



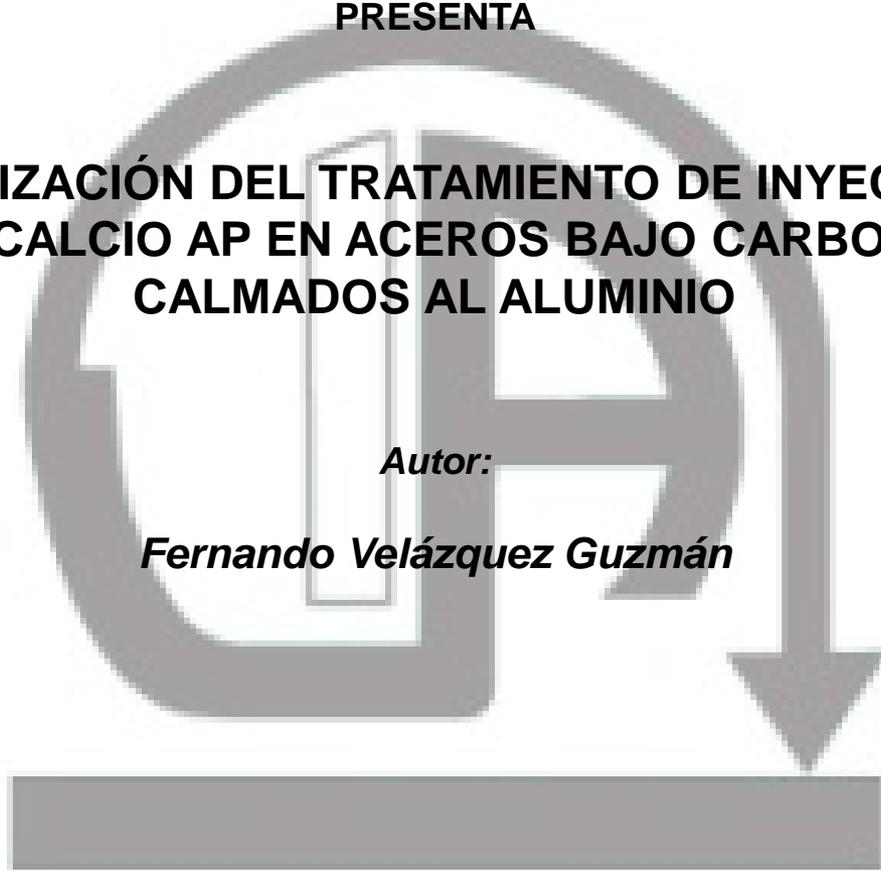
# Injection Alloys México S.A. de C.V.

PRESENTA

## OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE INYECCIÓN DE CALCIO AP EN ACEROS BAJO CARBONO CALMADOS AL ALUMINIO

*Autor:*

*Fernando Velázquez Guzmán*



# Introducción

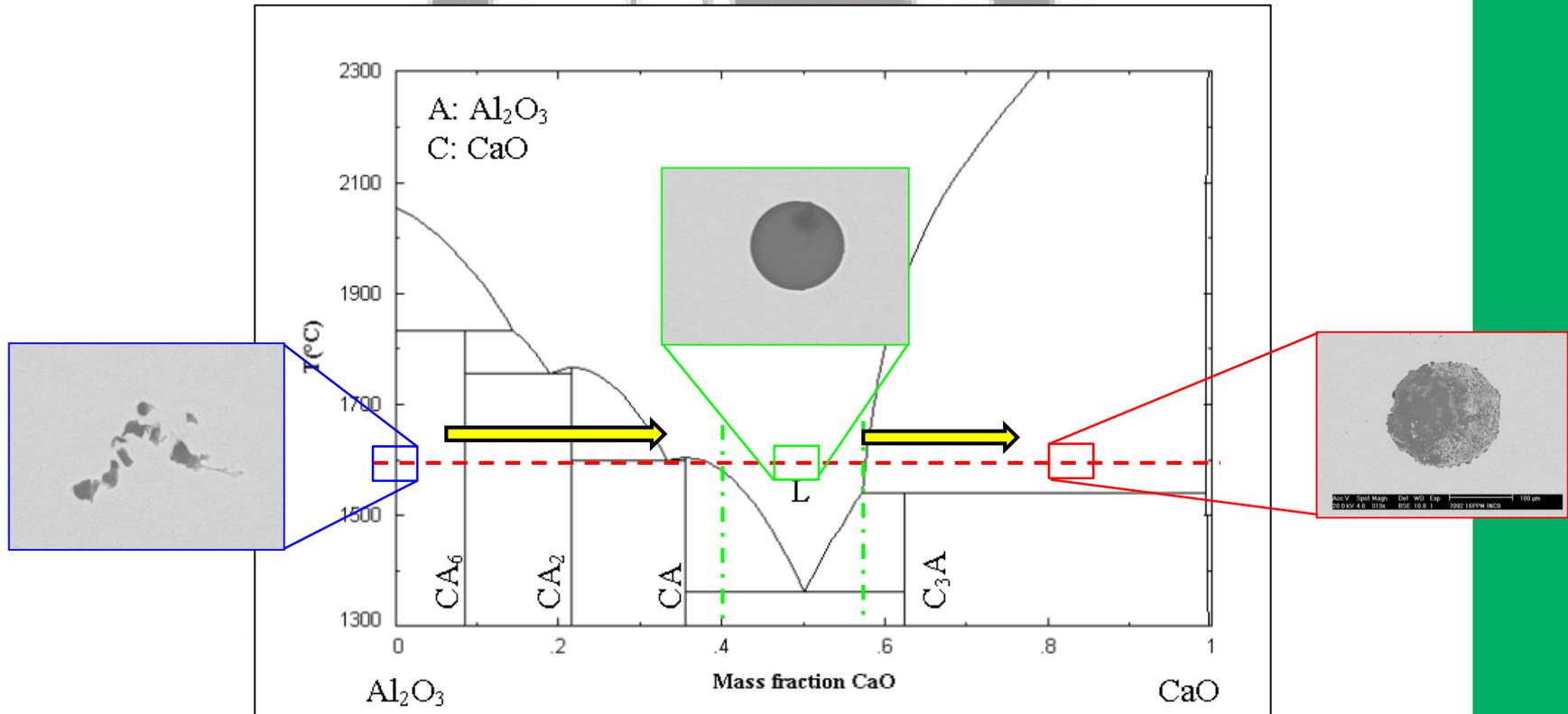


**El tratamiento con calcio se introdujo en los años setenta y hoy en día se usa normalmente para controlar las características de las inclusiones. Este tratamiento es un ejemplo del control de la morfología de la inclusiones mediante el cambio de su composición química.**

**La obstrucción de buzas sumergidas durante el proceso de colada continua disminuye significativamente en el caso de los aceros tratados de calcio. Mayor capacidad de colabilidad del acero y menor sustitución de dichas buzas resultan en mayores cantidades de metal producido. Además, se presentan menos defectos en la superficie del producto terminado por la mejora de la limpieza del acero.**

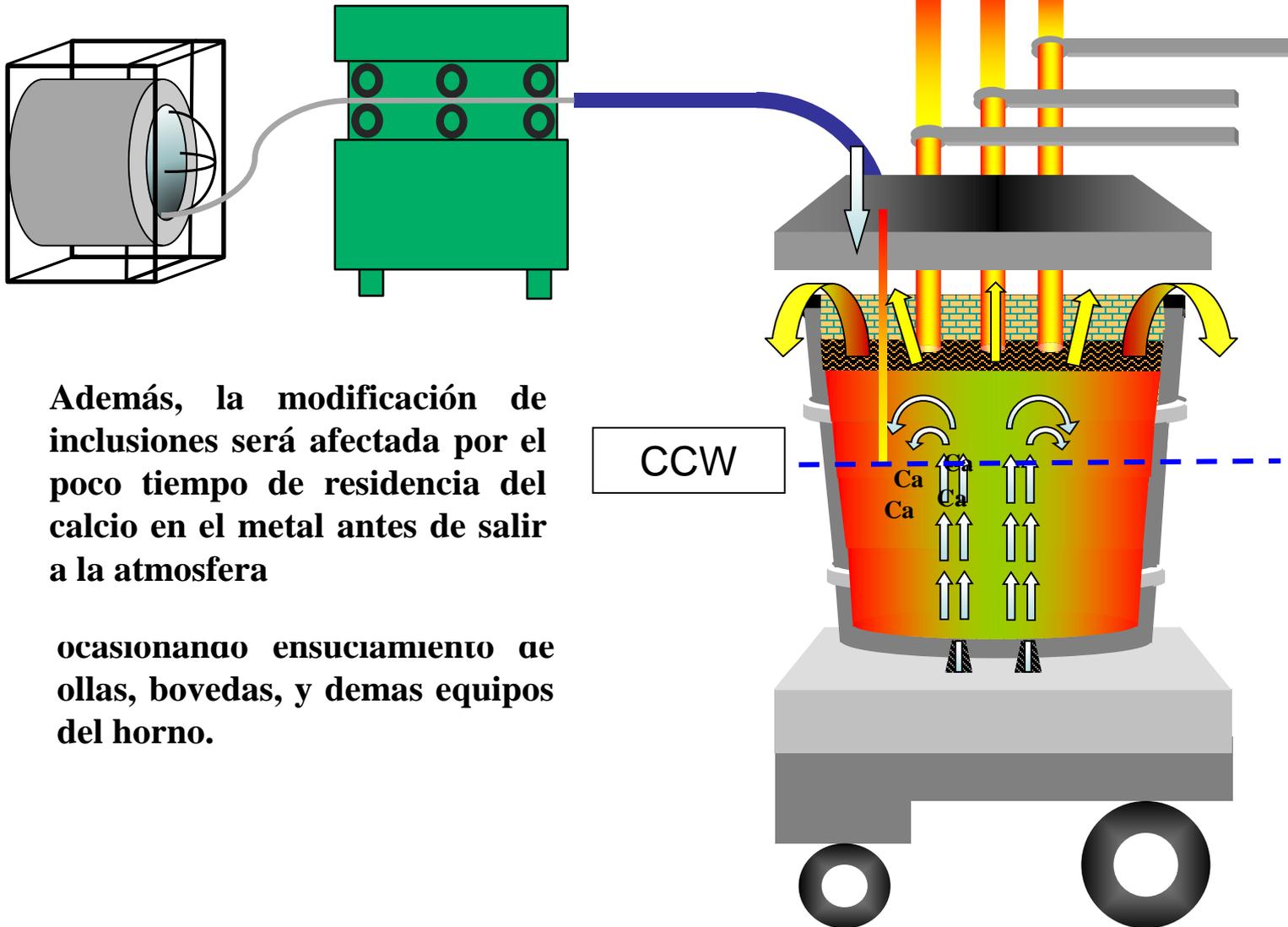
# Tratamiento con Calcio

Dichas cantidades de calcio deben ser controladas dentro de rangos estrechos, porque de lo contrario los aluminatos líquidos se enriquecerán en calcio y formarán aluminatos de calcio sólidos. Entonces la colabilidad del acero disminuye en presencia de estas inclusiones de alto punto de fusión. Este tipo de aluminatos ricos en CaO pueden ser incluso peores que los óxidos de aluminio. El costo, la baja eficiencia y control necesario de proceso hace difícil los tratamientos con calcio.





