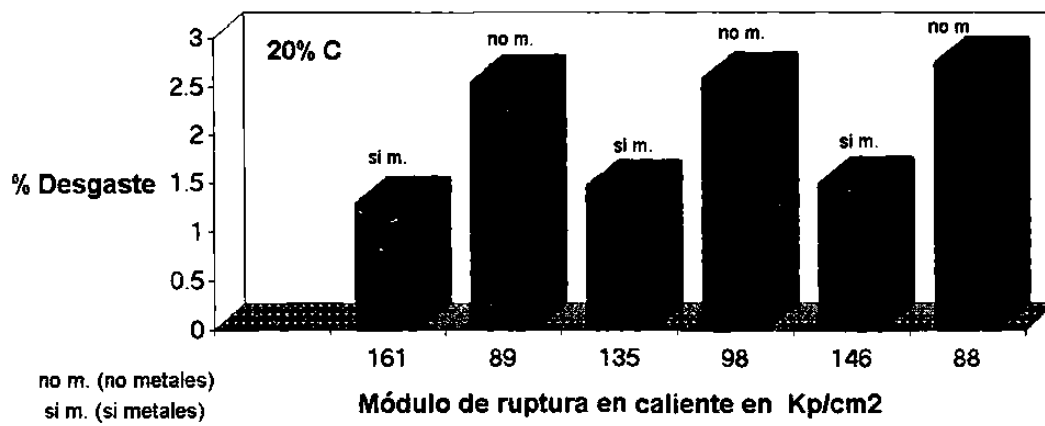
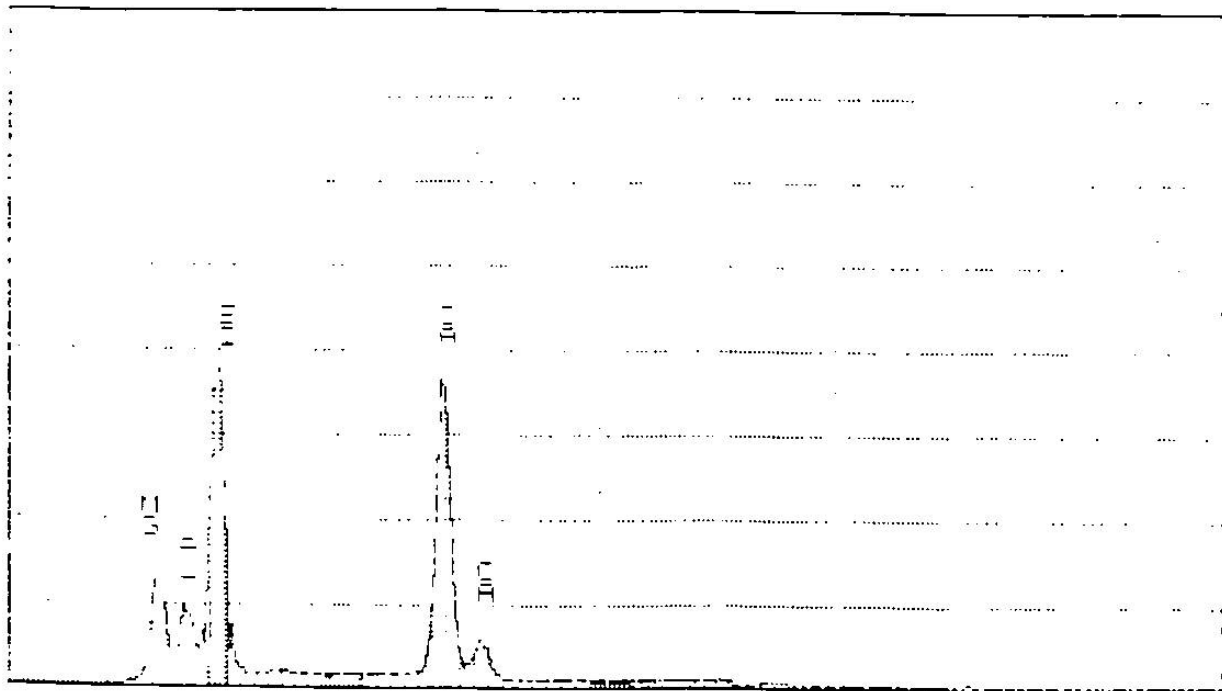
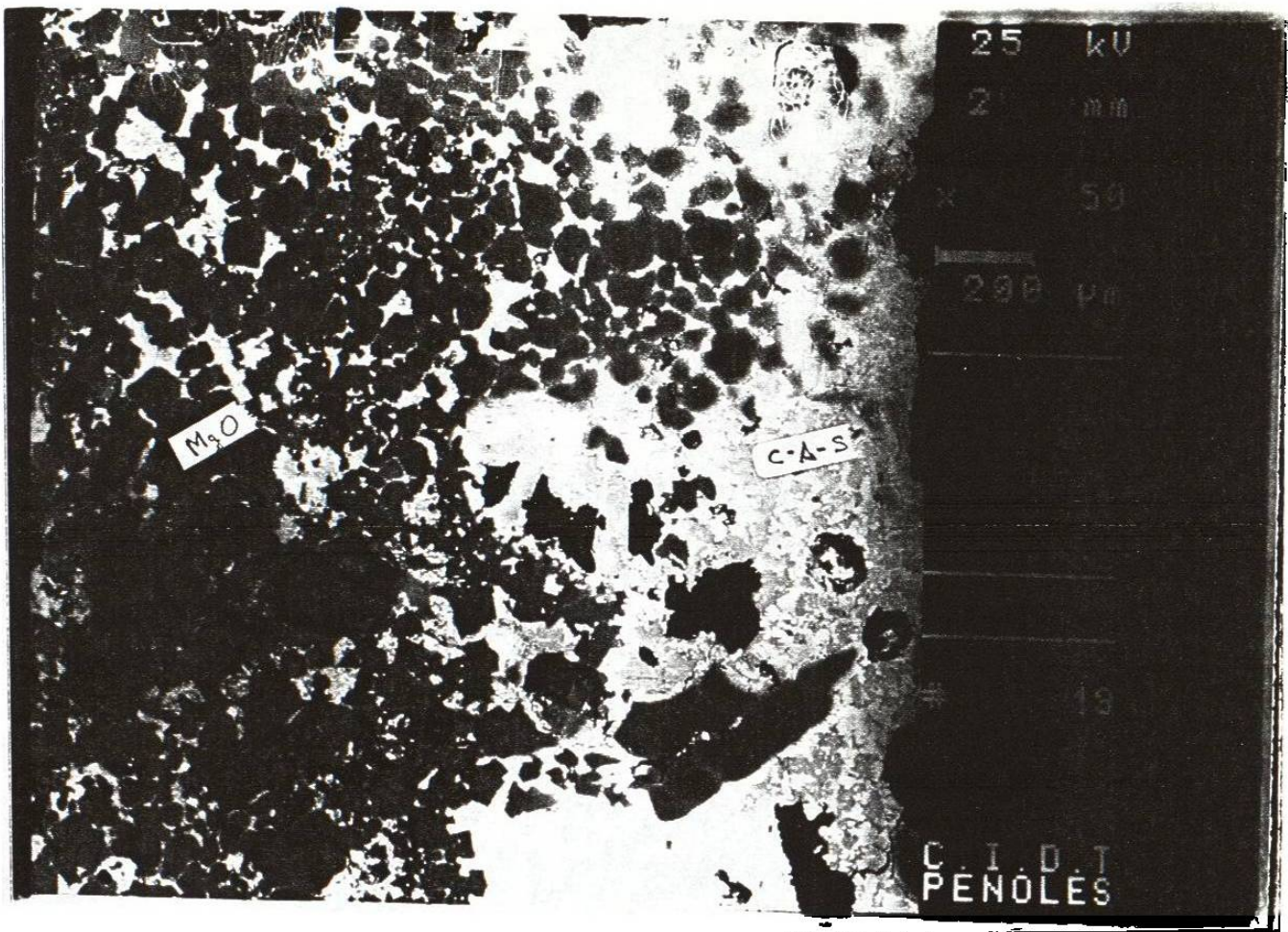


Gráfica No. 32.- Influencia de adición de metales antioxidantes con respecto a su módulo de ruptura en caliente a 1400°C y el % de desgaste (corrosión) que sufre el material.



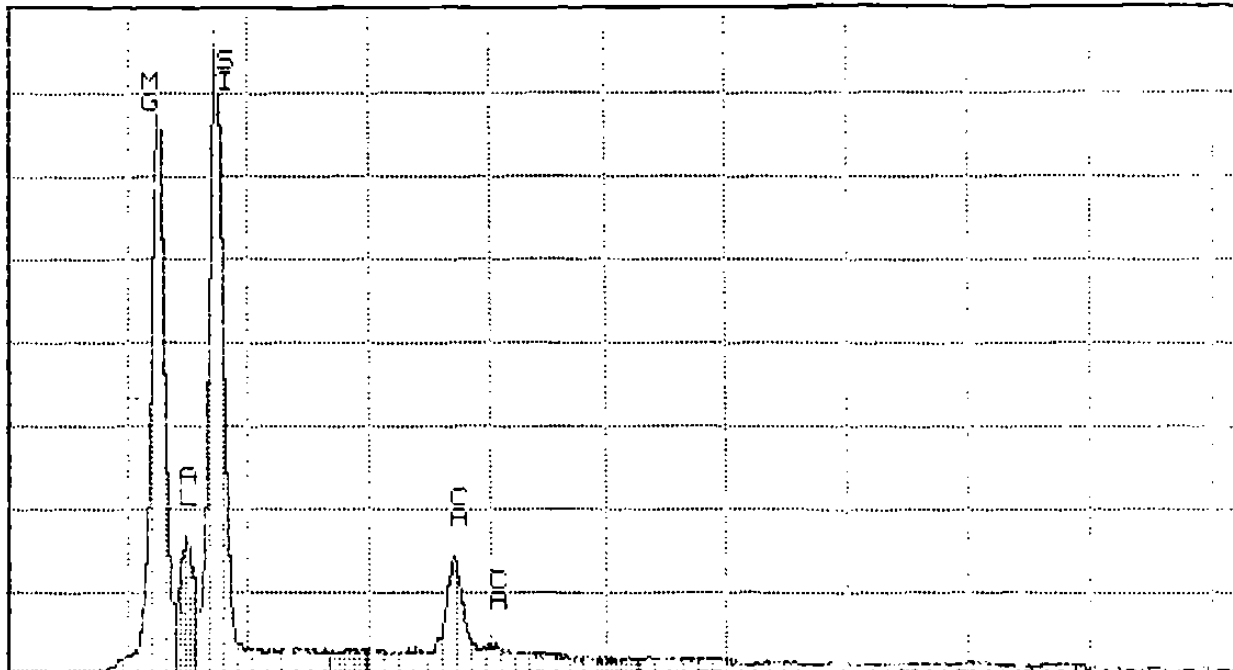
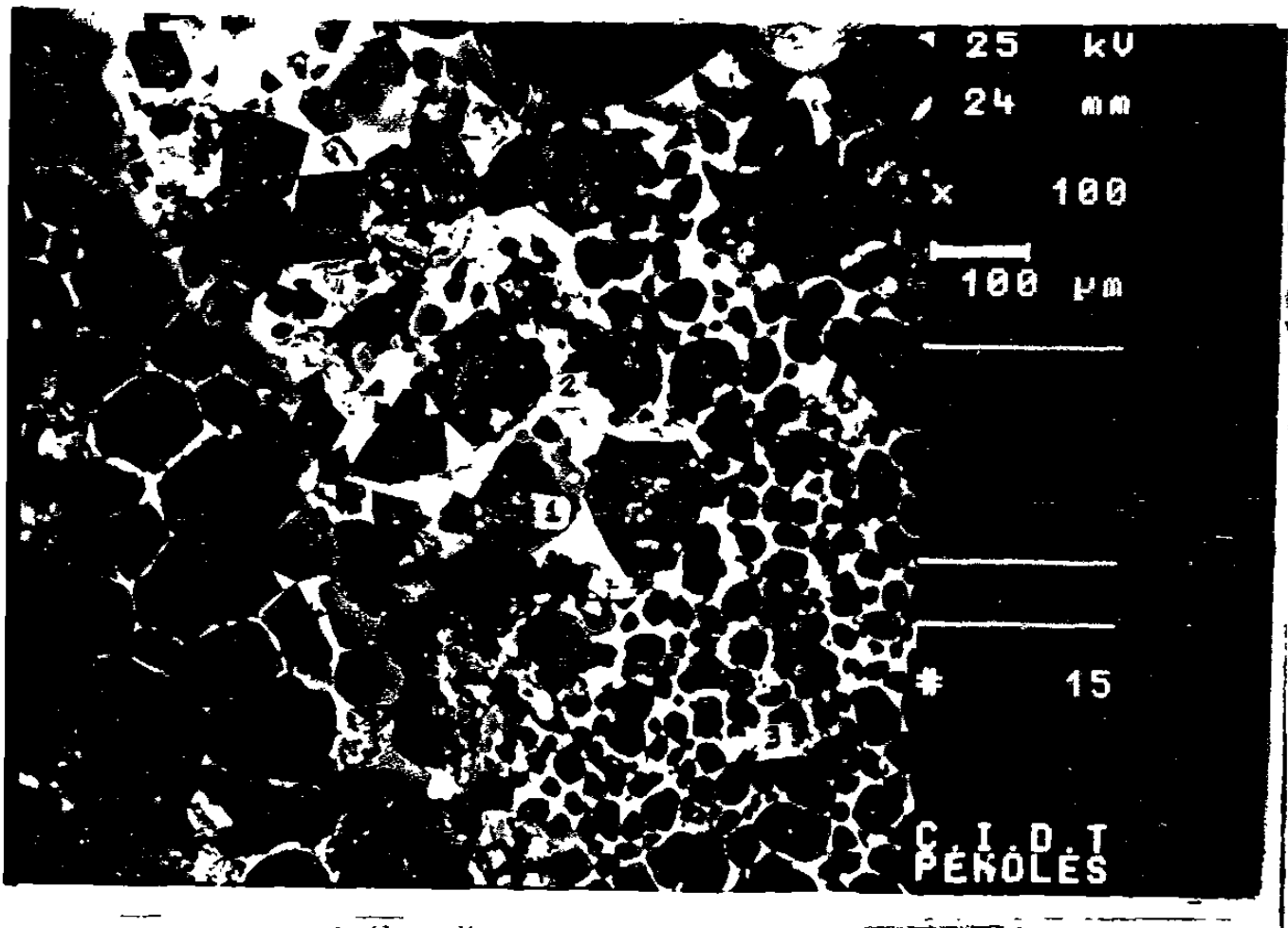
Lo que provoca una pérdida total de liga en la cara caliente haciendo esta zona susceptible a cualquier tipo de esfuerzo mecánico que terminará por desprender esta parte del ladrillo y de ahí el excesivo desgaste que se va presentando en el producto.

