lo anterior debido a que el contenido de Al disuelto en el metal y en forma de inclusiones de Alumina no es menor

Días 16 y 23 de Julio							
grados de acero	coladas tratadas	pies inyectados (ft)	Velocidad de inyección (ft/min)	kg Hi-CaSi / colada	Kg Ca/ton	ppm Ca	% Rend
gas amargo	15	812	410	56.9	0.112	30	26.7



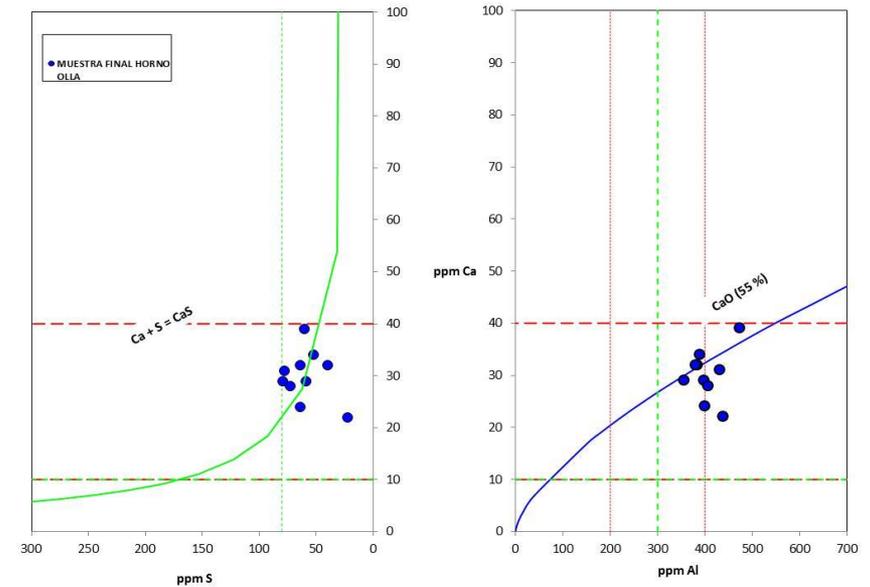
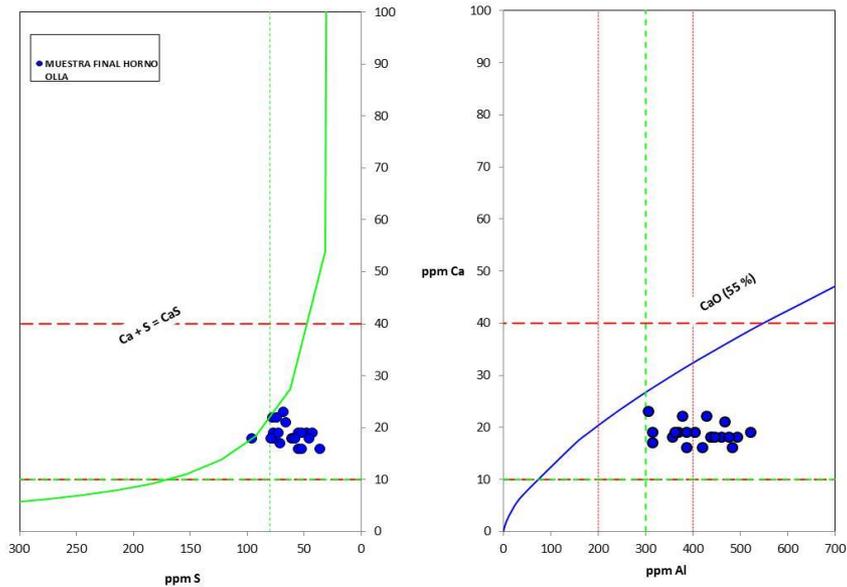