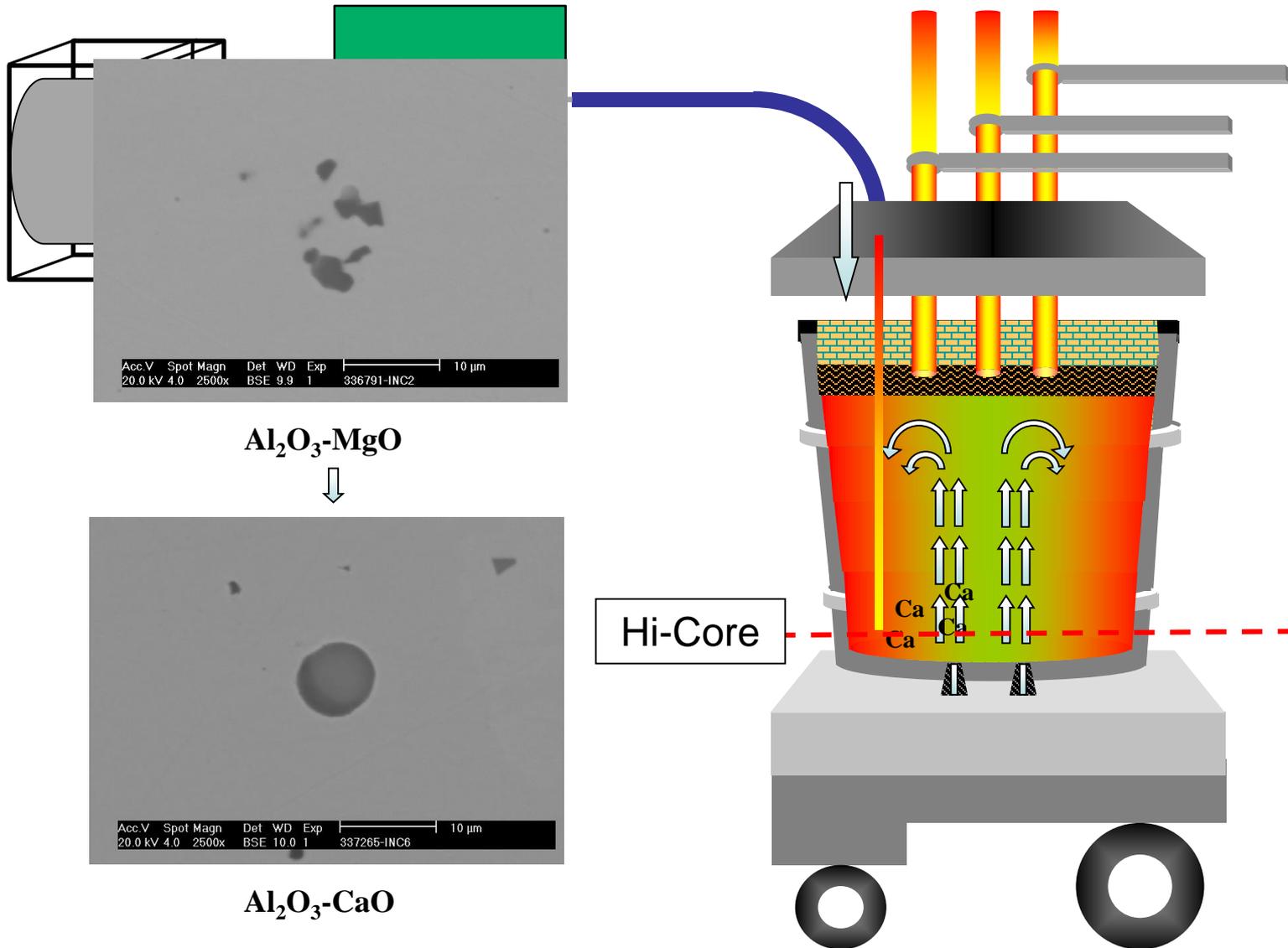
**MODIFICACION DE INCLUSIONES**  
El calcio se añade al acero por medio de la inyección de alambres convencionales que contienen aleaciones como FeCa, CaSi o AlCaFe. Esto es menos sencillo de lo que parece: el calcio tiene una solubilidad muy baja en acero líquido y por lo tanto la eficiencia de estas adiciones de calcio es baja.



Además, la modificación de inclusiones será afectada por el poco tiempo de residencia del calcio en el metal antes de salir a la atmosfera

ocasionando ensuciamiento de ollas, bovedas, y demas equipos del horno.

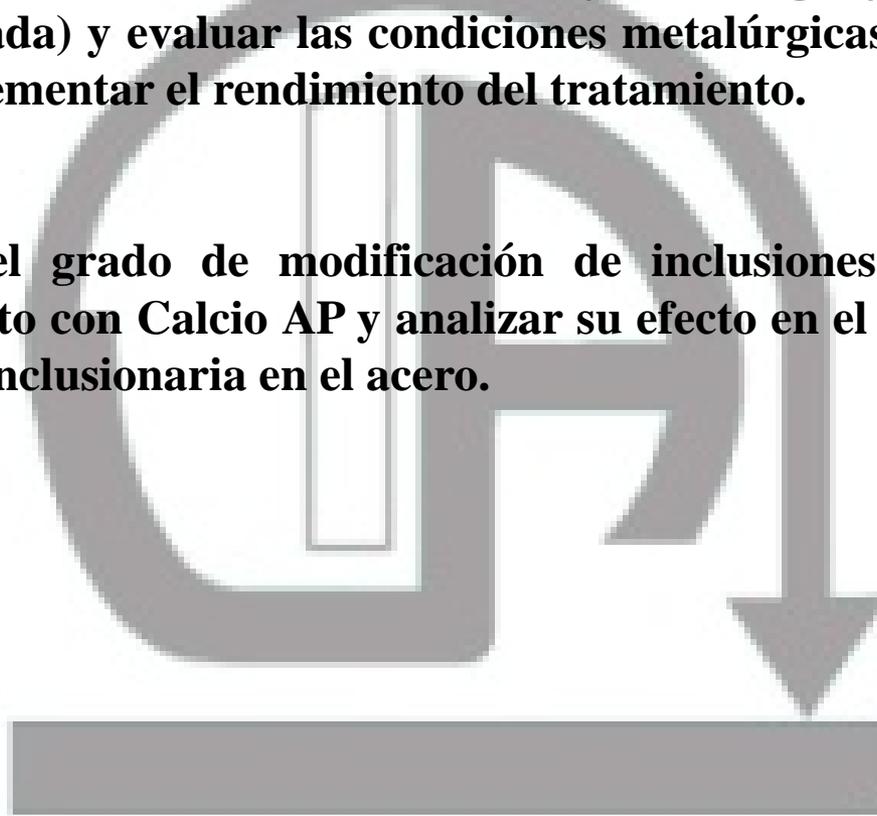
Una alternativa en el tratamiento de modificación de inclusiones es la inyección de un Calcio **Alta Pureza** (Ca AP), mediante la tecnología Hi-Core.



# Objetivos:



- **Optimizar los parámetros del tratamiento de inyección alambre de Calcio AP (velocidad de inyección, kg inyectados por tonelada) y evaluar las condiciones metalúrgicas ideales para incrementar el rendimiento del tratamiento.**
- **Evaluar el grado de modificación de inclusiones con el tratamiento con Calcio AP y analizar su efecto en el nivel de limpieza inclusionaria en el acero.**



# Desarrollo:



## Rollos de prueba.

Se utilizaron dos rollos de Calcio AP con un llenado de polvo de **0.069 kg/m** para el tratamiento de modificación de inclusiones del acero en un **Horno Olla de capacidad de 136 toneladas**. Un total de **51 coladas de acero bajo C (0.04 – 0.06 % C)**, fueron tratadas con estos rollos del 24 de noviembre al 26 de Diciembre 2011.

Los principales parámetros a optimizar fueron:

1. **Velocidad de inyección** (para evaluar el Splashing)
2. **Kgs. de polvo inyectados** por tonelada (para optimizar el rendimiento)

Otras variables del proceso a monitorear, para evaluar su impacto en el tratamiento del acero con calcio fueron:

1. **Niveles de Al y S disuelto** en el metal antes del tratamiento de inyección.
2. **Agitación del baño de acero.**

# Desarrollo:



## Parámetros de arranque.

Se determinaron los parámetros de inyección de arranque, de acuerdo al tonelaje de acero de la olla, y a la especificación de análisis químico de calcio (ppm Ca) al finalizar el tratamiento en el Horno olla.

Para coladas de **136 toneladas** de acero, se comenzó inyectando **130 metros** de alambre de Calcio AP (**8.97 Kg de polvo**) a una velocidad de **140 m/min**. El objetivo de **ppm's de Ca** se fijó en **22** (especificación 17 – 27 ppm Ca).