La tabla No.24 nos muestra por Difracción de Rayos X los cambios de fase que sufren los materiales despues de la prueba de ataque por escoria, método dinámico a 1650°C.



Fotografía No.8

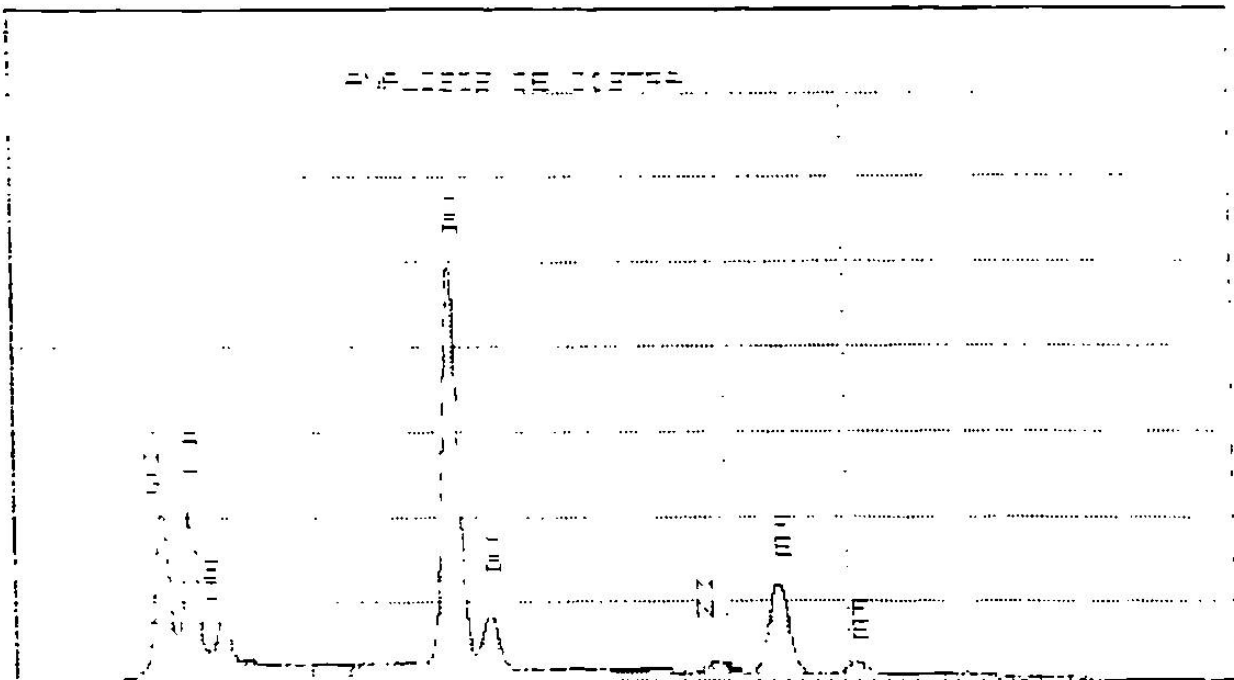
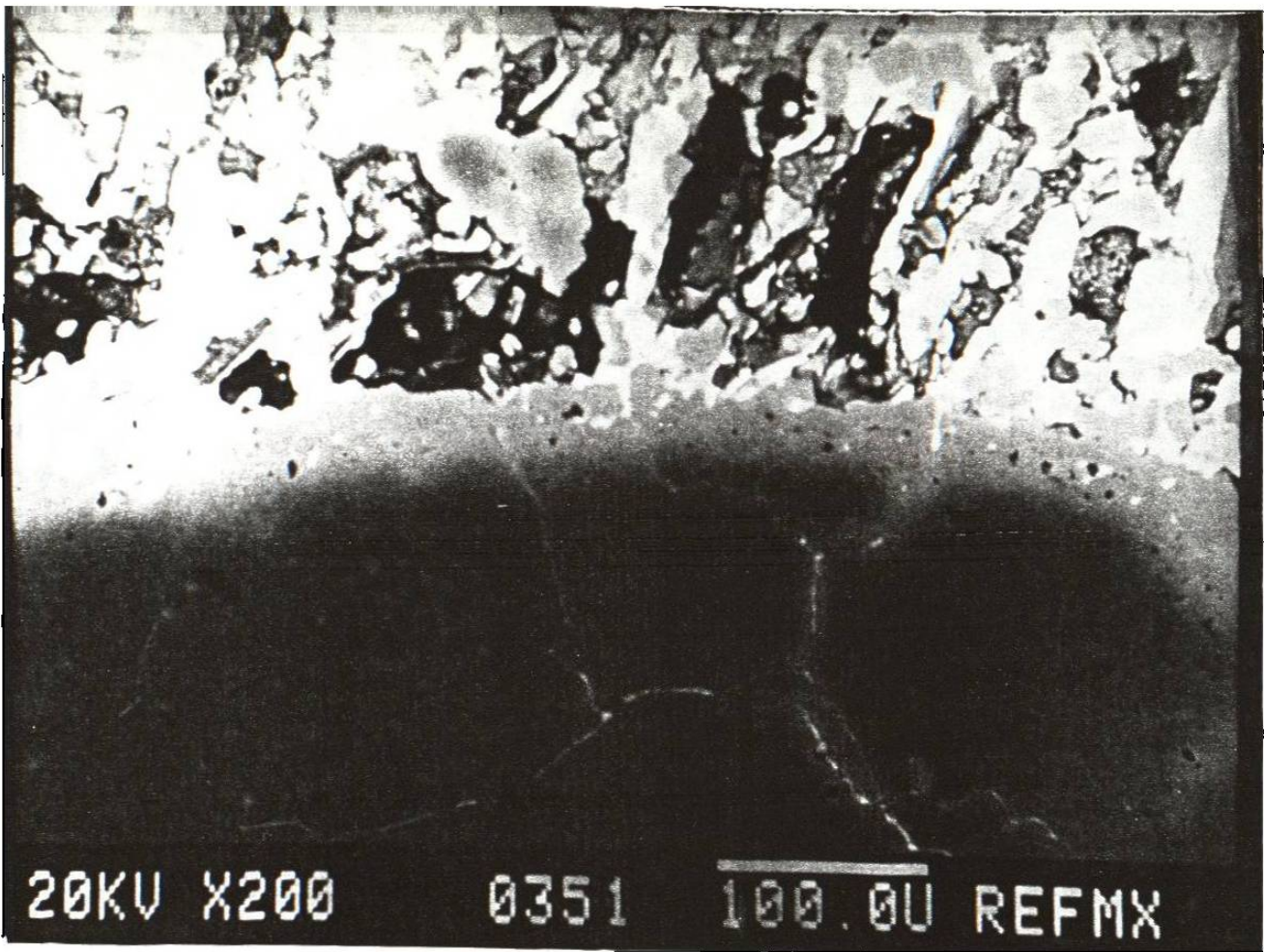
Separación de los cristales de MgO de las partículas de periclasa, producto de la infiltración de escoria rica en SiO_2 - Al_2O_3 - CaO .



Fotografía No.9

Producto de reacción de la escoria con el oxido de magnesio.

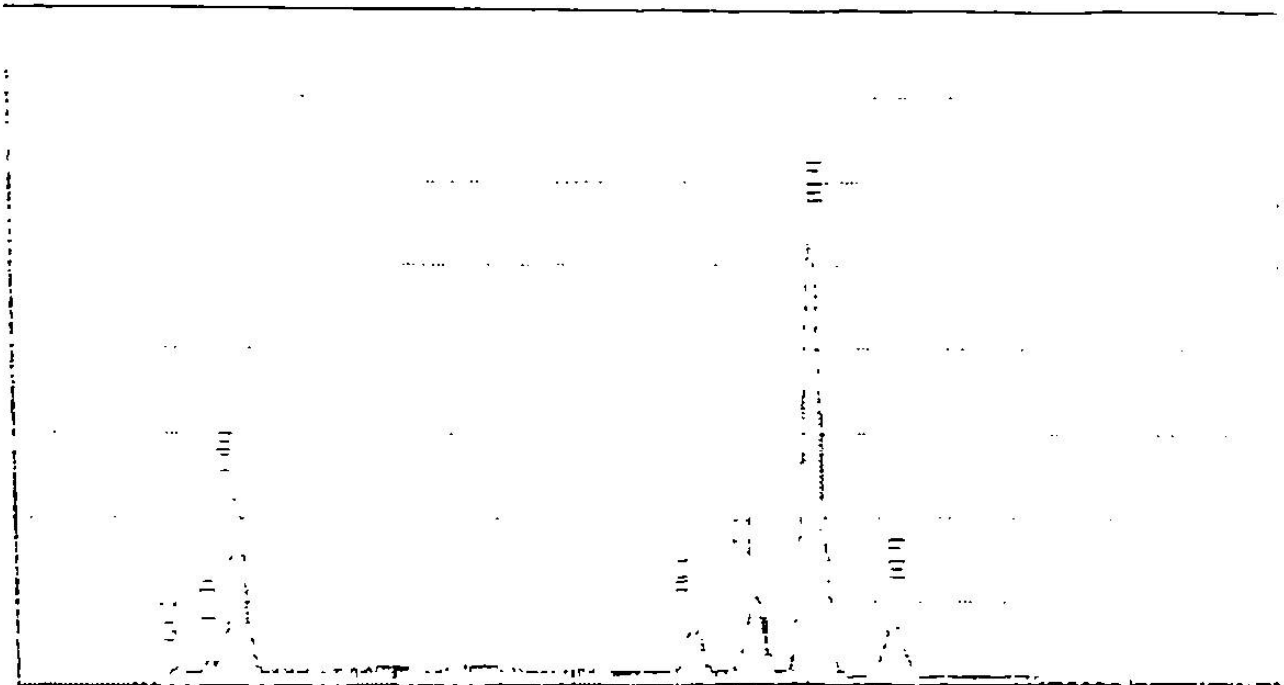
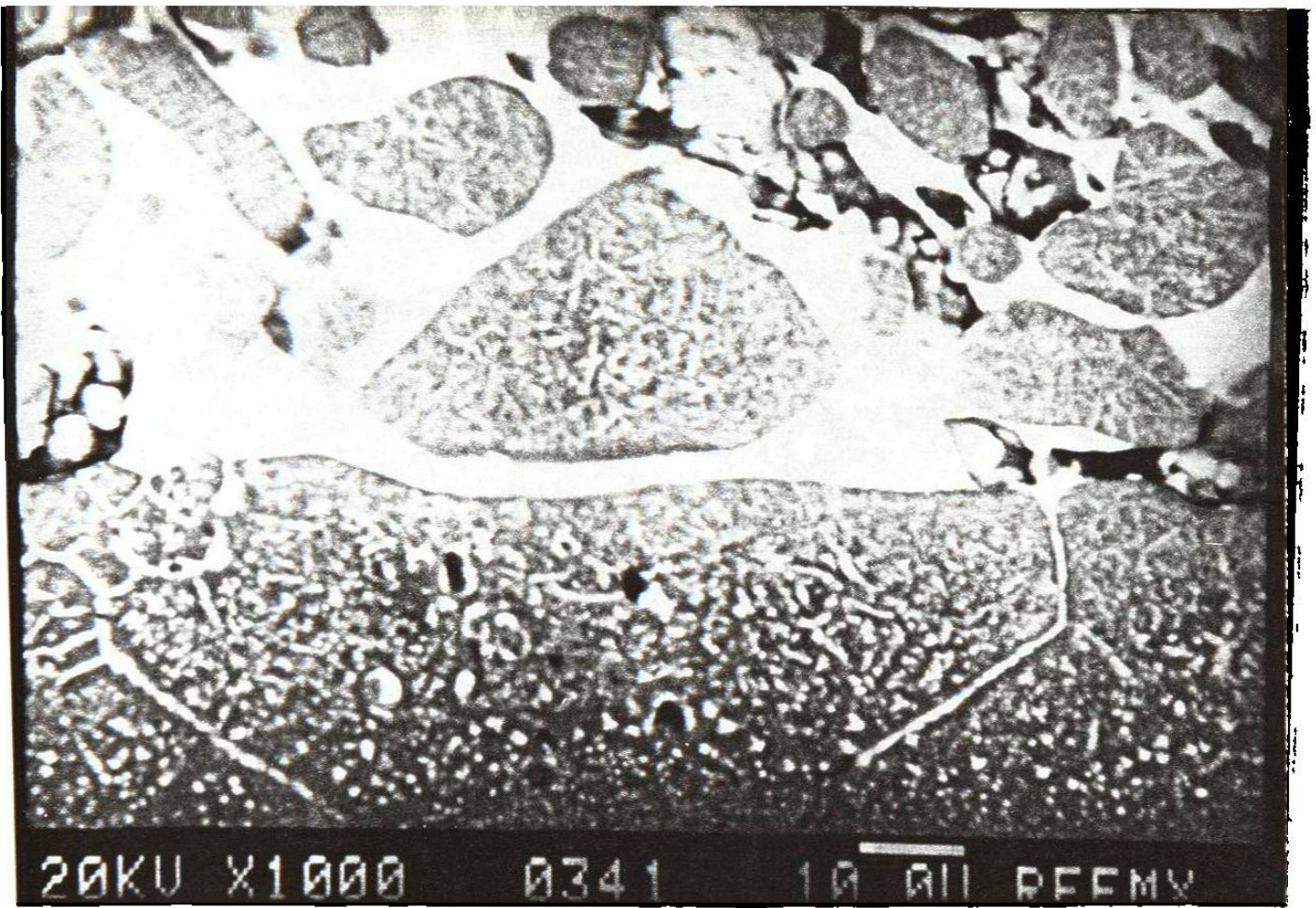
- 1.- Espinel $MgO \cdot Al_2O_3$
- 2.- Aluminatos de calcio
- 3.- Monticelita ($CaO \cdot MgO \cdot SiO_2$)