# Resultados

## Efecto de los contenidos de Al y S en el acero sobre el rendimiento (objetivo 30 %)

Menos de 20 ppm Ca

Más de 20 ppm Ca



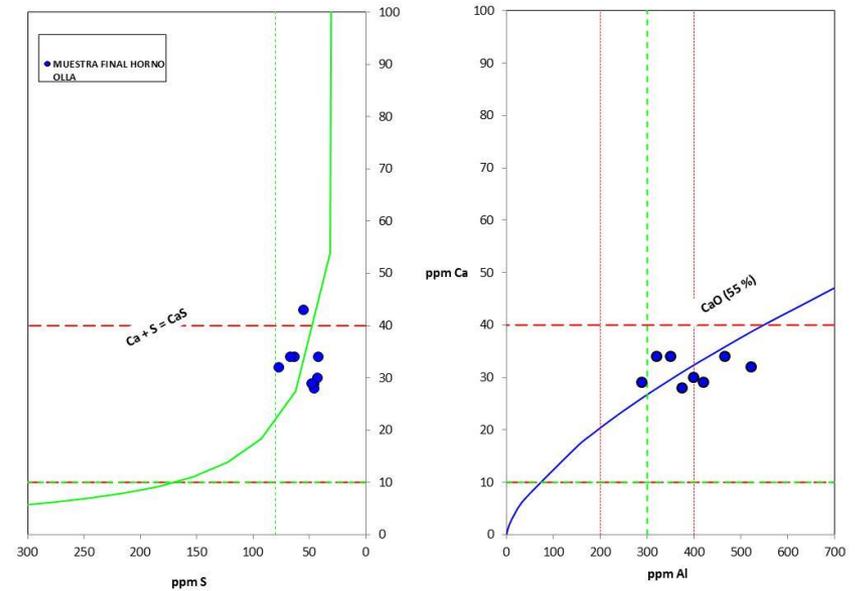
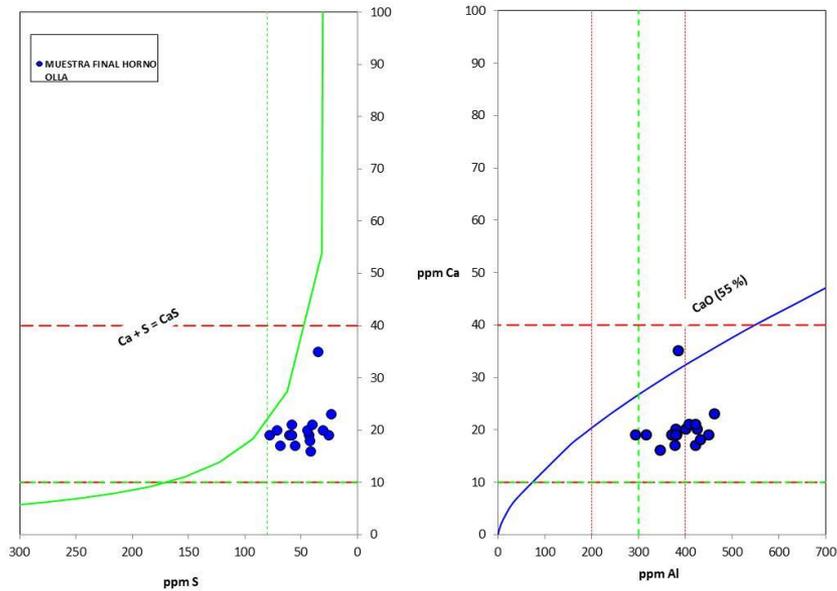