## Obtención de muestras.

La muestra obtenida para análisis químico de Ca se obtuvo en el horno olla a los 3 -5 minutos después del tratamiento de inyección. Con éste análisis de Ca, se determinó el rendimiento del tratamiento (%). Personal Operativo facilitó muestras de acero de algunas de las coladas para evaluar su limpieza inclusionaria a través de Microscopía electrónica de barrido en CINVESTAV Unidad Saltillo.

# Resultados:



## Rendimientos.

La tabla siguiente presenta los resultados generales obtenidos de las 51 coladas tratadas.

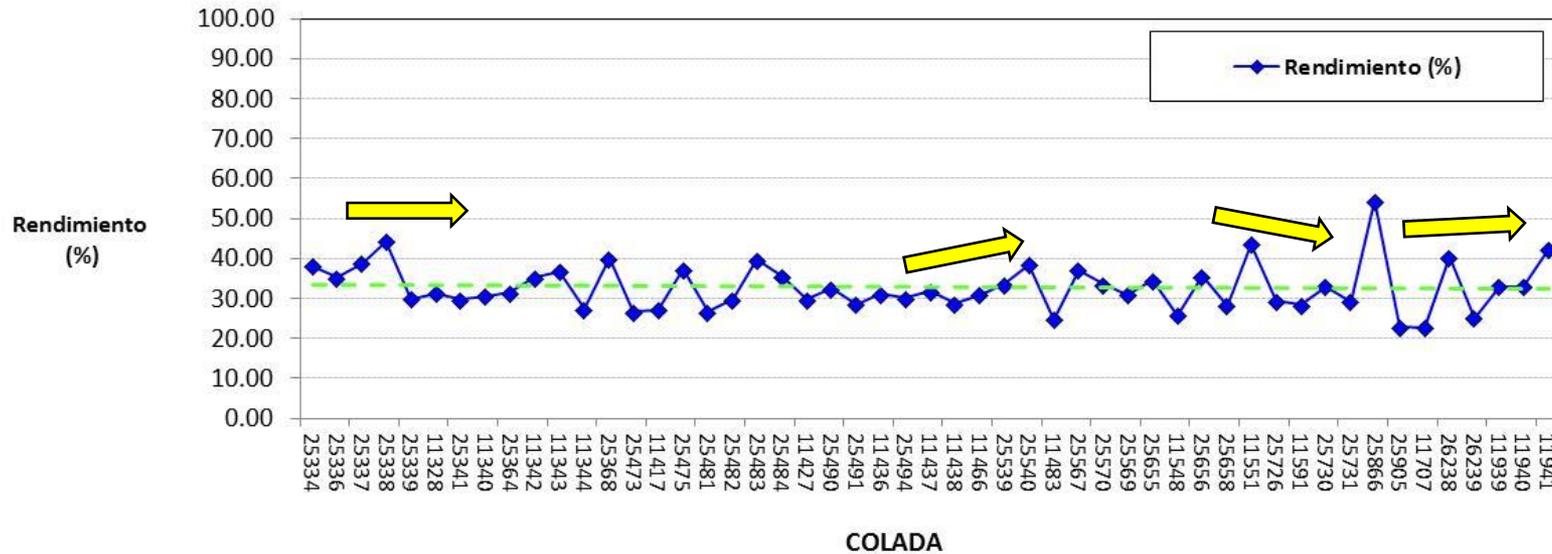
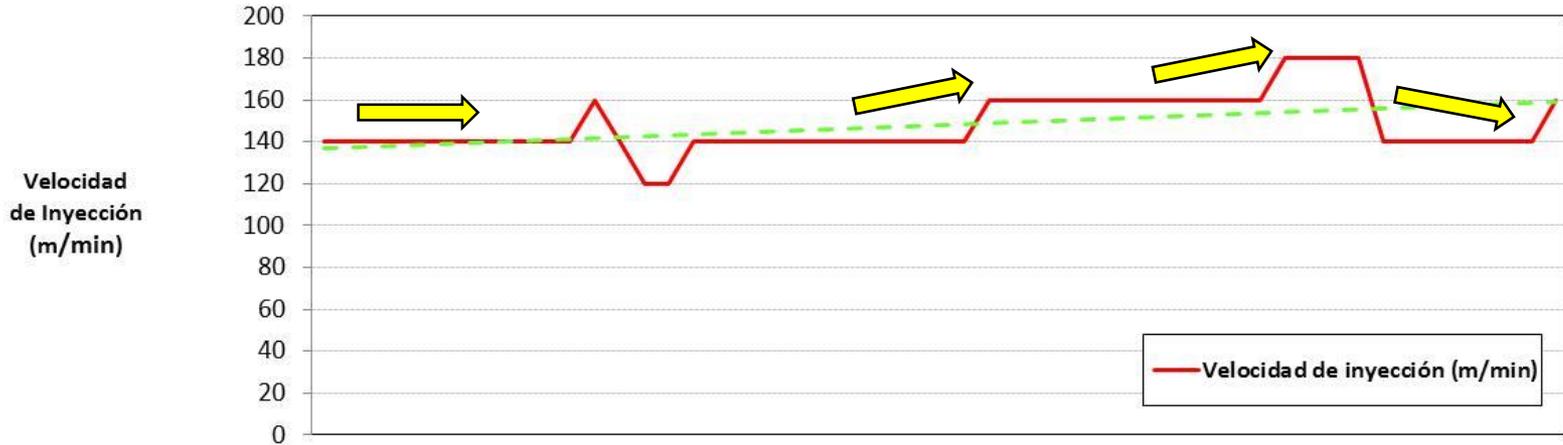
| RESULTADOS        |        |                          |                     |                      |                  |                    |                    |
|-------------------|--------|--------------------------|---------------------|----------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Metros inyectados | TAL    | Promedio rendimiento (%) | Desviacion Estandar | ppm Ca promedio (LF) | kg Polvo /colada | kg Calcio AP / ton | kg Calcio AP / ppm |
| 133.43            | 138.20 | 32.64                    | 5.90                | 21                   | 9.18             | 0.065              | 0.46               |