Fotografía No.10

Fase producto de reacción entre el ladrillo y la zona infiltrada.

La zona oscura pertenece al MgO y la fase clara es la penetración del Fe_2O_3/MnO en el MgO.

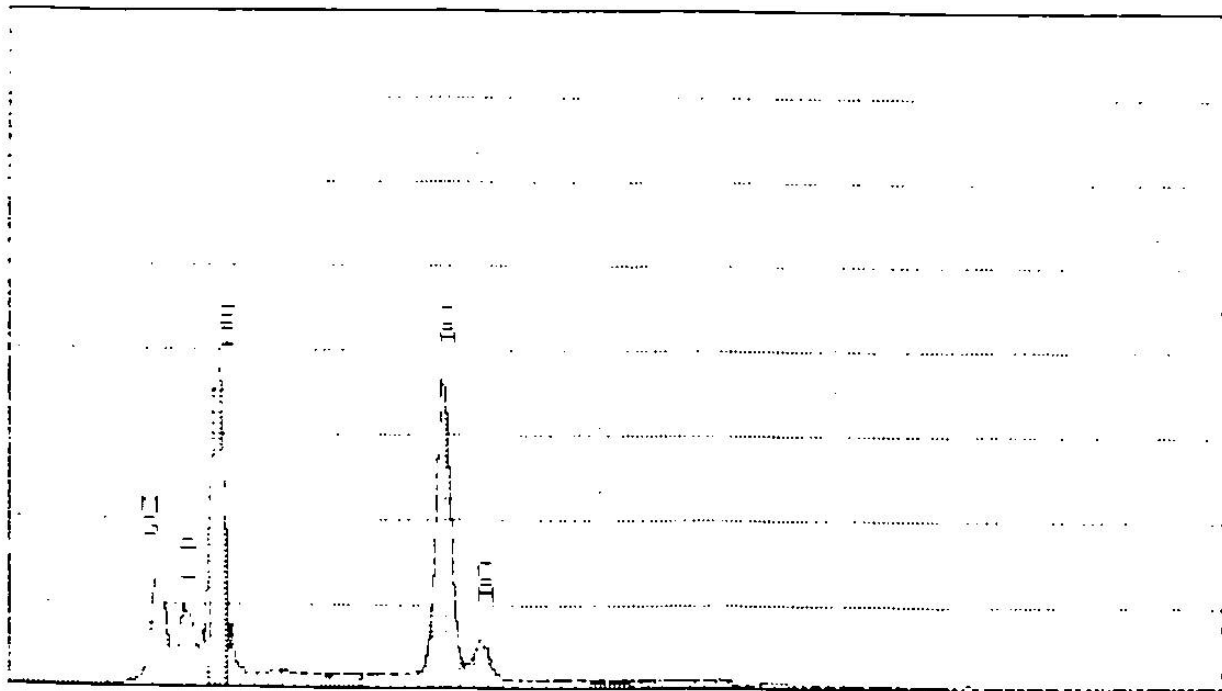
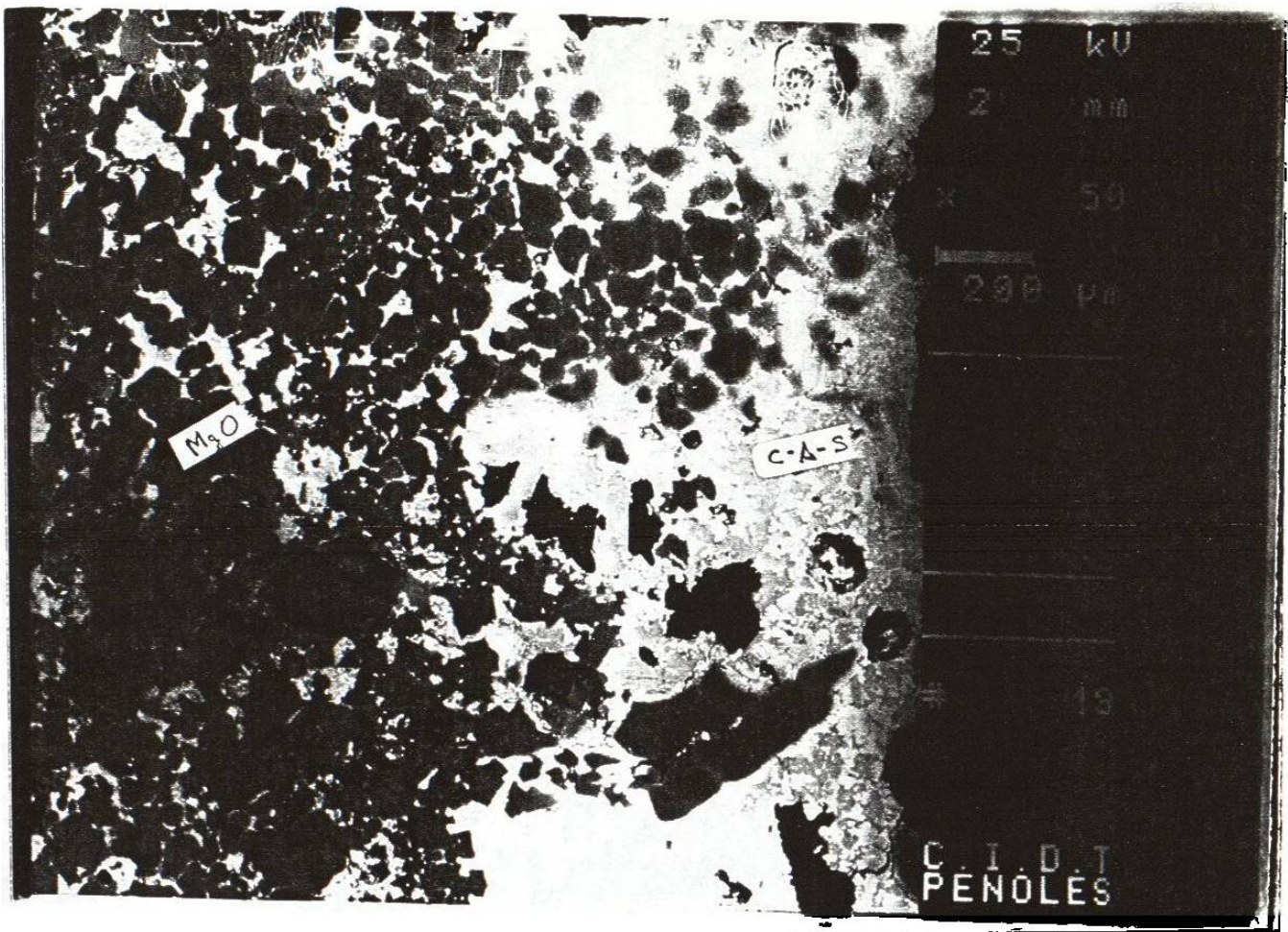


Fotografía No.11

Podemos apreciar la corrosión que sufre el grano de MgO por la infiltración de Fe₂O₃ y MnO en su estructura.