# Resultados

## Efecto de los contenidos de Al y S en el acero sobre el rendimiento (objetivo 35 %)

Menos de 20 ppm Ca

Más de 20 ppm Ca



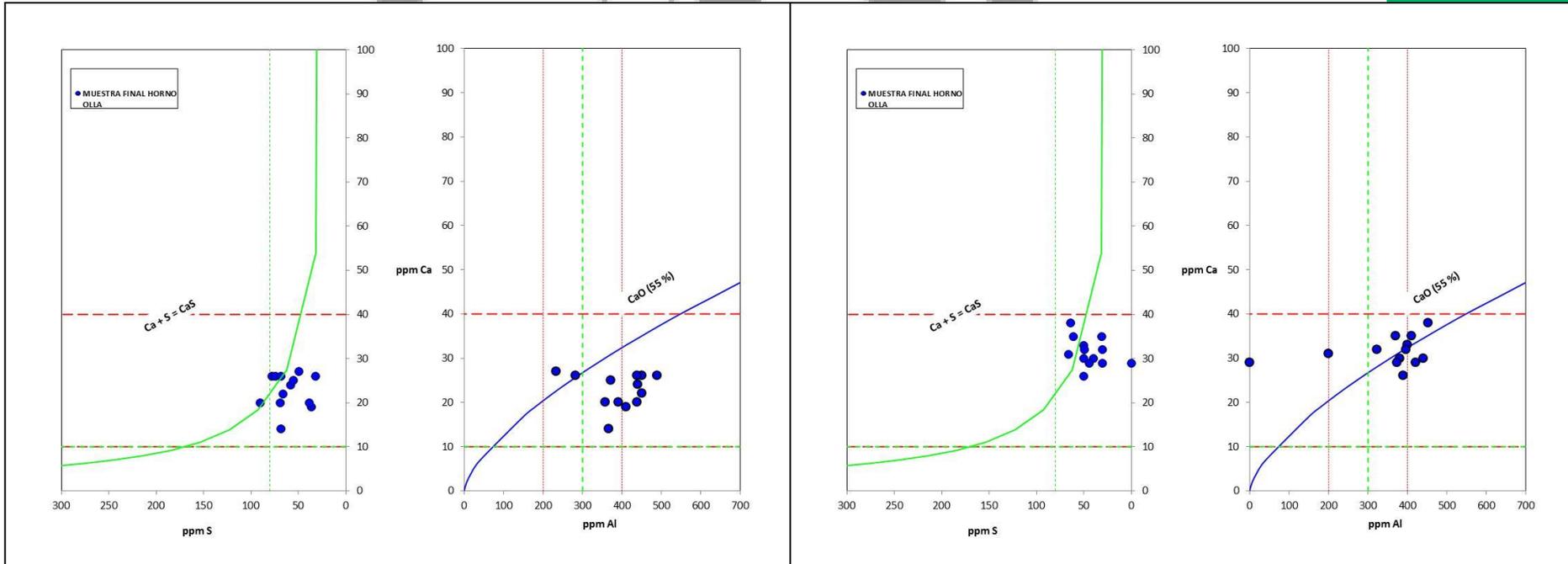


# Resultados

## Efecto de los contenidos de Al y S en el acero sobre el