# Resultados:

## Efecto de la velocidad sobre el rendimiento.

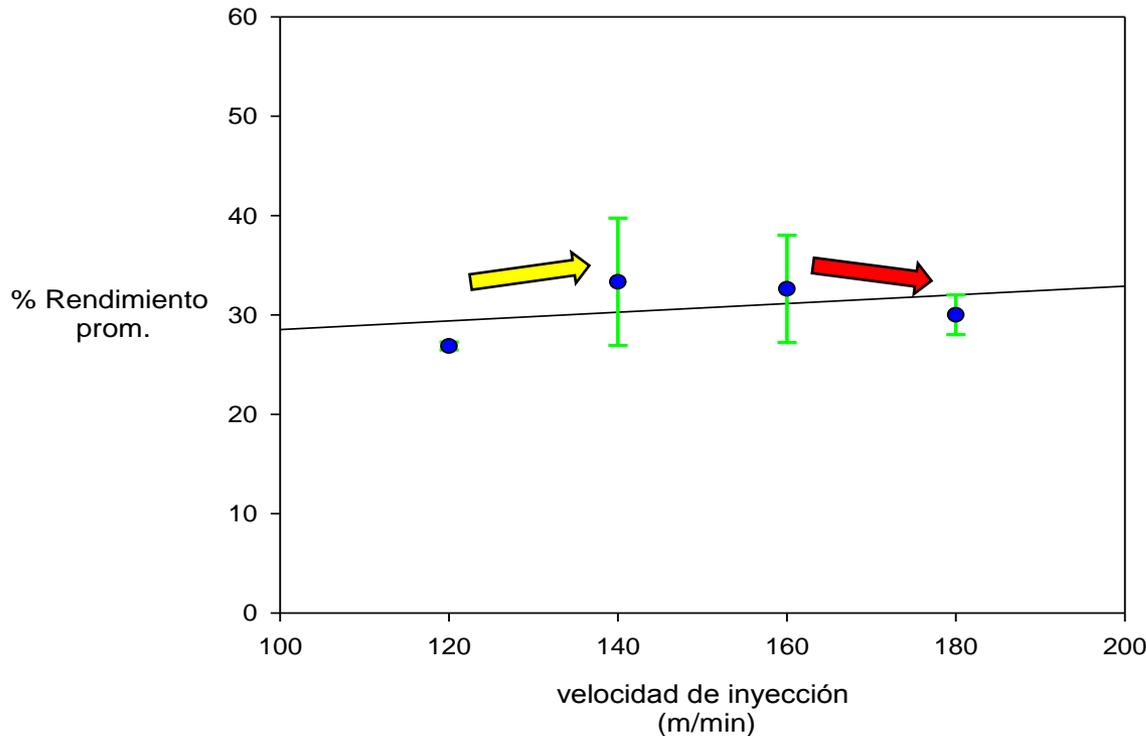


Rendimiento vs. Velocidad de Inyección



# Resultados:

## Efecto de la velocidad sobre el rendimiento.



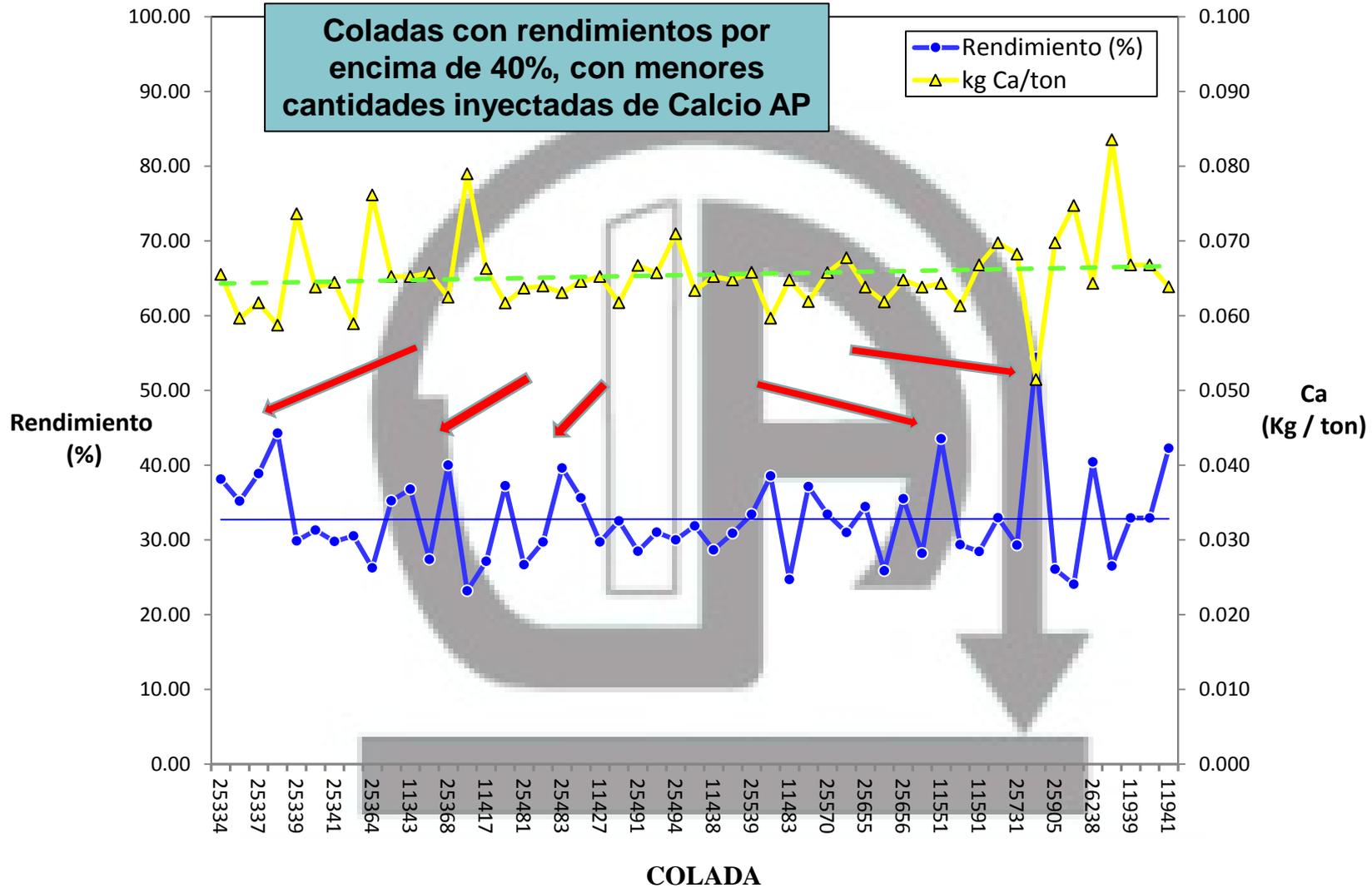
Un incremento gradual del rendimiento se observa conforme la velocidad de inyección aumenta hasta 160 m/min, sin embargo encima de este valor el incremento del splashing se hizo notable, con el decremento del rendimiento

### RESULTADOS

| Velocidad de inyección (m/min) | Coladas tratadas | Metros inyectados | TAL    | rendimiento prom. (%) HO | Desviación estandar | ppm Ca promedio HO | Desviación estandar | kg Polvo /colada | kg Calcio AP / ton | kg Calcio AP / ppm |
|--------------------------------|------------------|-------------------|--------|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| 120                            | 2                | 152.5             | 141.93 | 26.87                    | 0.4                 | 20                 | 2.1                 | 10.49            | 0.073              | 0.68               |
| 140                            | 32               | 133.43            | 138.42 | 33.34                    | 6.4                 | 22                 | 2.9                 | 9.18             | 0.065              | 0.46               |
| 160                            | 13               | 129.23            | 136.48 | 32.63                    | 5.4                 | 21                 | 3.3                 | 8.89             | 0.064              | 0.43               |
| 180                            | 4                | 137.30            | 140.18 | 30.02                    | 2                   | 20                 | 2.2                 | 9.46             | 0.067              | 0.48               |

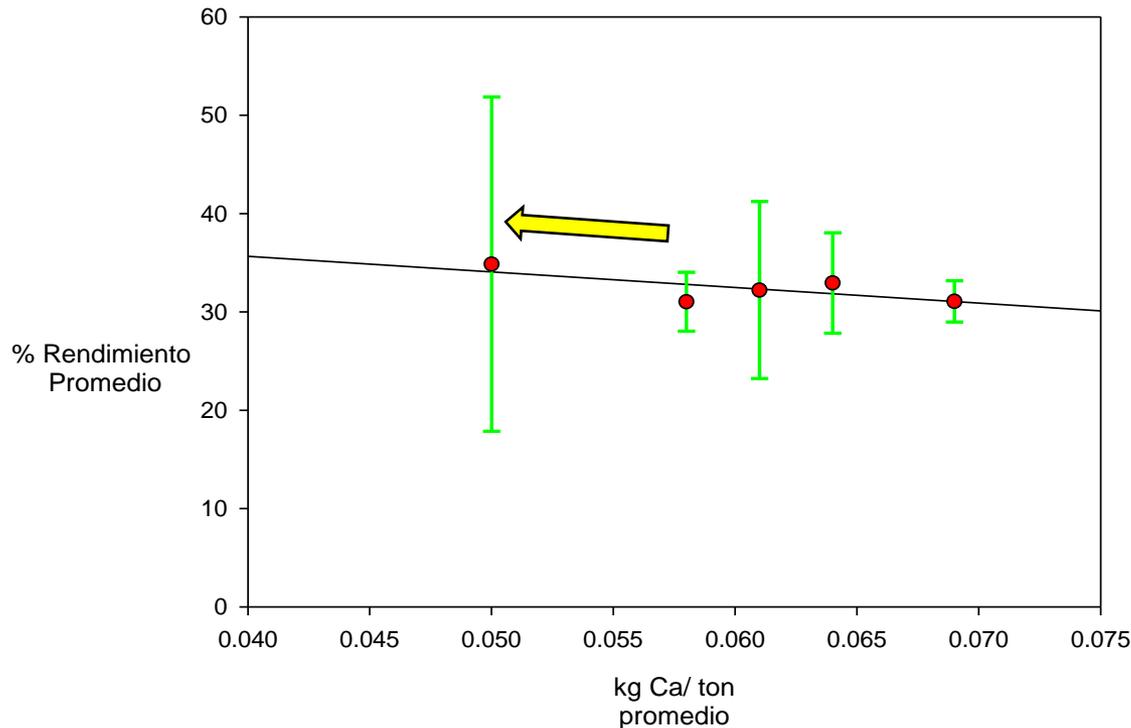
# Resultados:

## Efecto de los kg inyectados de Calcio AP sobre el rendimiento.



# Resultados:

## Efecto de los kg inyectados de Calcio AP sobre el rendimiento.



Se observa un tendencia al incremento del rendimiento del tratamiento conforme la cantidad de Ca inyectada por tonelada disminuye