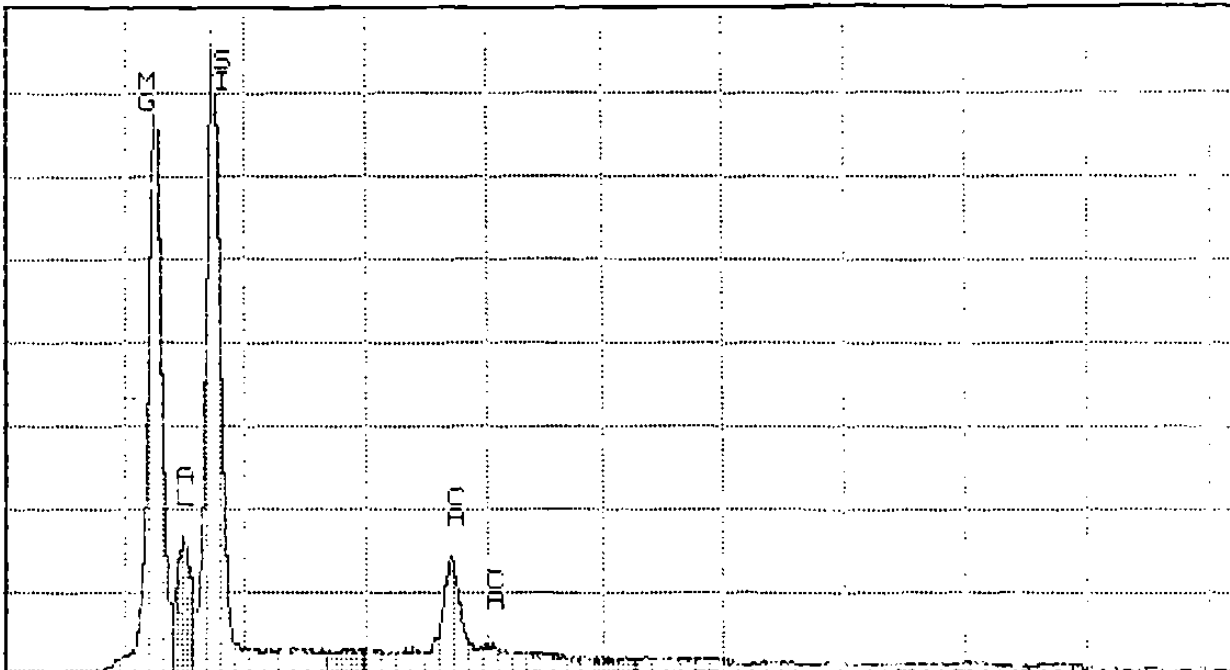
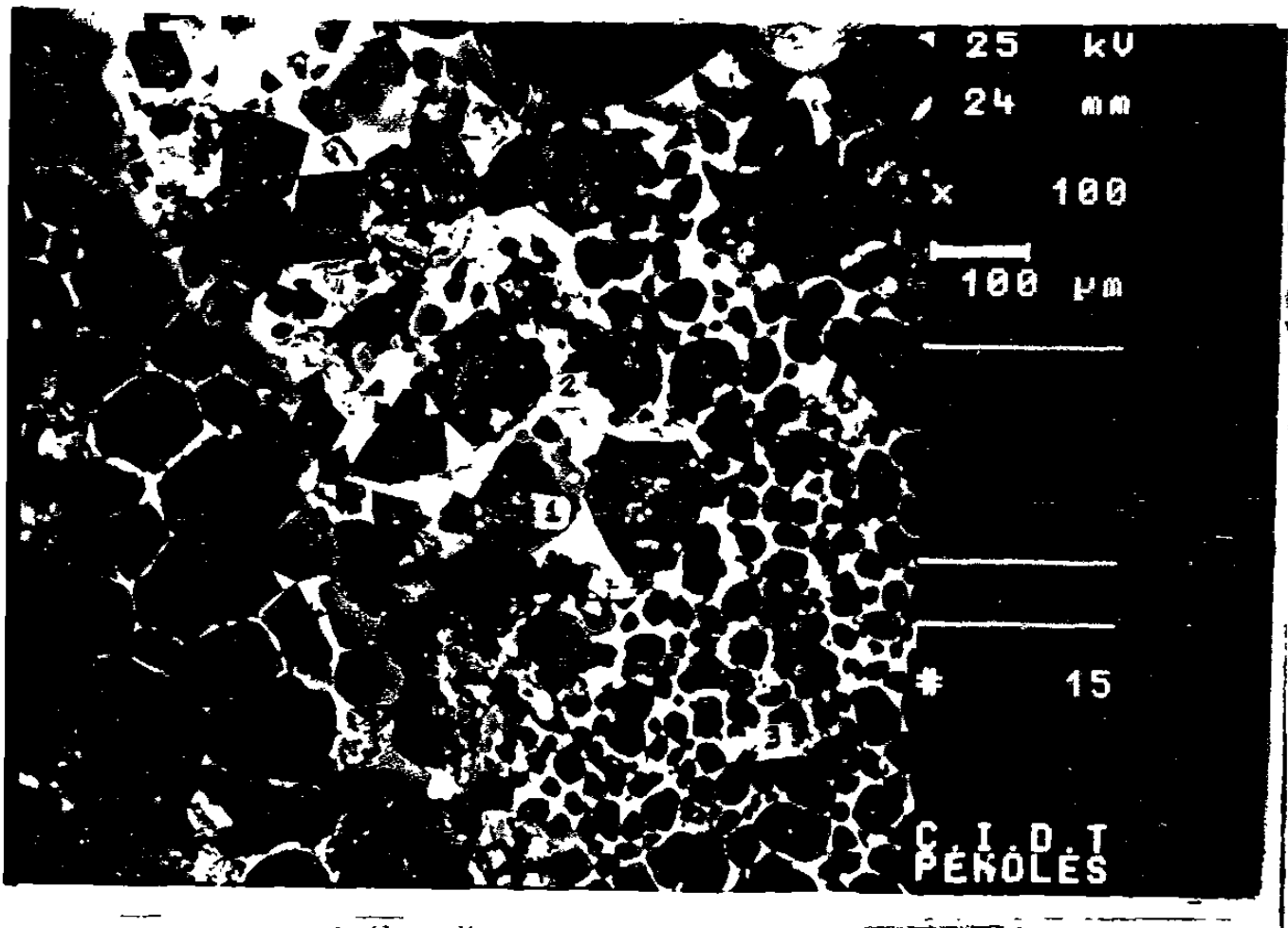
Lo que provoca una pérdida total de liga en la cara caliente haciendo esta zona susceptible a cualquier tipo de esfuerzo mecánico que terminará por desprender esta parte del ladrillo y de ahí el excesivo desgaste que se va presentando en el producto.

La tabla No.24 nos muestra por Difracción de Rayos X los cambios de fase que sufren los materiales despues de la prueba de ataque por escoria, método dinámico a 1650°C.



Fotografía No.8

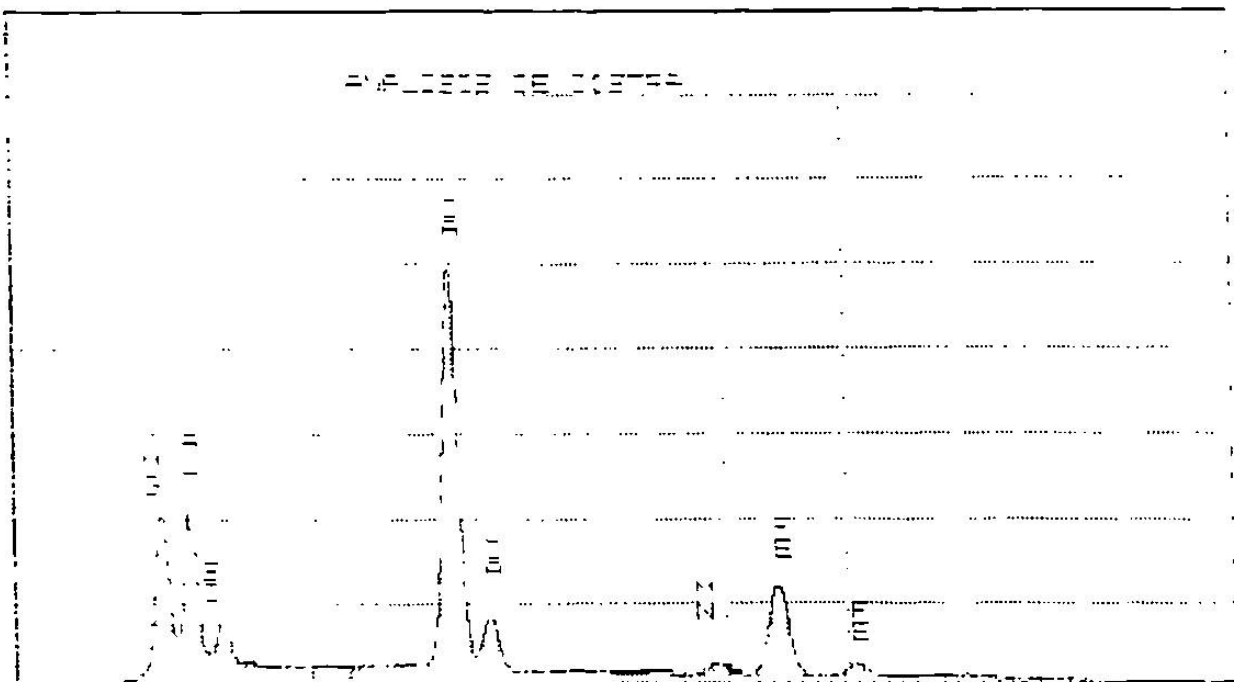
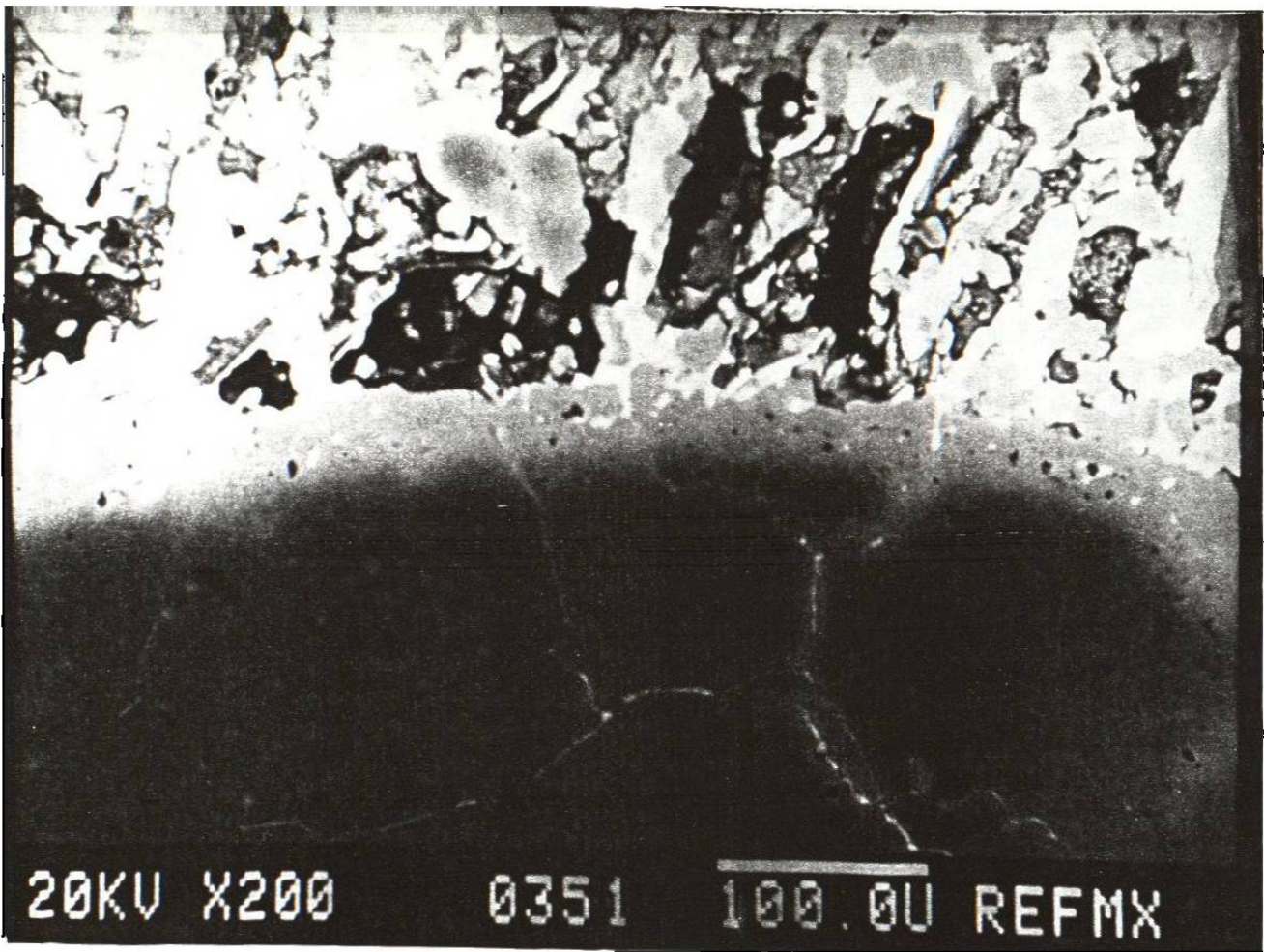
Separación de los cristales de MgO de las partículas de periclasa, producto de la infiltración de escoria rica en SiO_2 - Al_2O_3 - CaO .



Fotografía No.9

Producto de reacción de la escoria con el oxido de magnesio.