rendimiento (objetivo 40 %)

Menos de 20 ppm Ca

Más de 20 ppm Ca

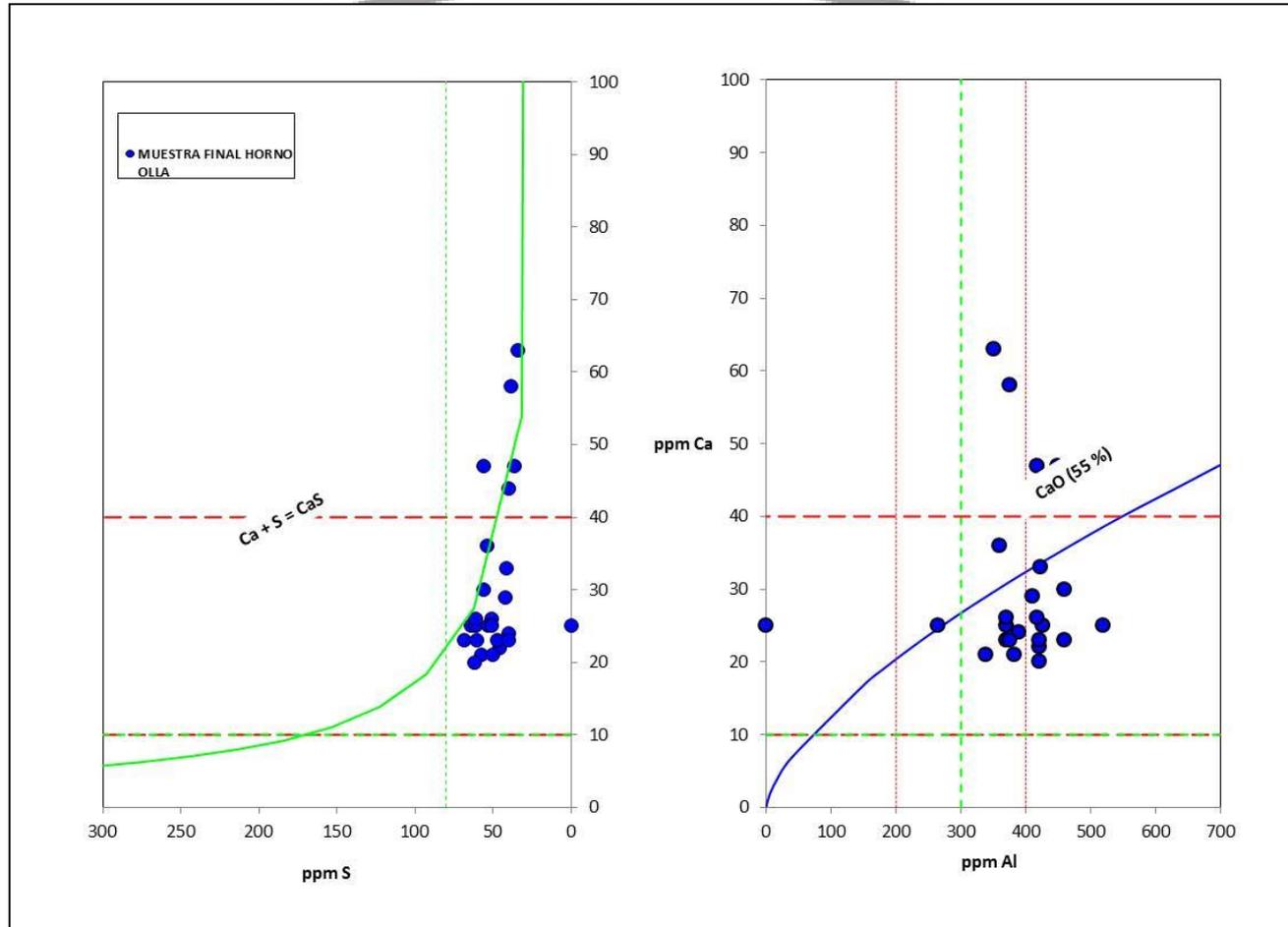




# Resultados

## Efecto de los contenidos de Al y S en el acero sobre el rendimiento (24 y 25 de julio)

Más de 20 ppm Ca