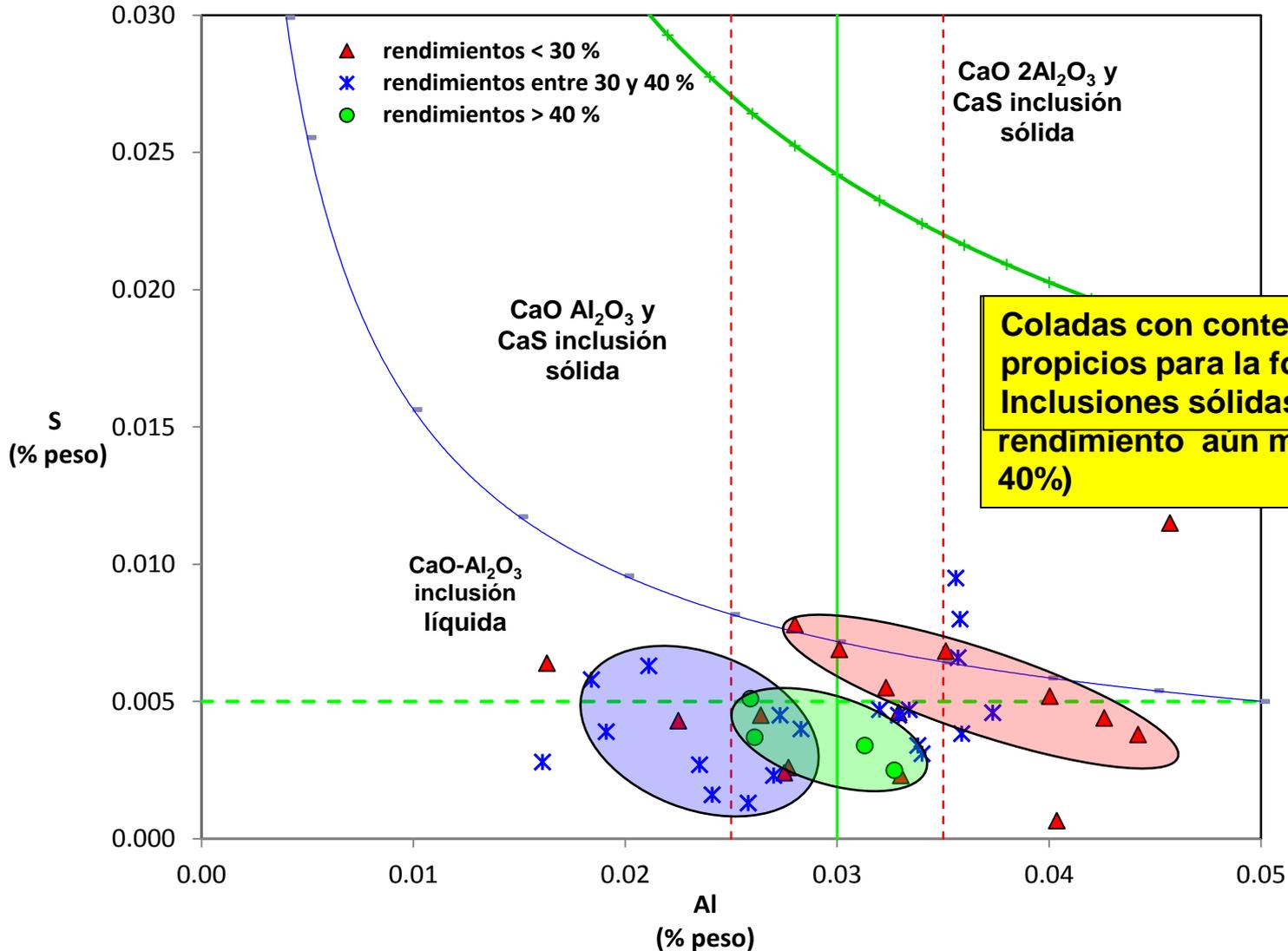
### RESULTADOS

| Metros inyectados | Coladas tratadas | Velocidad de inyección (m/min) | TAL    | rendimiento prom. (%) HO | Desviación estandar | ppm Ca promedio HO | Desviación estandar | kg Polvo /colada | kg Calcio AP / ton | kg Calcio AP / ppm |
|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| 100               | 3                | 140.0                          | 134.57 | 34.86                    | 17                  | 20                 | 6.7                 | 6.88             | 0.050              | 0.45               |
| 120               | 2                | 140.0                          | 140.18 | 31.03                    | 3                   | 21                 | 4.2                 | 8.26             | 0.058              | 0.50               |
| 125               | 2                | 160.0                          | 139.50 | 32.22                    | 9                   | 20                 | 4.9                 | 8.60             | 0.061              | 0.46               |
| 130               | 38               | 145.8                          | 138.00 | 32.94                    | 5.1                 | 21                 | 2.8                 | 8.95             | 0.064              | 0.44               |
| >140              | 6                | 160.0                          | 139.84 | 31.07                    | 2.1                 | 21                 | 1.5                 | 9.75             | 0.069              | 0.46               |



# Resultados:

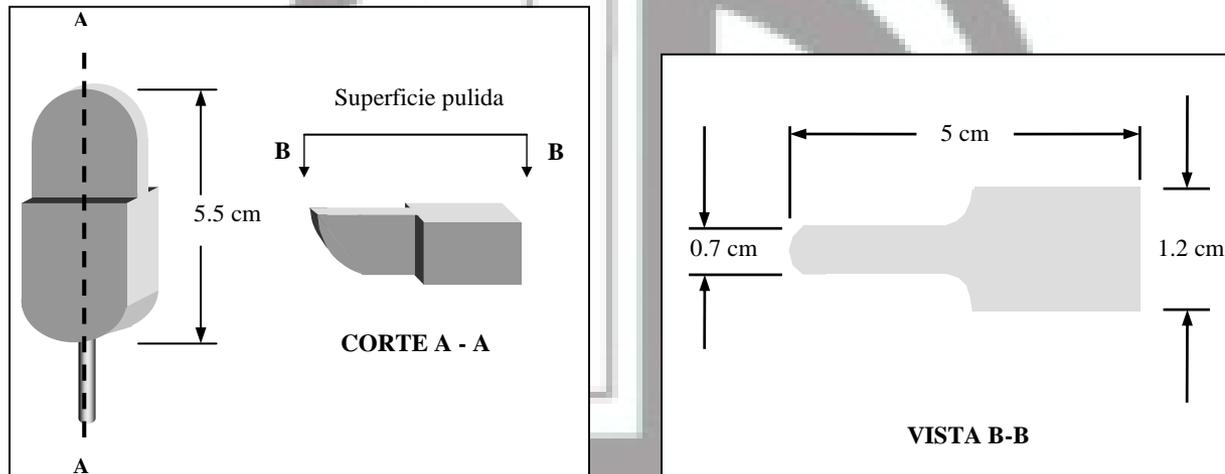
Efecto de los niveles de Al y S antes del tratamiento de inyección sobre el rendimiento.



# Resultados:

## Preparación de muestras para análisis de MEB.

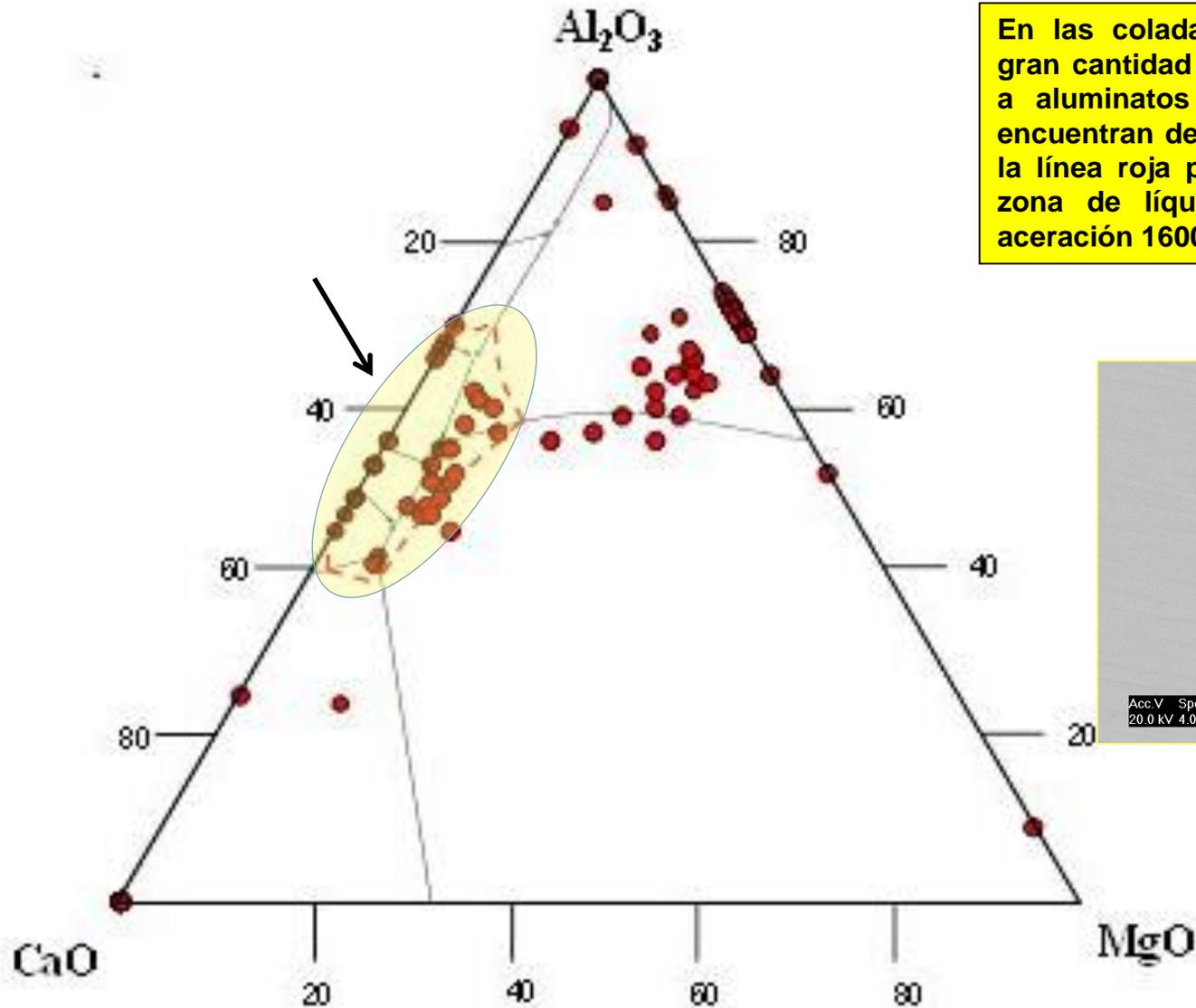
En varias coladas, las muestras de acero obtenidas después del tratamiento de inyección, se enviaron para su análisis de limpieza inclusionaria en CINVESTAV Unidad Saltillo.