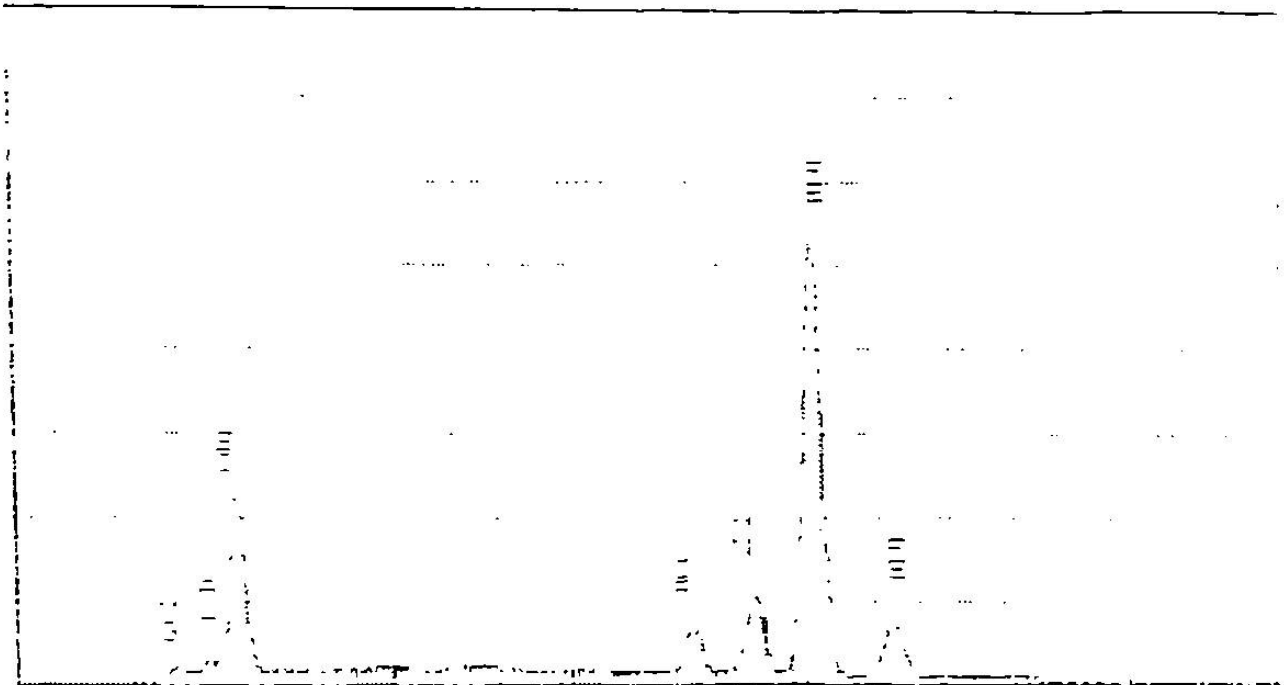
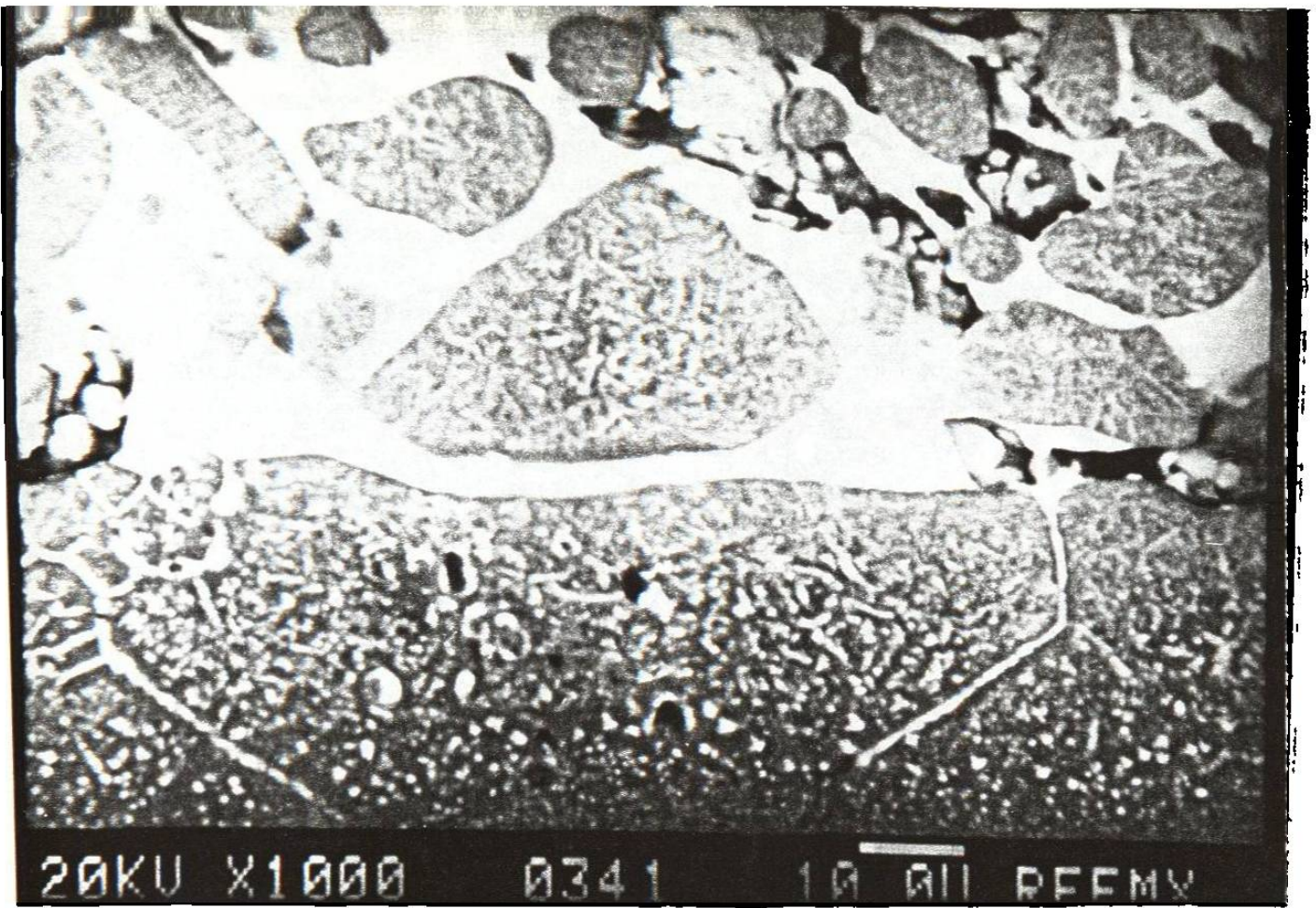
- 1.- Espinel $MgO \cdot Al_2O_3$
- 2.- Aluminatos de calcio
- 3.- Monticelita ($CaO \cdot MgO \cdot SiO_2$)



Fotografía No.10

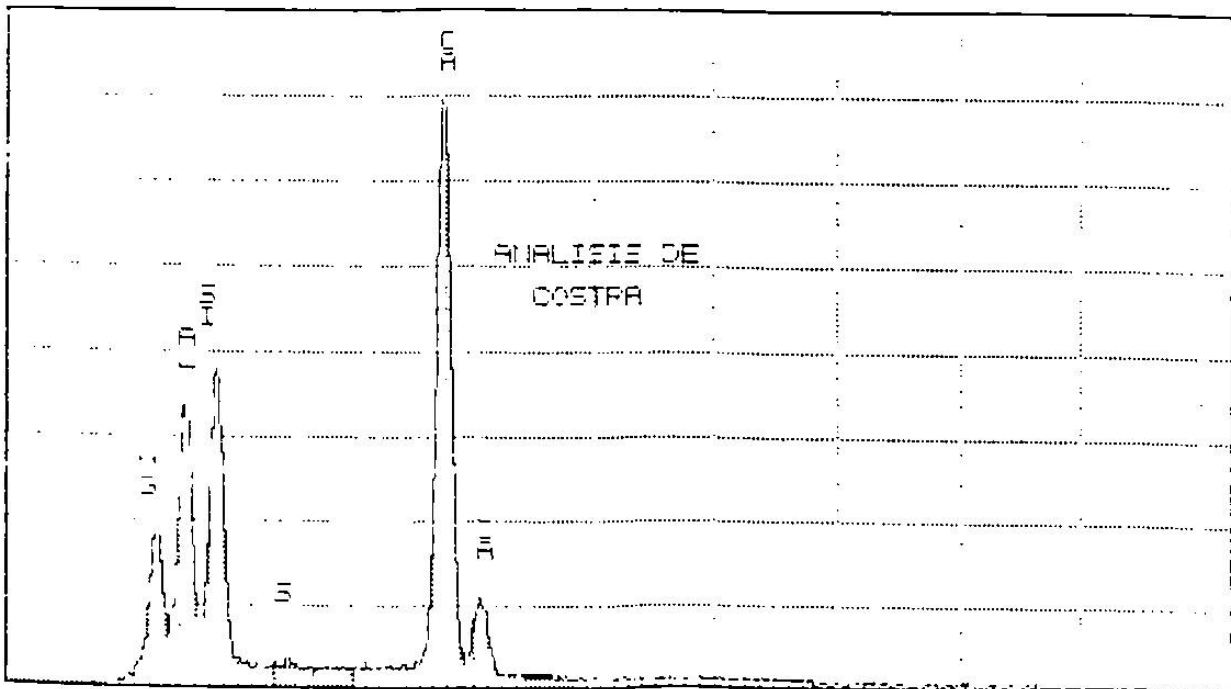
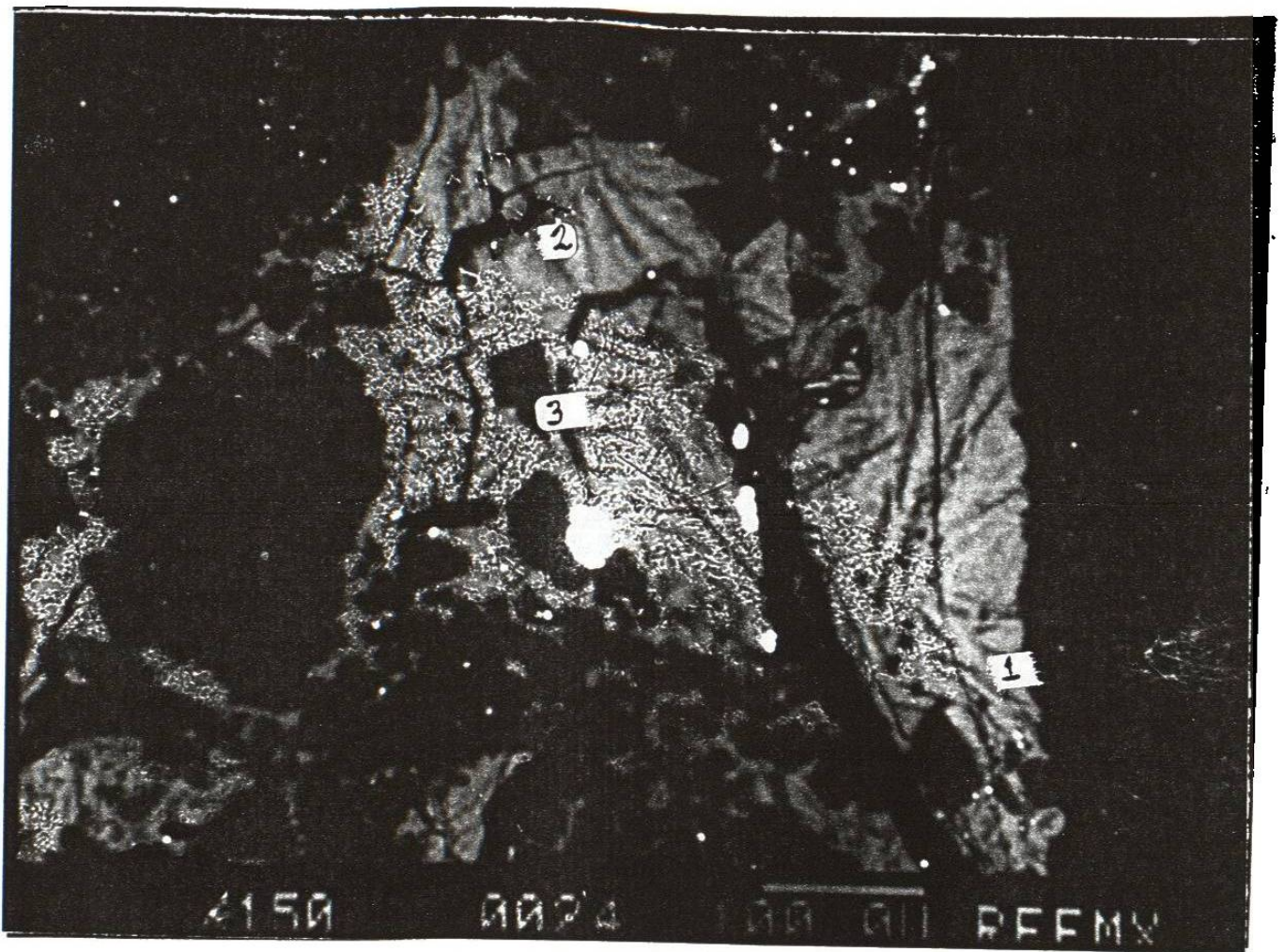
Fase producto de reacción entre el ladrillo y la zona infiltrada.

La zona oscura pertenece al MgO y la fase clara es la penetración del Fe_2O_3/MnO en el MgO.



Fotografía No.11

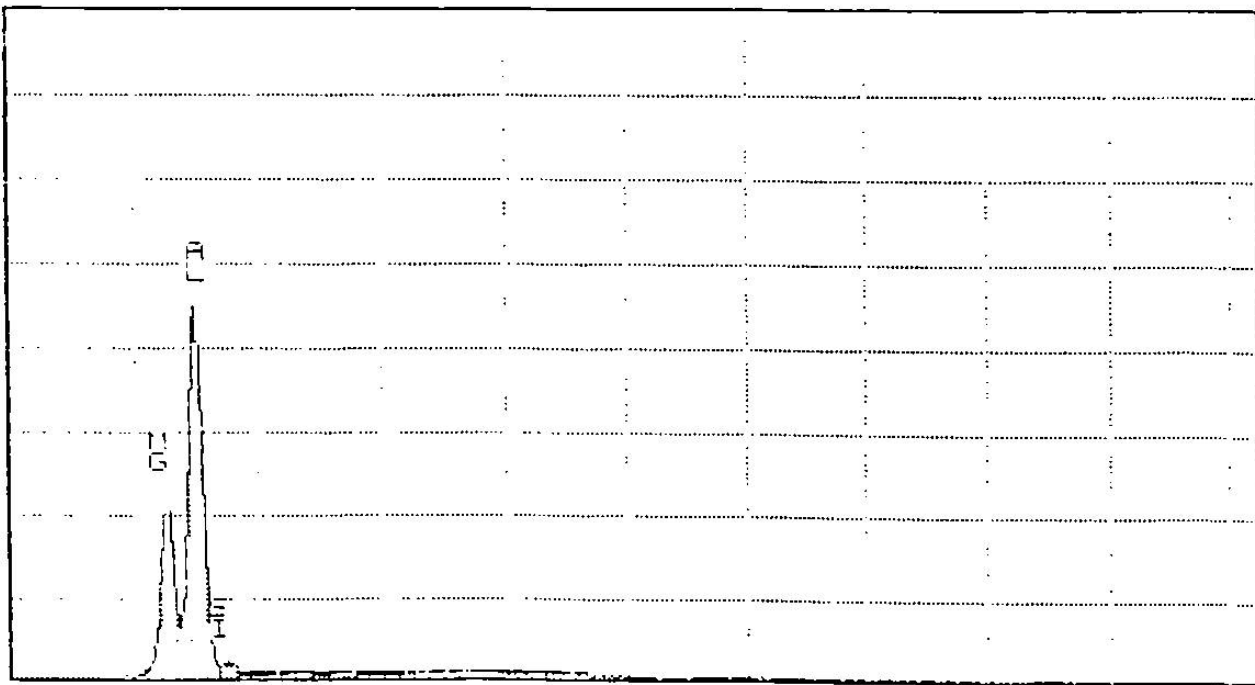
Podemos apreciar la corrosión que sufre el grano de MgO por la infiltración de Fe_2O_3 y MnO en su estructura.