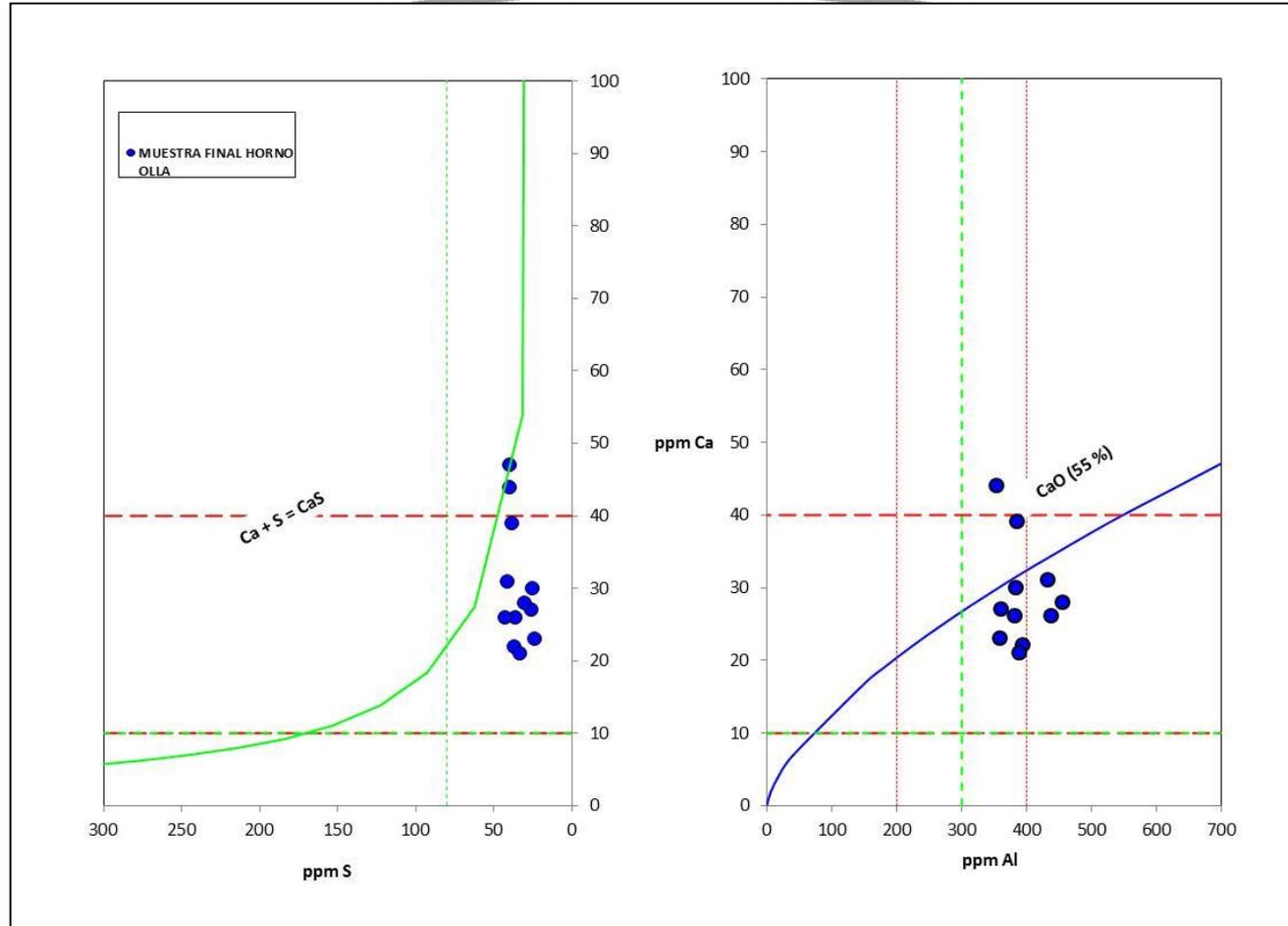




# Resultados

Efecto de los contenidos de Al y S en el acero sobre el rendimiento (días 16 y 23 de julio, coladas de gas amargo)

Más de 20 ppm Ca

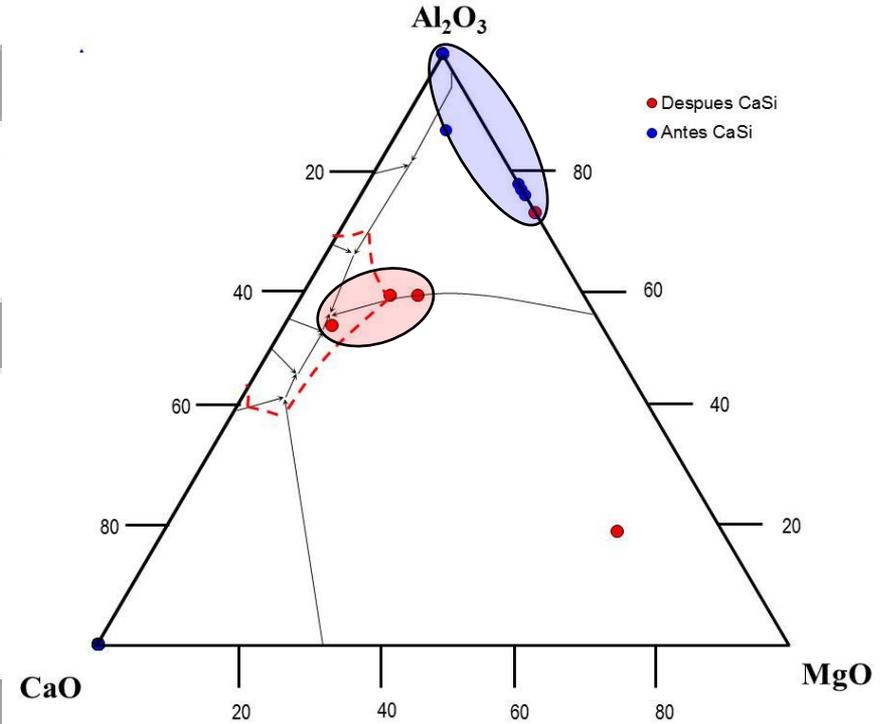
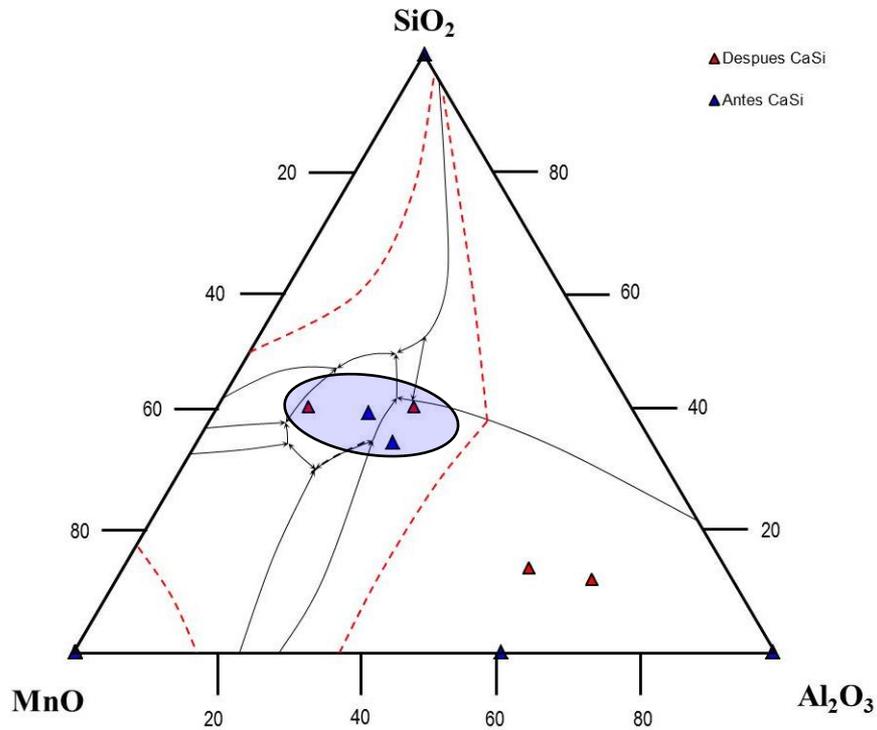