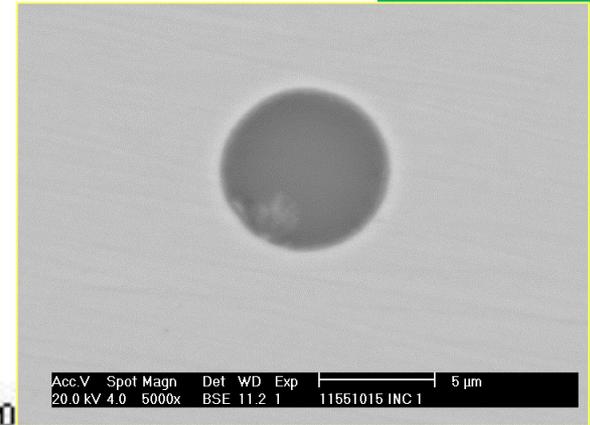


# Resultados:

## Evaluación del grado de modificación de inclusiones con Calcio AP.



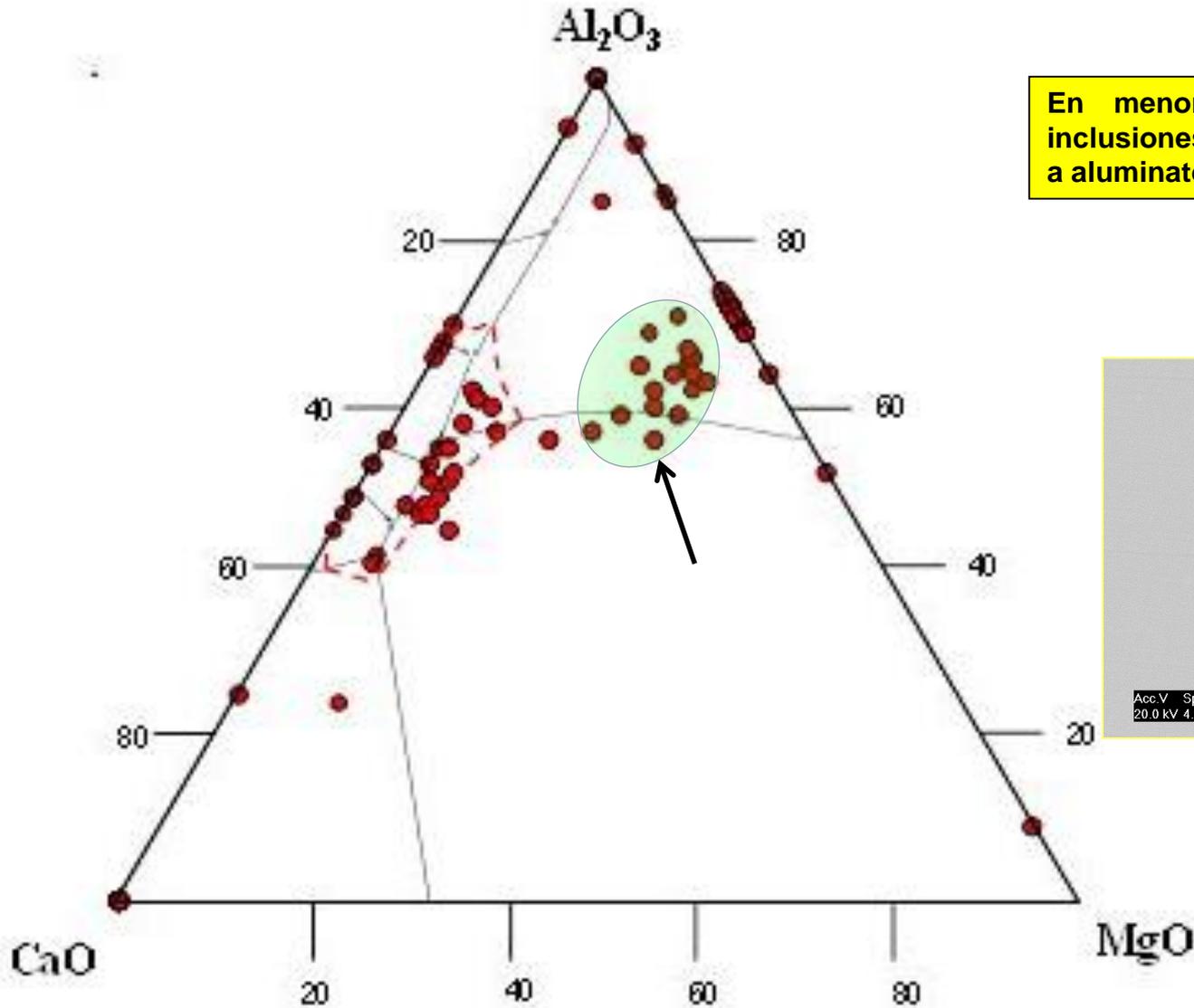
En las coladas tratadas con Calcio AP, gran cantidad de inclusiones modificadas a aluminatos de calcio ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ ) se encuentran dentro del área delimitada por la línea roja punteada, que representa la zona de líquidus a la temperatura de aceración 1600 °C.



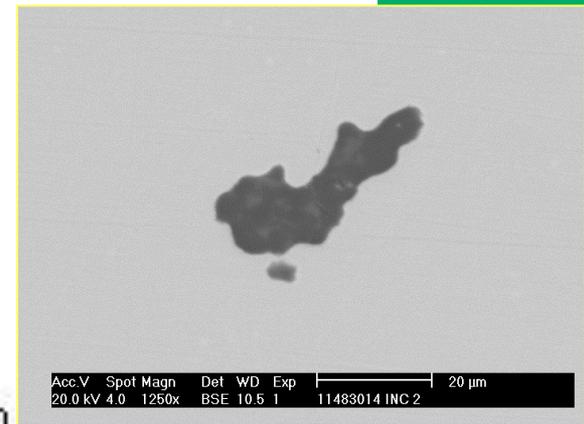


# Resultados:

Evaluación del grado de modificación de inclusiones con Calcio AP.



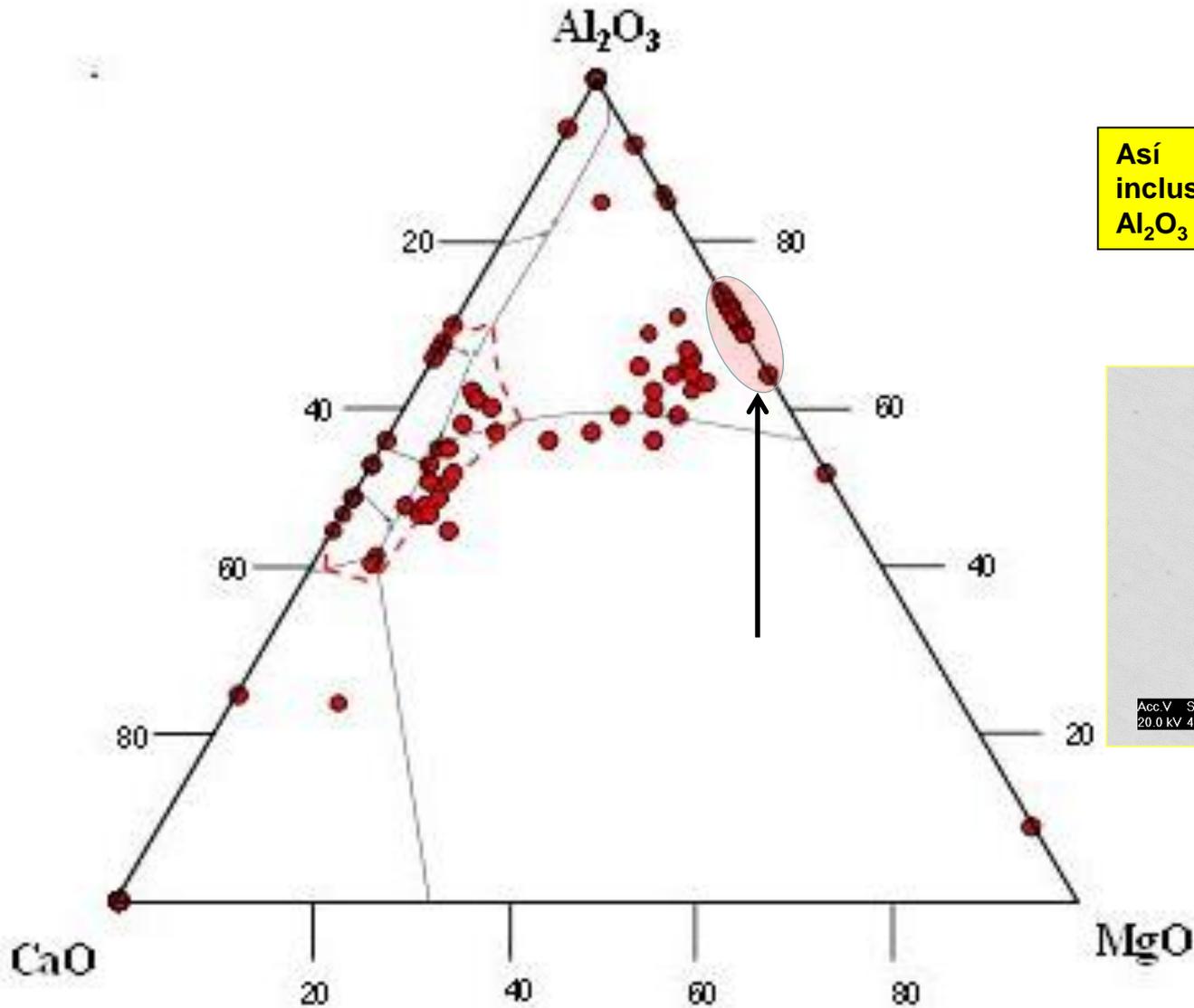
En menor proporción encontramos inclusiones con inicio de modificación a aluminatos de calcio



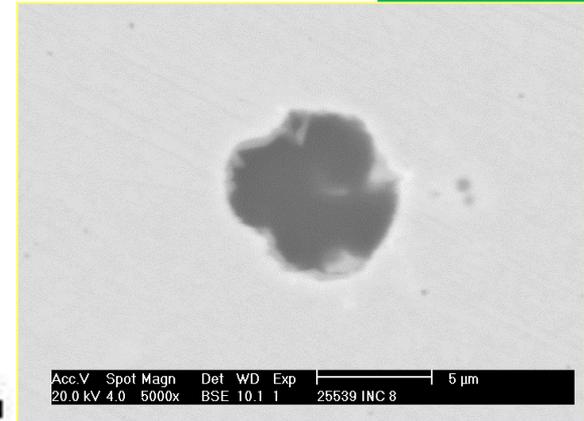


# Resultados:

## Evaluación del grado de modificación de inclusiones con Calcio AP



Así mismo se encontraron inclusiones tipo espinelas (70-75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 25-30% MgO)