Fotografía No.12

Reacción de la escoria con la cara caliente del material a base de magnesita-carbón.

- 1.- Agujas de forsterita (M,S)
- 2.- Fase clara de compuestos a base del sistema $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$
- 3.- Cristales de MgO



Fotografía No.13

Formación de espineles a base de $MgO \cdot Al_2O_3$, como producto de reacción entre escoria y material refractario. (Cristales angulares)

5.7.- MECANISMO DE DESGASTE PARA MATERIALES A BASE DE MAGNESITA- ESPINEL-CARBON

De acuerdo a la revisión bibliografica realizada no se encontro información a este respecto en materiales de éste tipo

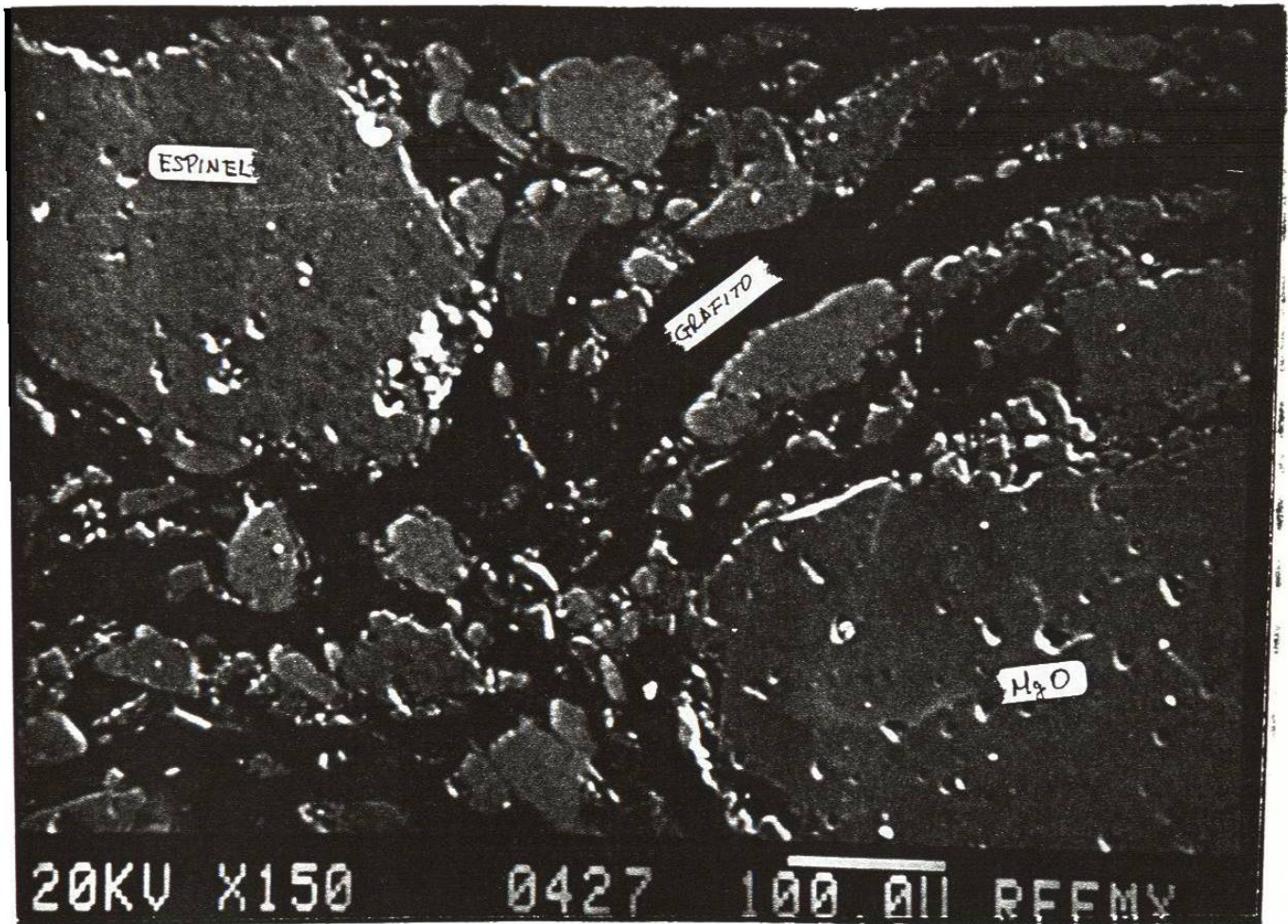
El mecanismo de ataque en estos productos fue observado microscopía electrónica.

Por lo cual la estructura de un ladrillo a base de Magnesita(MgO)-Espinel(MgO.Al₂O₃)-Carbón la podemos observar en la fotografia No.14, así como, en la fotografia No.15 observamos la estructura normal de un producto a base de Espinel (MgO.Al₂O₃)-Carbón.

El Fe₂O₃, MnO y CaO presentes en la escoria atacan los bordes de grano del espinel.

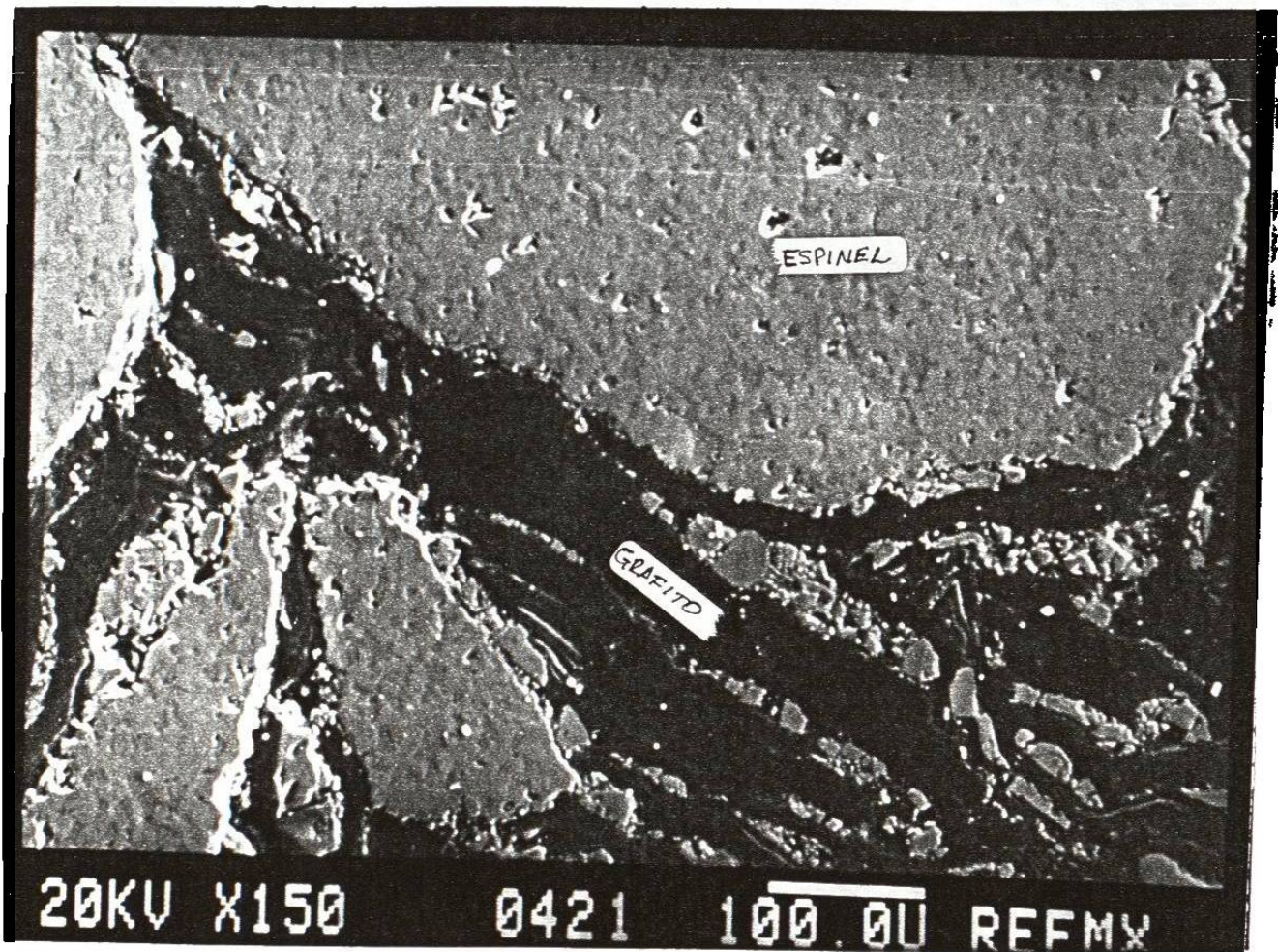
El Fe₂O₃ y MnO se difunden en los cristales de MgO, formando una fase a base de MgO-Fe₂O₃-MnO, dando lugar a que el CaO ataque el Al₂O₃ del espinel, empezando a formar una fase líquida de bajo punto de fusión de 12CaO.7Al₂O₃. (Fotografías Nos. 16, 17 y 18). Siendo esta la razón por lo que se detectan dos composiciones diferentes en el cristal del espinel.(Tabla No.24)

Una vez que ocurre esto, la cara caliente se ve afectada por esfuerzos de tipo mecánico, ocasionando su desgaste por desprendimiento y siendo más fácilmente atacada por la escoria, pasando a formar parte de ésta.