# Resultados

## Evaluación del estado inclusionario

Comportamiento típico de una colada tratada con CaSi



En la muestra obtenida antes de CaSi, se observan inclusiones de silicoaluminatos de manganeso  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MnO}$ , típicas de aceros con contenidos de Si elevados, algunos de ellos ya en la zona de líquidus y que seguramente flotarán hacia la escoria

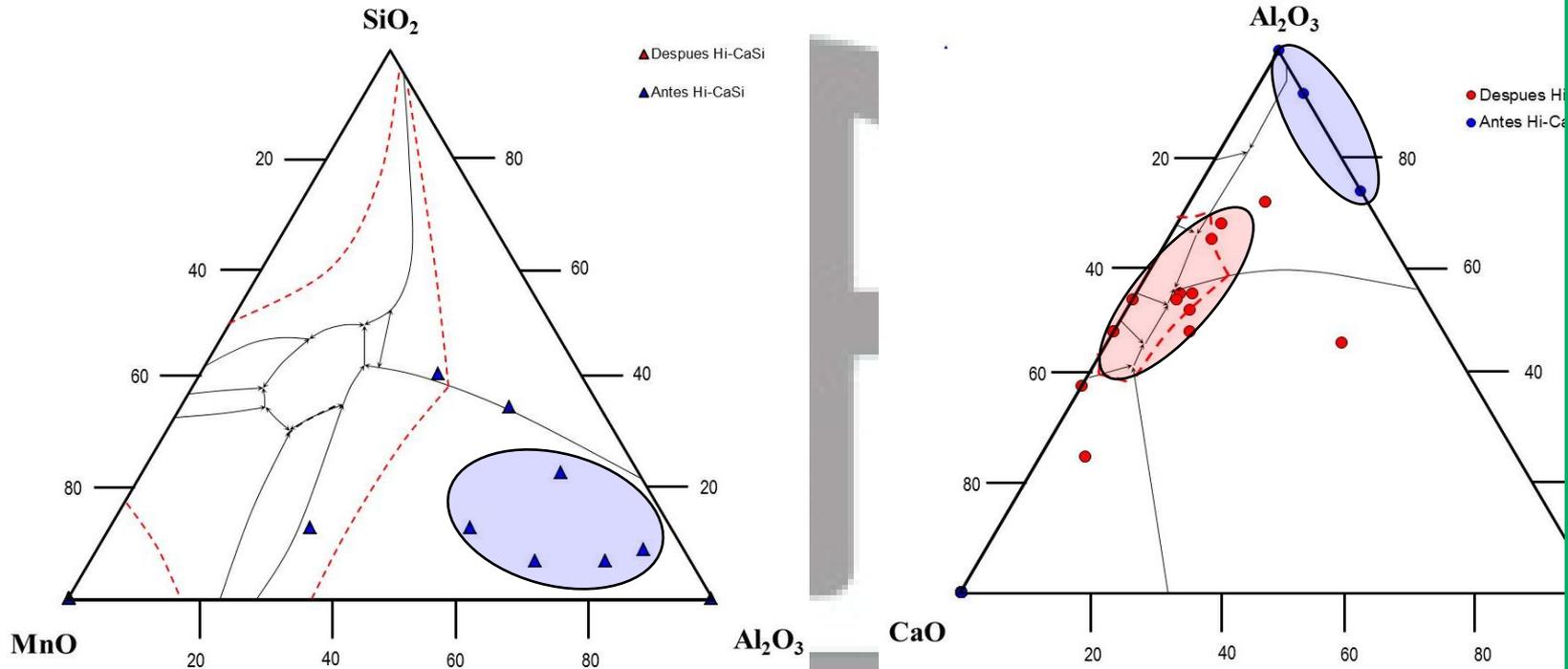
En la muestra obtenida después del tratamiento con CaSi, comienza a observarse una modificación incipiente a inclusiones de aluminatos de calcio  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ , (zona delimitada en rojo), pero siguen prevaleciendo las inclusiones de silicoaluminatos de manganeso  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MnO}$ , además de algunas inclusiones sin modificar de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )