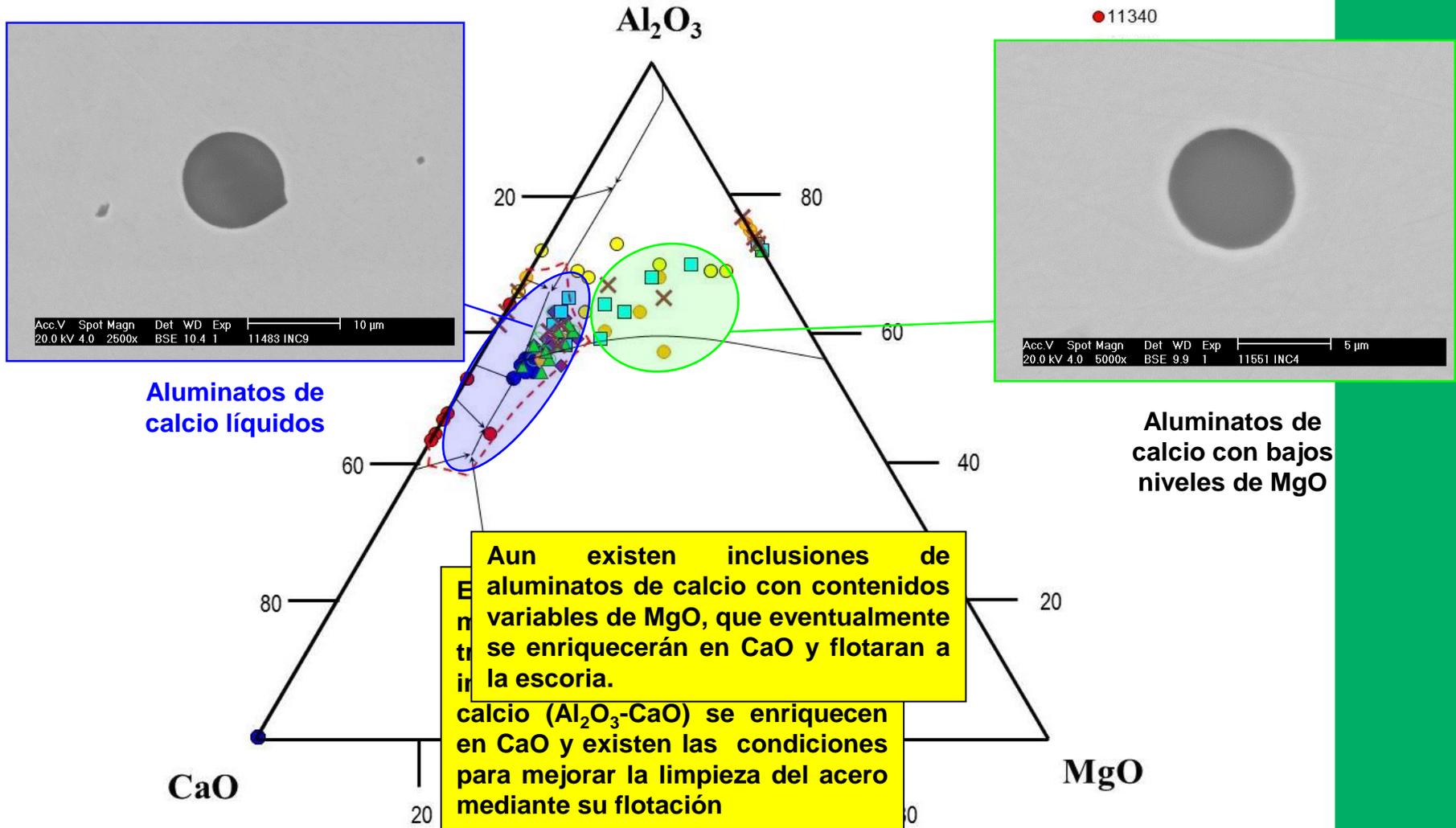




# Resultados:

## Evaluación del grado de modificación de inclusiones con Calcio AP.

### *Molde Colada Continua*



Aluminatos de calcio líquidos

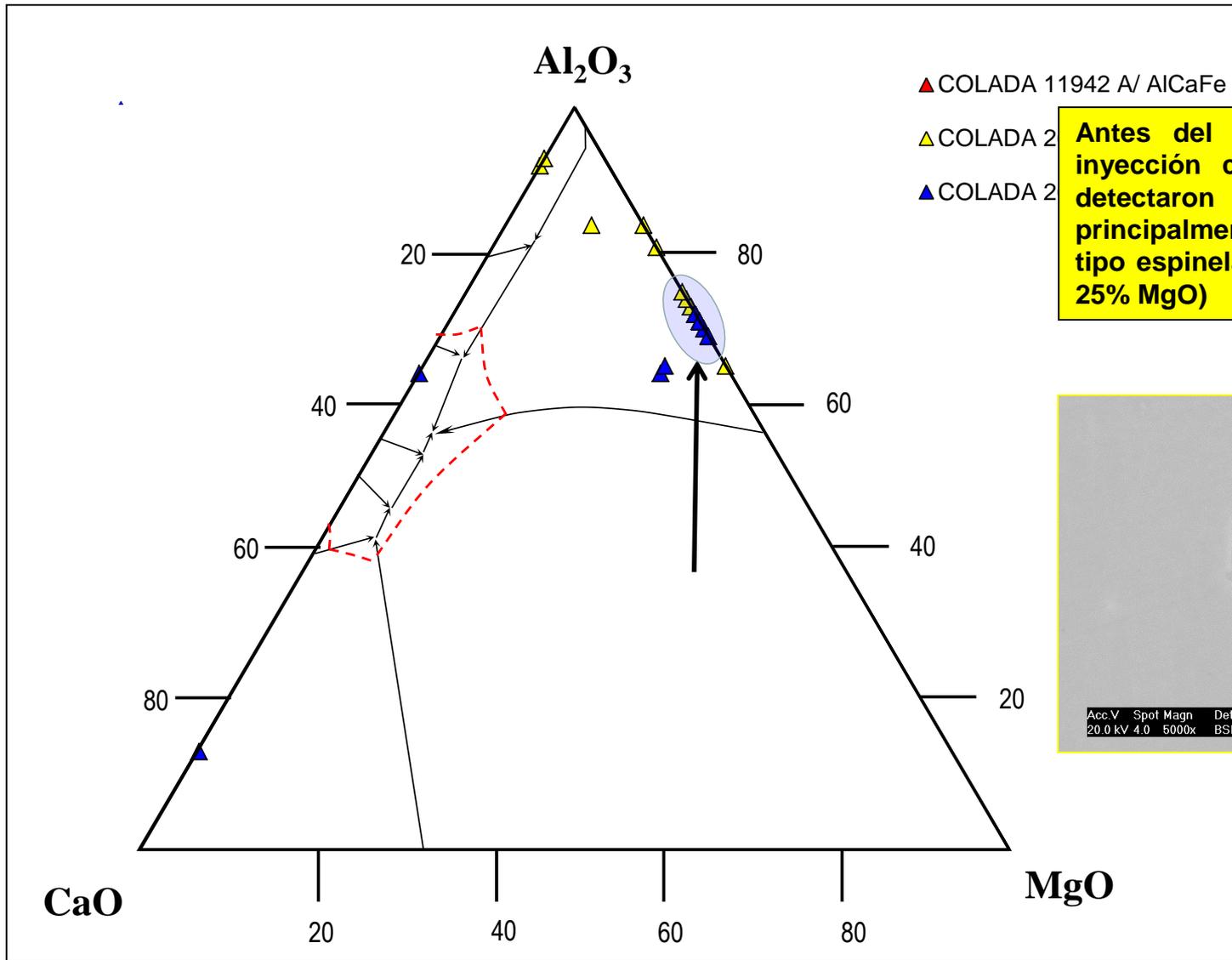
Aluminatos de calcio con bajos niveles de MgO

Aun existen inclusiones de aluminatos de calcio con contenidos variables de MgO, que eventualmente se enriquecerán en CaO y flotarán a la escoria.

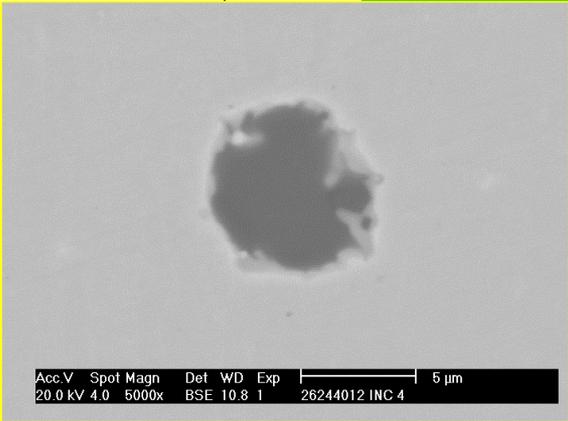
El calcio ( $Al_2O_3$ -CaO) se enriquecen en CaO y existen las condiciones para mejorar la limpieza del acero mediante su flotación

# Resultados:

Composición química de las INM antes del tratamiento con AlCaFe.



Antes del tratamiento de inyección con AlCaFe se detectaron en el análisis principalmente inclusiones tipo espinelas (75%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 25% MgO)





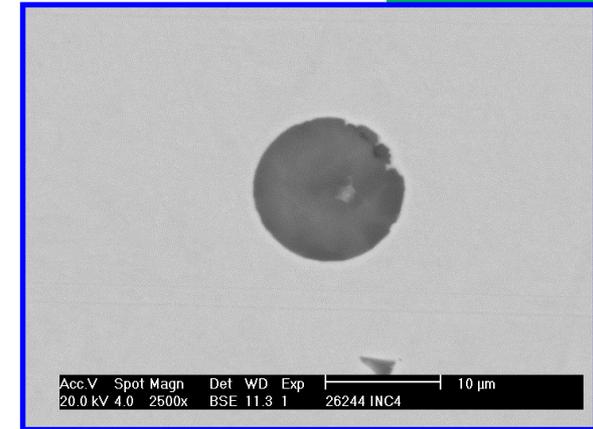
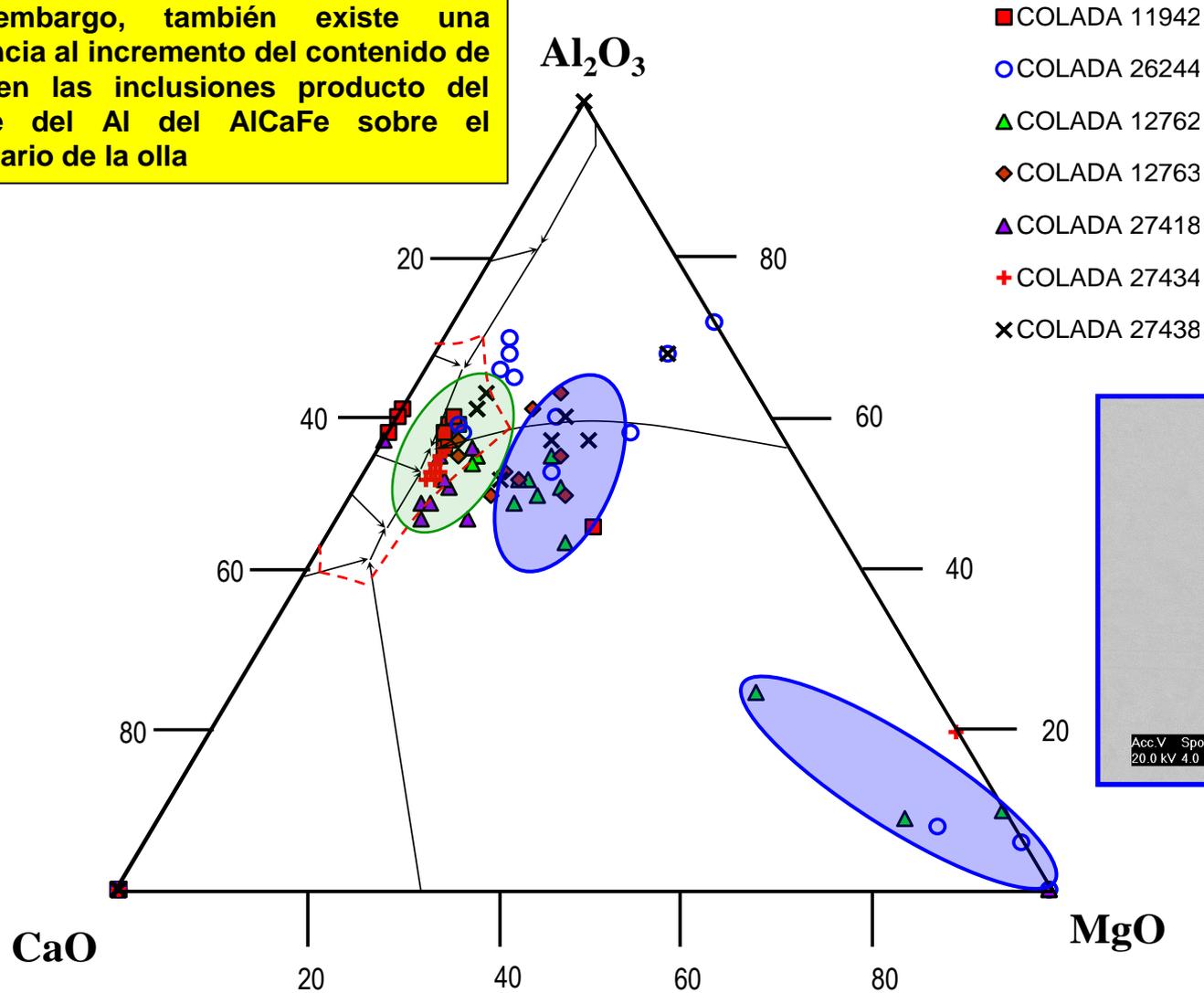