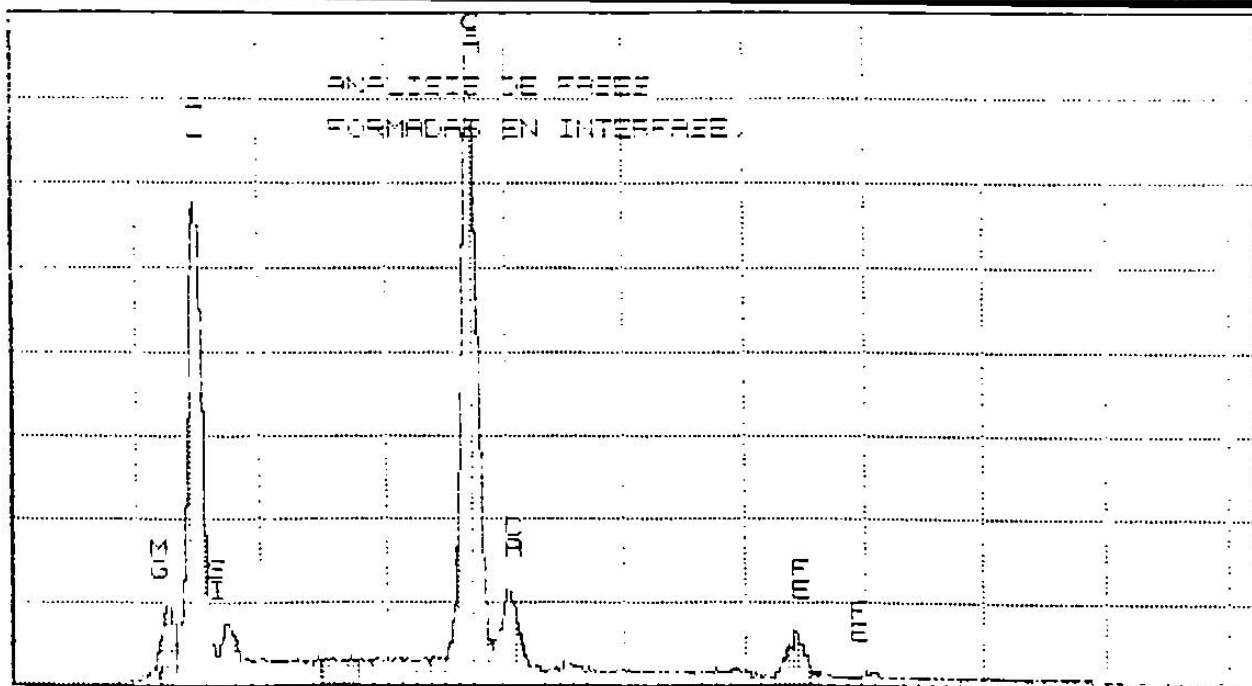
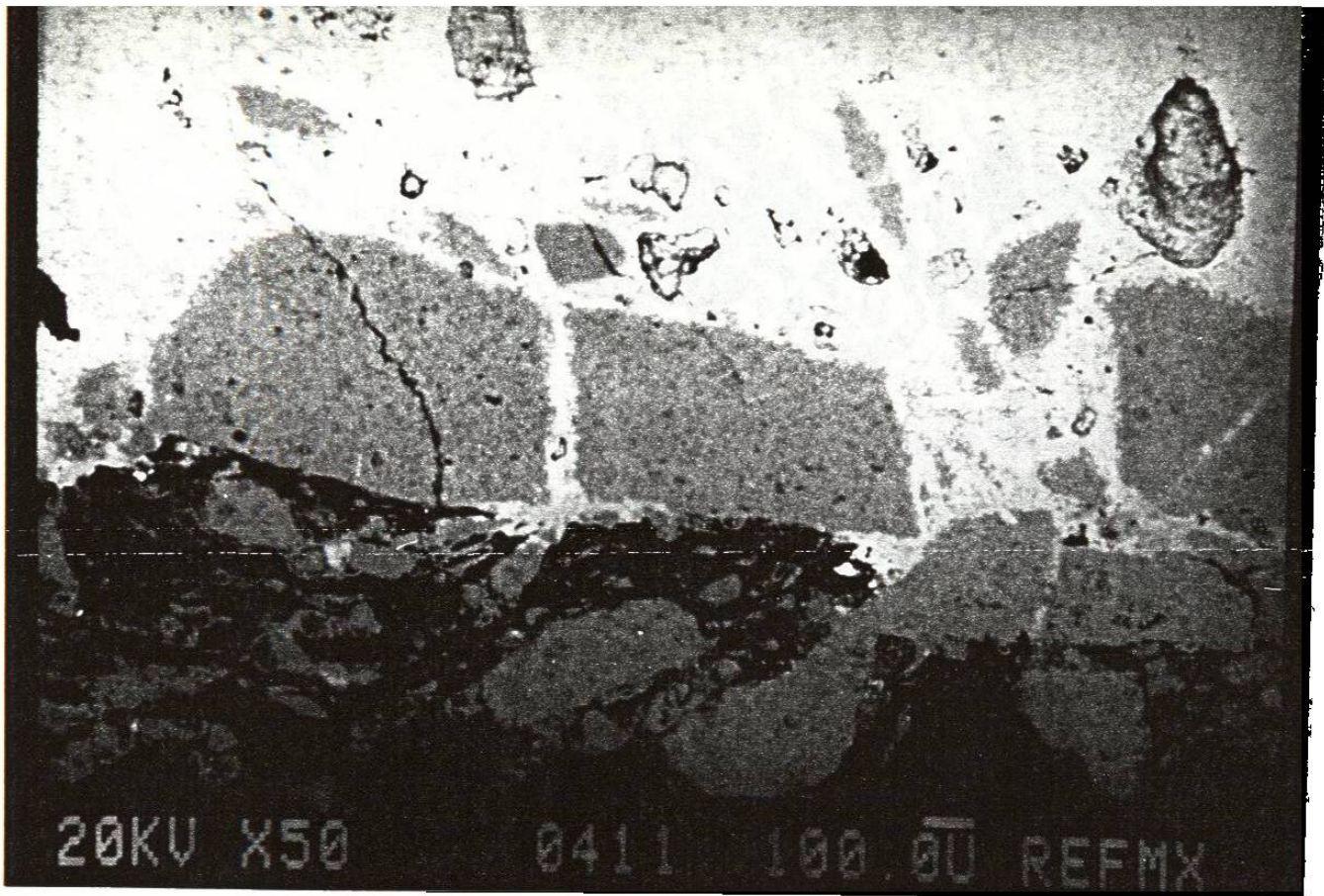
Fotografía No.14

Estructura original del material a base de magnesita (MgO) - espinel ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) - C (grafito)



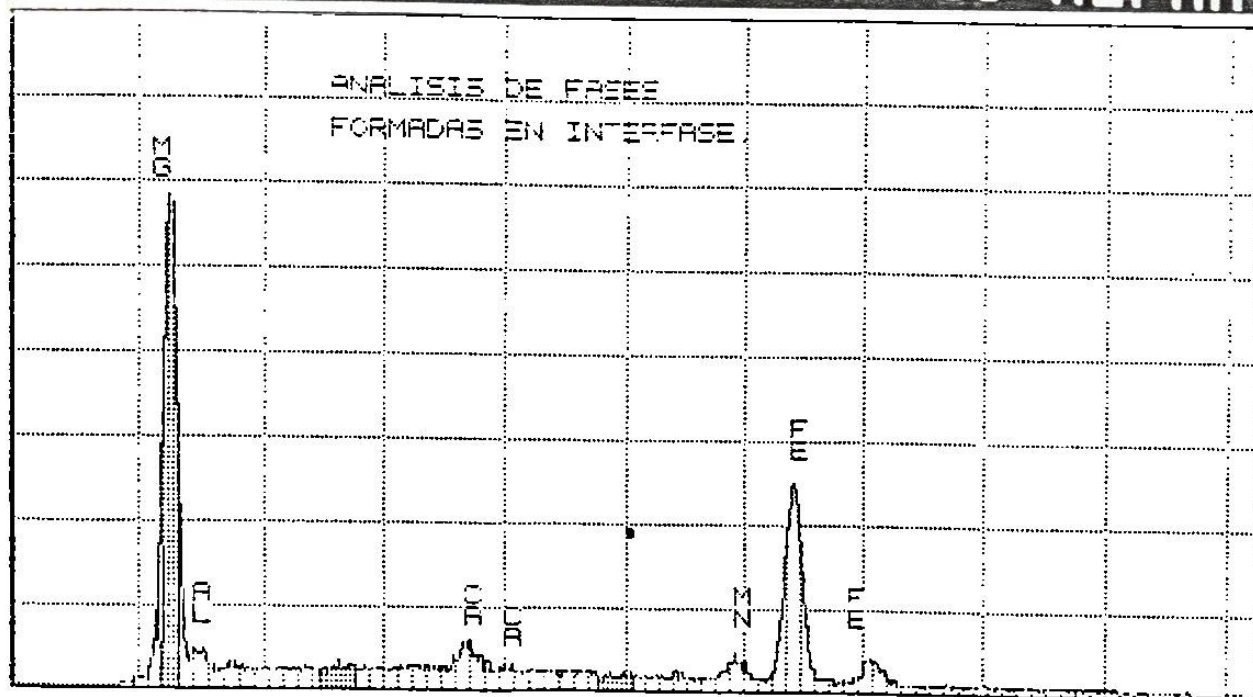
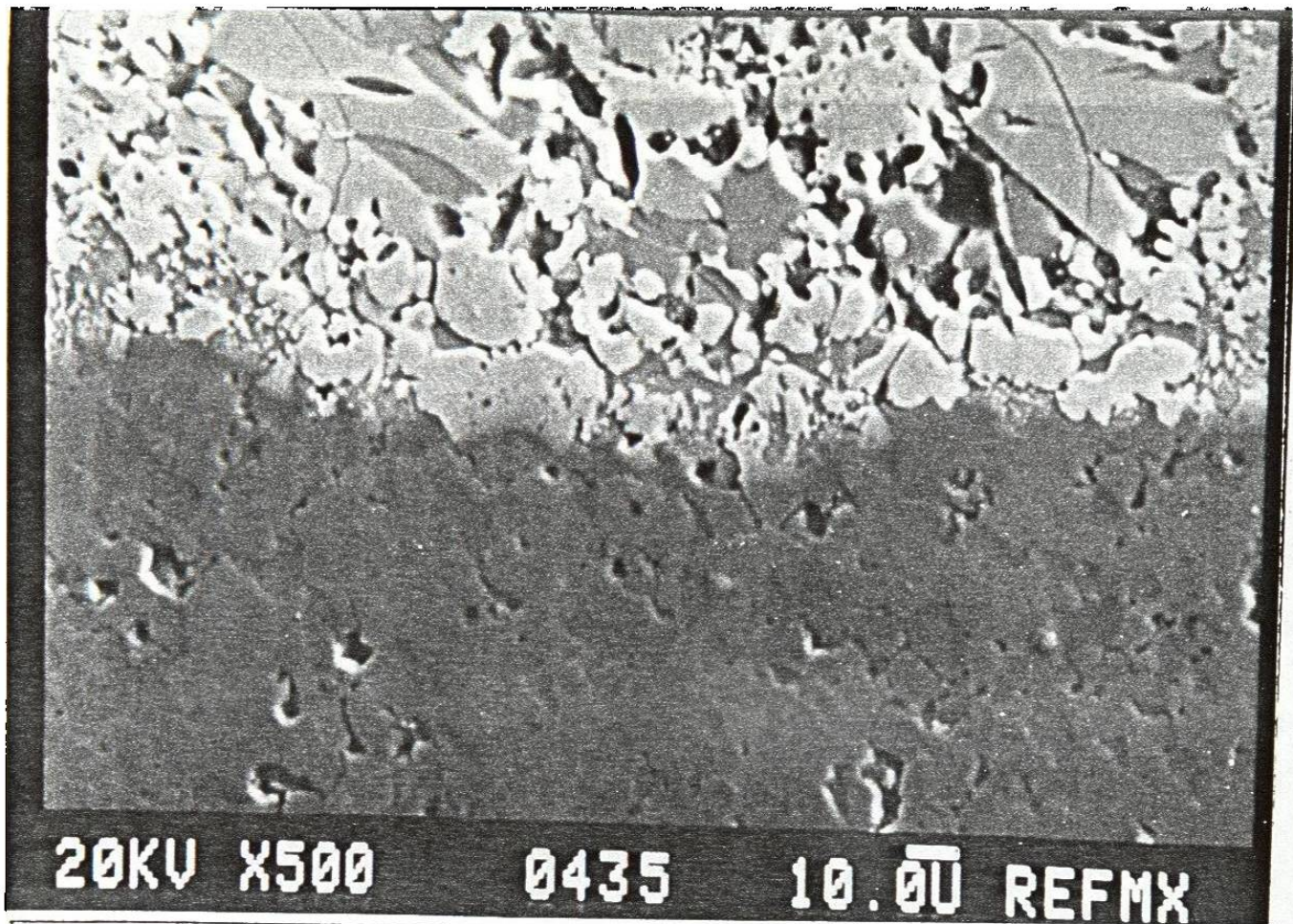
Fotografía No.15

Estructura original del material a base de espinel ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) - C (grafito)