# Resultados

## Evaluación del estado inclusionario

Comportamiento de una colada tratada con  
Hi-CaSi



En la muestra obtenida antes de Hi-CaSi, se observan gran cantidad de silicoaluminatos de manganeso sólidos ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MnO}$ ), algunas de ellas con tendencia a volverse líquidas a la temperatura de aceración (flotarán a la escoria).

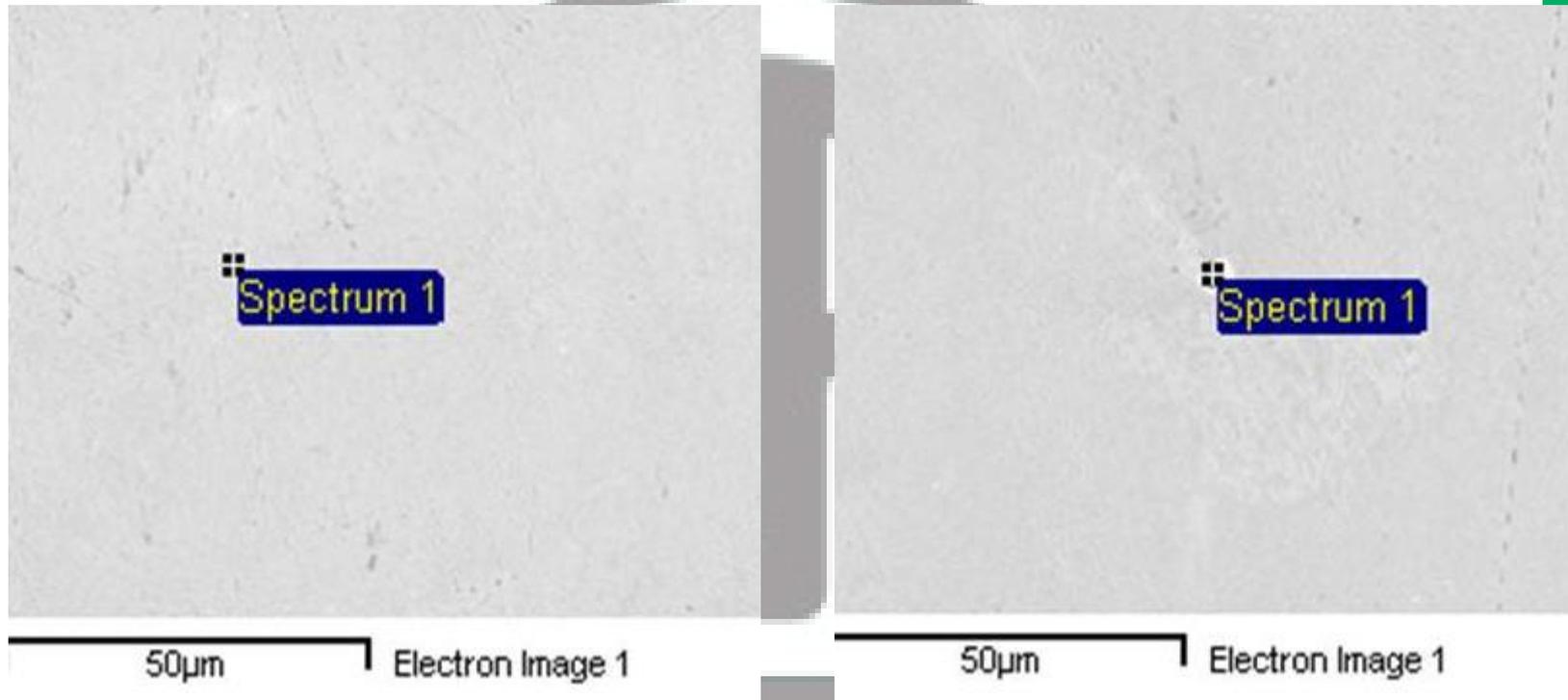
Sin embargo, después del tratamiento de inyección de Hi-CaSi, se presenta una rápida modificación de las inclusiones de alúmina a aluminatos de calcio ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ ), una ventaja propia de una mejor penetración del calcio en el acero (por la tecnología Hi-Core) y que permite mayor tiempo de residencia en el metal para modificar inclusiones.