# Resultados:

## Composición química de las INM

### Molde de Colada Continua

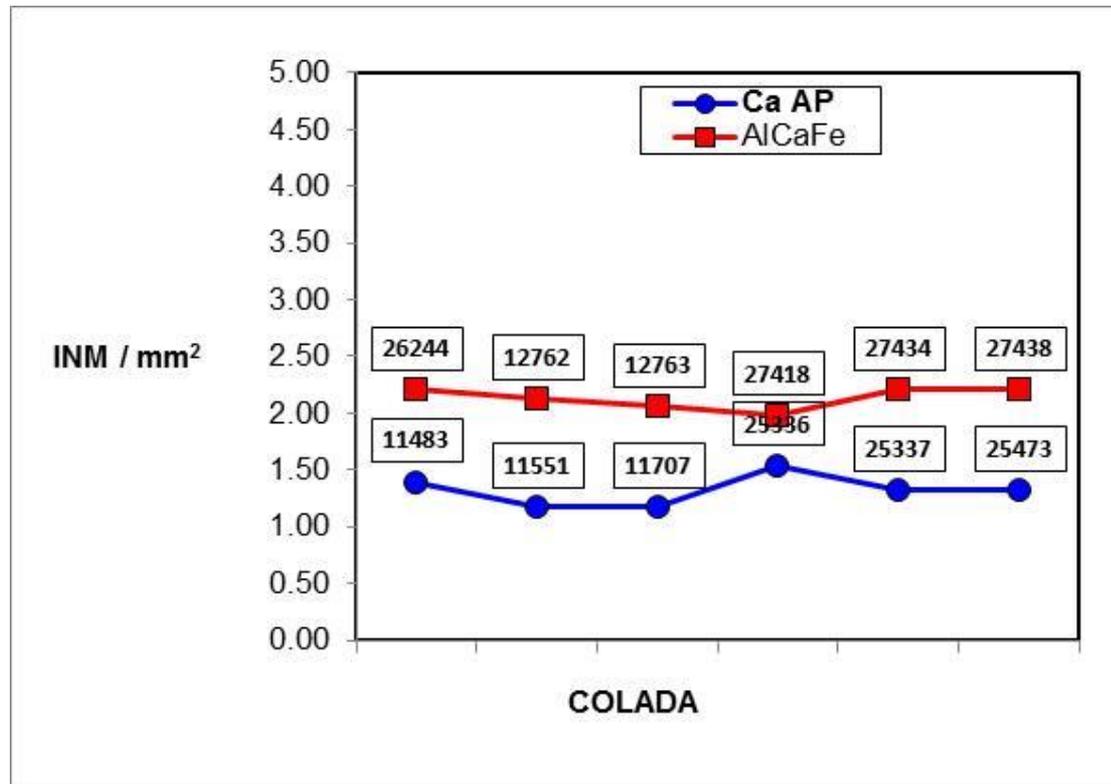
Sin embargo, también existe una tendencia al incremento del contenido de MgO en las inclusiones producto del ataque del Al del AlCaFe sobre el refractario de la olla





## Discusión de resultados

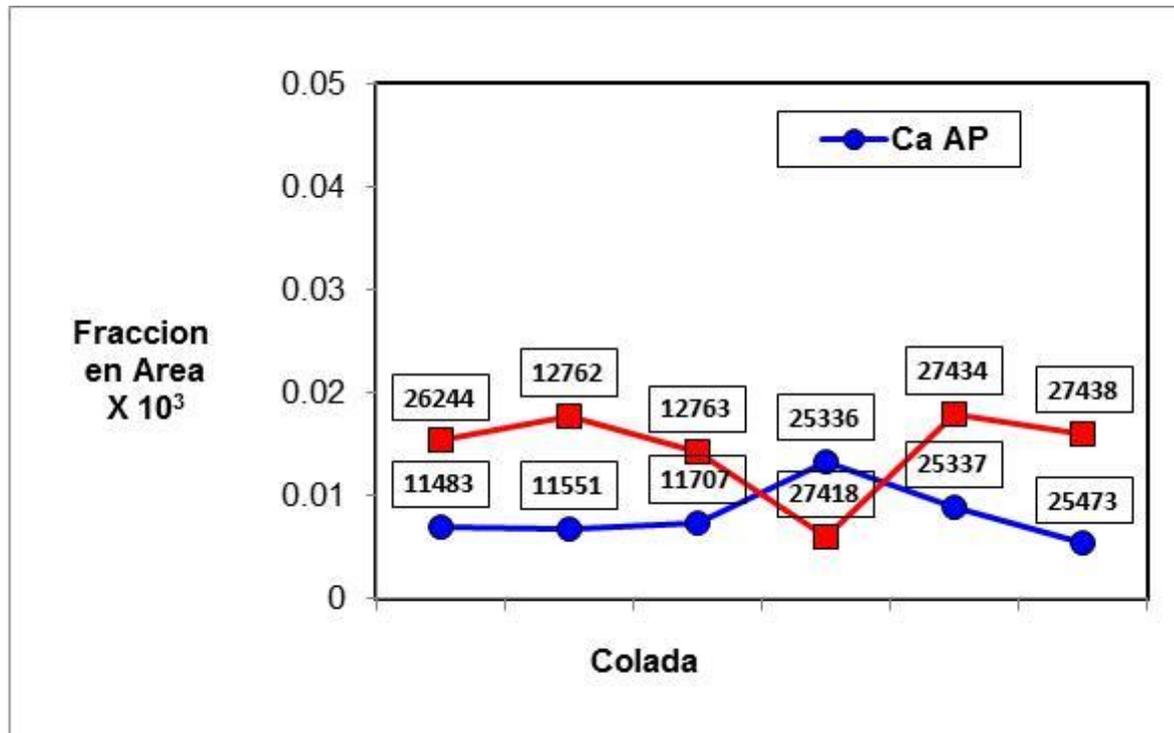
Evaluación del nivel de limpieza inclusionaria del acero en coladas tratadas con Calcio AP y AlCaFe..





## Discusión de resultados

Evaluación del nivel de limpieza inclusionaria del acero en coladas tratadas con Calcio AP y AlCaFe.





## Conclusiones:

De los resultados obtenidos de las pruebas de inyección realizadas con Ca AP a nivel planta, se concluye lo siguiente:

1. Se obtuvo mejor rendimiento promedio en el tratamiento de acero con Ca AP (32.64%) que con AlCaFe (24-25%) El consumo promedio para obtener este rendimiento fue de 0.065 kg Ca/ton.
2. Se determinó que la velocidad de inyección debe estar entre 140 y 160 m/min para obtener los mejores resultados, y disminuir considerablemente el splashing.
3. Se obtuvieron mejores rendimientos (34.86 %) inyectando 100 metros de Ca AP con un promedio de 20 ppm's de Ca, similares a las obtenidas con cantidades mayores inyectadas.





## Conclusiones:

En cuanto al nivel de limpieza inclusionaria del acero obtenida con el tratamiento con Ca AP se concluye lo siguiente:

1. Se obtuvo una mejor modificación de inclusiones con Ca AP con respecto a la obtenida con AlCaFe. Esto indica una mejor cinética de reacción provocada por la inyección de Ca AP la cual favoreció una temprana modificación de inclusiones.
2. La adecuada modificación de inclusiones es favorecida por el control en los contenidos de [Al] y [S] en el acero antes del tratamiento con Calcio.





## Conclusiones:

En cuanto al nivel de limpieza inclusionaria del acero obtenida con el tratamiento con Ca AP se concluye lo siguiente:

3. Mejores niveles de limpieza inclusionaria se asocian a la temprana modificación de las inclusiones (justo después de la inyección de Ca AP), favoreciendo su flotación debido al mayor tiempo que tienen para este efecto, obteniendo con ello un producto terminado de mejor calidad, disminuyendo los rechazos por defectos de inclusiones que surgen en el proceso de laminación.
4. En general, por la tecnología Hi-Core con la cual se obtiene un potencial de inyección, se favorece la correcta modificación de inclusiones con menores cantidades de calcio a inyectar y con el consecuente incremento del rendimiento.