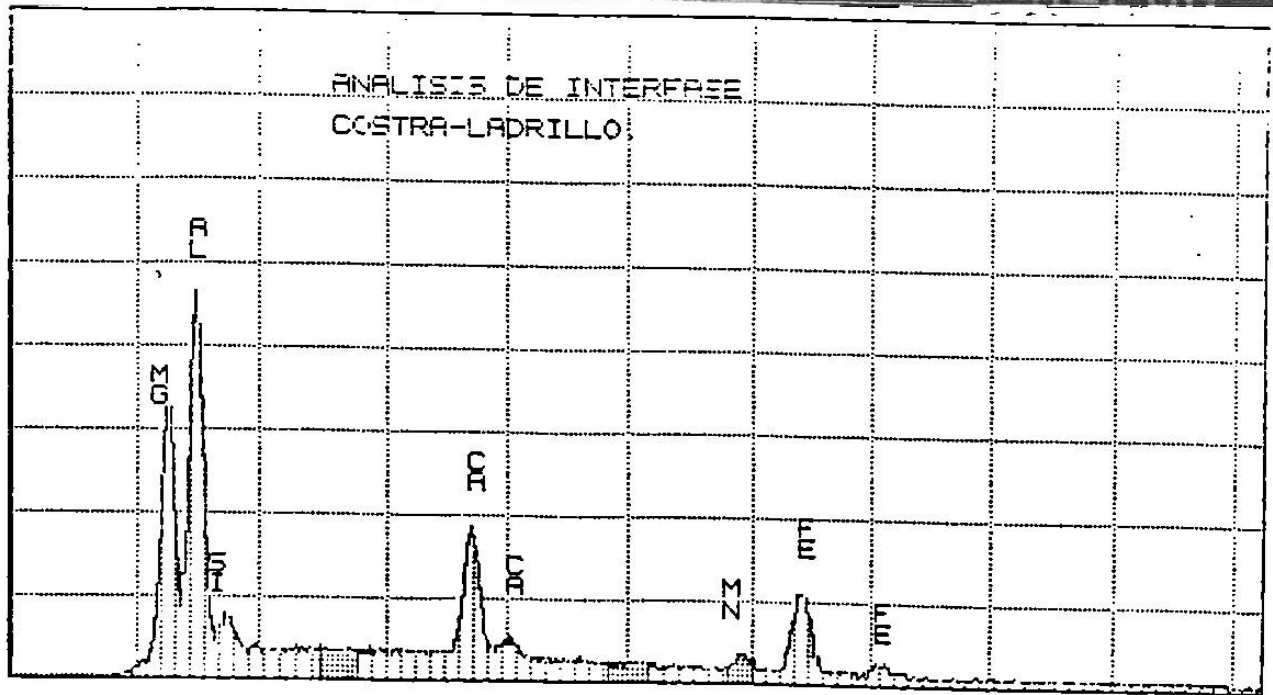
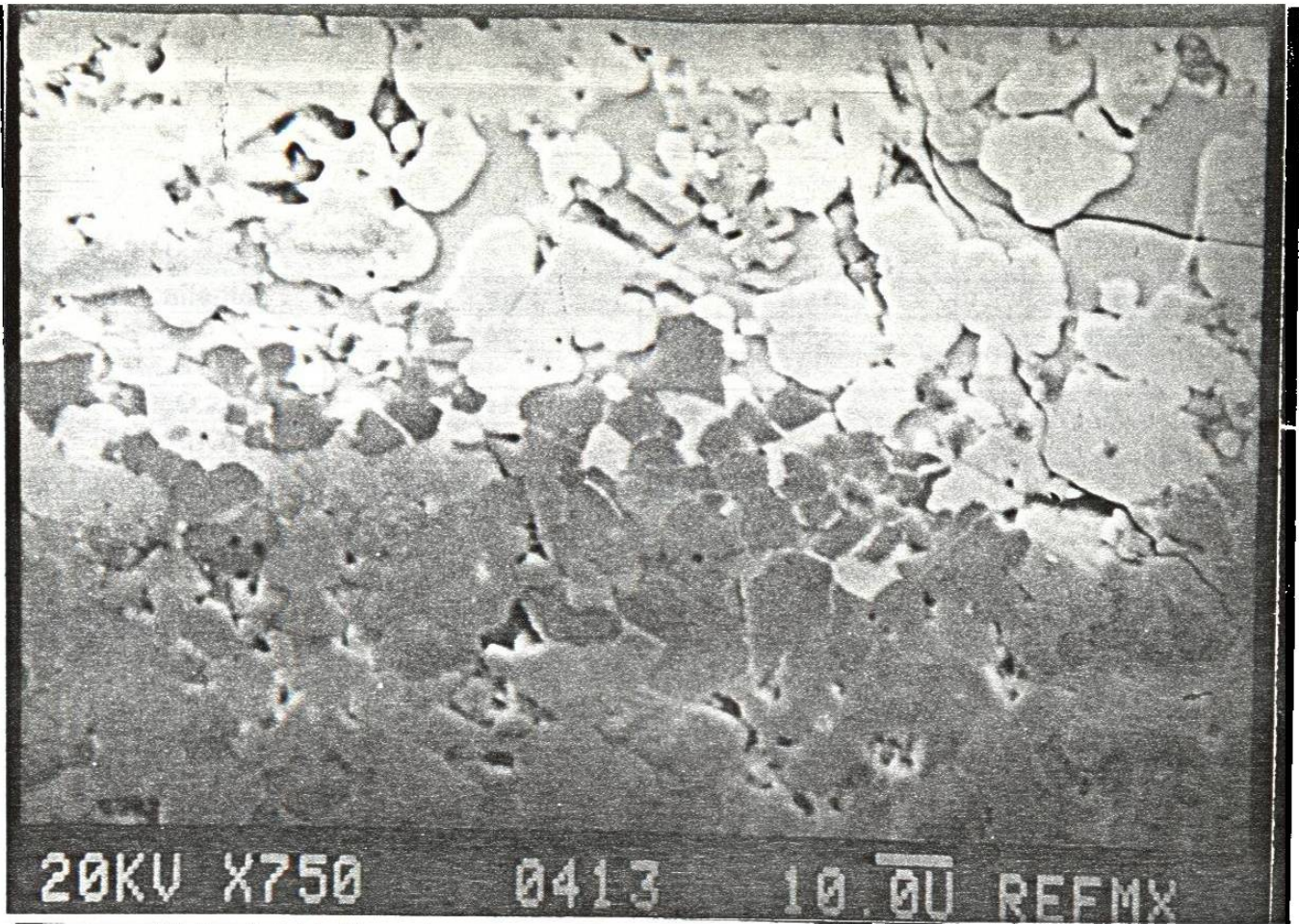
Fotografía No.16

Análisis por Microscopio Electrónico del material a base de espinel-carbón después del ataque por escoria. Observándose un ataque a base de compuestos de Al_2O_3 y CaO (Posible formación de $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$)



Fotografía No.17

Análisis por Microscopio Electrónico del material a base de espinel-carbón después del ataque por escoria. Observándose un ataque por compuestos a base de Fe_2O_3 - MnO .



Fotografía No.18

Análisis por Microscopio Electrónico del material a base de espinel-carbón después del ataque por escoria. Observándose un ataque por compuestos a base de Fe_2O_3 - MnO - SiO_2 - CaO .

Distancia desde:

| Cara caliente | 0 - 2 cms | 2 - 4 cms | 4 - 6 cms |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| MgO | ++++ | ++++ | ++++ |
| M ₂ S | ++ | + | - |
| 3CaO.MgO.2SiO ₂ | ++++ | +++ | + |
| MgO.Al ₂ O ₃ | ++ | - | - |

MATERIALES A BASE DE MAGNESIA - CARBON (20%)

Distancia desde:

| Cara caliente | 0 - 2 cms | 2 - 4 cms | 4 - 6 cms |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| MgO | ++++ | ++++ | ++++ |
| MgO.Al ₂ O ₃ | +++ | ++++ | ++++ |
| 3CaO.MgO.2SiO ₂ | ++ | + | - |
| 12CaO.7Al ₂ O ₃ | + | - | - |

MATERIALES A BASE DE MAGNESIA - ESPINEL- CARBON (20%)

Distancia desde:

| Cara caliente | 0 - 2 cms | 2 - 4 cms | 4 - 6 cms |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| MgO | ++ | + | + |
| MgO.Al ₂ O ₃ | +++ | ++++ | ++++ |
| MnO | ++ | - | N.D. |
| (Fe.Mn) ₂ SiO ₄ | ++ | + | - |

MATERIALES A BASE DE ESPINEL- CARBON (20%)

++++ Fuerte + Medio - Debil N.D. No determinado

Tabla No.24.- Cambios de composición química de la cara caliente hacia la parte intermedia y fría del material en prueba de ataque por escoria, método dinámico a 1650°C.

6.0.- CONCLUSIONES

La resistencia a la hidratación fue superior en los productos a base de $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}$ a medida que se incrementaba la adición de espinel comparativamente a los productos de $\text{MgO} - \text{C}$ durante esta prueba.

El efecto del Al y Al + Si en las propiedades físicas obtenidas nos muestra un incremento en el módulo de ruptura en caliente a 1400°C ., en comparación a los otros aditivos adicionados.

Mejor resistencia al ataque por escoria, comparativamente a los materiales convencionales a base de $\text{MgO} - \text{C}$ siendo, su ataque selectivo, primeramente hacía el MgO y posteriormente al Al_2O_3 que forman el espinel. Ocasionando un desgaste mas lento comparativamente a productos de $\text{MgO} - \text{C}$ solamente, confirmando que la presencia de esta segunda fase sólida es siempre beneficiosa.

La alteración de la cara caliente hacía la cara intermedia y fría del material en la prueba por ataque de escoria, método dinámico, no se pierde, se comporta igual a un material a base de $\text{MgO} - \text{C}$.

Este sistema presentó mejores propiedades termo-mecánicas Espinel-Carbón ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}$) y Magnesita-Espinel-Carbón ($\text{MgO} - \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{C}$) en la prueba de ataque por escoria, método dinámico, ante esfuerzos por choque térmico y ataque químico comparativamente a productos similares a base de $\text{MgO} - \text{C}$.

La formación del carburo de silicio detectado por Difracción de Rayos X en los productos a base de carbón con magnesita y espinel, se considera muy beneficiosa, debido a que contribuye a incrementar sus propiedades mecánicas a altas temperaturas.

El material a base de magnesita- espinel-carbón durante la prueba de ataque por escoria método dinámico no presentó penetración de acero entre los ladrillos de prueba. Esto nos indica una expansión del material igual al ladrillo convencional MgO - C. Por lo que no se requiere mortero o cualquier otro tipo de juntas de expansión ni material de relleno entre la cara fría del material y el revestimiento de seguridad. Esto ahorra dinero y aumentando la capacidad del equipo donde será colocado. (Horno de Arco Eléctrico, Convertidores al oxígeno y ollas)

Por todo lo anterior y ante las características que presentan estos materiales a base de espinel con carbón a las diferentes pruebas a que fueron sometidos tanto de propiedades mecánicas en frío como en caliente y de ataque de escoria e hidratación consideramos que presenta ventajas favorables sobre los productos convencionales a base de MgO-Carbón, como es su mayor resistencia a la hidratación, su buena resistencia mecánica tanto en frío como a 1400°C., así como, su zona carbonizada y sobre todo, la resistencia del ataque por escoria selectivo, considerando que todos estos factores deben incrementar la vida del material refractario en servicio.

Este material es una alternativa viable para ser usado en la industria del acero.

En base a resultados obtenidos en la primera y segunda parte de este trabajo, la composición con 40% MgO - 40% MgO.Al₂O₃ - 20% C con adición de metales antioxidantes, fue la que presentó las mejores características en propiedades y resistencia a esfuerzos mecánicos a alta temperatura. Por ésto se recomienda como primera alternativa a ser probada en Honos de Arco Eléctrico, Convertidores al Oxígeno y especialmente en ollas de metalurgia secundaria.

Como futuras investigaciones se recomienda estudiar el comportamiento de los diferentes tipos de escoria provenientes de los procesos de ollas de refinación secundaria, hornos de arco eléctrico y convertidores al oxígeno en materiales refractarios a base de espineles $MgO \cdot Al_2O_3$ con diferentes relaciones MgO/Al_2O_3 como es mostrado en la tabla No.2.

BIBLIOGRAFIA

- 1) E. Velasco y U. Ortiz. Cambios fisico-químicos de un refractario MgO-C despues de servicio en Horno de Arco Eléctrico. Tesis. Universidad Autónoma de Nuevo León 1992**
- 2) B. Brezny y R.A. Landy. Microstructural and chemical changes of pitch-impregnated magnesite brick under reducing conditios. Trans. J. B. Ceramic Soc. 71(6) 163-170 (1972).**
- 3) T. Ishibashiy T. Matsumura. "Behaviors of flake graphites on magnesia clinkers in magnesia-carbon refractories. Taikabutsu Overseas 3(4), 3-13, june 1983.**
- 4) T. Horio, H. Fukuoka y K. Asano. "Evaluation of applicability of Mg-C brick to convertors and its effect. Taikabutsu Overseas 6(1) 11-15 1986**
- 5) H. Barthel y E. Kaltner. The effect of carbon in carbon-containing magnesia-bricks on the wear in basic oxygen furnaces. 1st. Int. Refractories. Tokyo, Technical Association of Refractories, 1983. Pg.91-104**
- 6) A. Yamaguchi. Control the oxidation-reduction in MgO-C Refractories. Taikabutsu Overseas 4(1) 32-37. 1984**
- 7) A. Watanabe. Effects of metallic elements addition on the properties of magnesia carbon bricks. 1st. Int. Conf. Refractories. Tokyo, Technical Association of Refractories, 1983. Pg. 125-142**
- 8) K. Tabata. A study on oxidation- reduction reaction in MgO refractories. Taikabutsu Overseas 8(4) 3-10. 1988**
- 9) T. Matsumura. Properties of magnesia-carbon bricks containing aluminum or aluminum alloys. Taikabutsu Overseas 8(4), 24-26 (1988)**
- 10) C. R. J. Leonard y R. H. Herrer. Significace of oxidation-reduction reactions within BOF refractories. Journal Amer. Cer. Soc. Vol.55 (1972) 1, pgs. 1-6**
- 11) S.C. Carniglia. Limitations of internal oxidation-reduction reactions in BOF refractories. Bulletin Amer. Cer. Soc. Vol.52 (1973) 2, pgs. 160-165**
- 12) Tadeus Rymon-Lipinsky. Reactions of metal additives in magnesia-carbon bricks in a oxygen converter. 1990**
- 13) A. Yamaguchi. "Behavior of SiC and Al added to carbon-containing refractories". Taikabutsu Overseas. Vol.4 No.3 pgs.14-18. 1984**

14) N. Nameishi, T. Ishihashi y K. Hosokawa. Reaction between magnesia and carbon in magnesia- carbon brick for Steel-Making furnaces. A.C.S. 84th. Annual Meeting. May 2-5, 1982. Pgs. 1-20.

15) A. Yamaguchi. Thermochemical analysis for reaction processes of aluminium-compounds in carbon-containing refractories. Taikabutsu Overseas 7(2) 11-16.1987

16) S. Hanagiri. Effects of the addition of metal and CaB₆ to magnesia carbon bricks for converters. Taikabutsu Overseas. Vol.13 (3) pgs.20-27. 1993