# Resultados

## Evaluación del estado inclusionario

Comportamiento de una colada tratada con  
Hi-CaSi



En las micrografías se observan dos campos de análisis típicos en muestras de acero obtenidas de coladas tratadas con Hi-CaSi, donde encontramos muy pocas partículas (inclusiones no metálicas), lo cual es producto de un adecuado tratamiento con calcio. Este tipo de comportamientos nos da un indicador del nivel de limpieza obtenido con el alambre Hi-Core.



# CONCLUSIONES

Después del análisis de los resultados obtenidos con las pruebas realizadas con Hi-CaSi se concluye lo siguiente:

- Se obtuvieron mejores rendimientos que los obtenidos con el alambre convencional (rendimientos a partir de 30%).
- Repetividad de resultados en cuanto a ppms de Ca recuperadas (estabilidad de proceso) de acuerdo a una óptima penetración del alambre en el acero antes de su fusión, lo que incremento el tiempo de residencia del Ca en el metal líquido mejorando su disolución antes de su evaporación o salida a la atmosfera (disminución considerable de splash).
- Flexibilidad y confianza en la obtención de mayores rendimientos de Ca con la adecuada disminución de la cantidad de ft inyectados, logrando en esta prueba los mejores rendimientos en 40.9 % y 35.2 % respectivamente con 404 ft y 645 ft inyectados.
- Menores tiempos de inyección que los alambre convencionales, debido principalmente a la optima velocidad de inyección (400 ft/min) que asegure la mayor penetración del alambre y a las menores inyectadas.

# CONCLUSIONES



- **Se concluye que las ppm de Ca retenidas en el metal dependen en gran medida de los niveles de Al y S disueltos en el metal antes de la inyección.**
- **Para los aceros con requerimientos de Ca entre 10 y 20 ppm existió un adecuado control en los grados de desoxidación y desulfuración (Al y S antes de tratamiento) lo que permite disminuir sin problema la cantidad de ft inyectados de alambre obteniendo contenidos de Ca dentro de este rango de especificación (menores a 20 ppms) sin presentar problemas de colabilidad y bloqueos de boquillas.**
- **Para los aceros con requerimientos de Ca entre 20 y 40 ppm, de acuerdo con los niveles de Al antes de tratamiento (máximo 0.040%), el máximo contenido de Ca oscila entre 30 y 31 ppms sin provocar una sobresaturación de las inclusiones con CaO lo que incrementa su punto de fusión volviendolas sólidas a la temperatura de aceración y disminuye la colabilidad del acero.**

# CONCLUSIONES



- Las recomendaciones realizadas en cuanto al control del grado de desoxidación y desulfuración, en el metal son válidas para cualquier tipo de encapsulado de Calcio, sin embargo, un encapsulado con tecnología Hi-Core tendrá una mayor oportunidad de aprovechar estos controles debido a su mayor penetración en el metal.
- Finalmente, en cuanto al desempeño mecánico del alambre este mostró un excelente comportamiento sin presentar problemas de rupturas ni atoramientos.

