4

RAYABILIDAD DEL VIDRIO TEMPLADO : DIAGNOSTICO, ANALISIS Y SOLUCION DEL PROBLEMA

RAYABILIDAD DEL VIDRIO TEMPLADO : DIAGNOSTICO, ANALISIS Y SOLUCION DEL PROBLEMA.

4.1 ANTECEDENTES

La totalidad de la producción de vidrio templado de la empresa en la que se desarrolló el presente trabajo se destina al mercado internacional y éste demanda un estándar alto de calidad. En reunión sostenida el día 6 de Febrero de 1989, personal de Ingeniería de Manufactura de la empresa convino nuestra participación para investigar y solucionar el problema de Rayabilidad del Vidrio Templado. La susceptibilidad al rayado superficial que presentaban los cristales restaba calidad al producto peligrando su competitividad en el extranjero.

En la primera etapa del proyecto se realizó trabajo experimental a efecto de determinar las causas que originaban la debilidad superficial de los cristales y el mecanismo bajo el cual se dañaba la superficie. De esta manera se diagnosticó el problema y se estableció el criterio genérico para su solución.

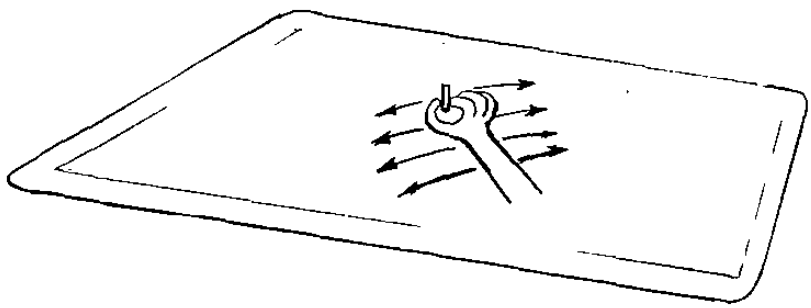
Un resumen secuencial de las actividades realizadas para establecer el diagnóstico del problema y la implementación de las medidas preventivas se presenta a continuación.

4.2 CUANTIFICACION DE LA RAYABILIDAD

El problema de rayabilidad del vidrio templado consistía en la susceptibilidad a rayarse que presentaba la superficie inferior de los cristales producidos. Este fenómeno era cuantificado mediante una prueba de laboratorio (prueba de la rayabilidad) que se utilizaba como control de calidad. Se establecía un límite crítico en el grado de rayabilidad y si este se sobrepasaba durante las pruebas la producción era rechazada. La prueba se efectuaba como sigue :

a) Se humedecía la superficie del vidrio a inspeccionar mediante una solución jabonosa.

b) Mediante una navaja de un filo se barría transversalmente la superficie del cristal 50 veces como se indica en la figura.



c) Observación en cuarto obscuro con luz transmitida.

d) Conteo de rayas.

e) Estadística.

4.3 DIAGNOSTICO

La primera prueba que se realizó sobre los vidrios templados fué un pulido químico de la superficie mediante una solución de HF (10% HF concentrado + 90% H_2O en volumen). Posterior a la prueba de la rayabilidad los cristales pulidos no presentaron rayas de ningún tipo, lo cual mostraba que el problema era totalmente superficial, descartando la posibilidad de una mala distribución en el perfil de los esfuerzos residuales.

Con base en lo anterior, la superficie de los cristales fué inspeccionada en detalle mediante microscopía óptica (MO). En la inspección se observó que en la cara inferior (en contacto con los rodillos de transportación el horno de templado) tenía un buen número de partículas incrustadas, figura 1, mientras que las caras superiores, figura 2, no presentaban esta anomalía. Cabe puntualizar que la susceptibilidad al rayado únicamente se presentaba en la cara inferior de los vidrios templados.

Mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) se determinó la naturaleza, composición elemental y tamaño de las partículas incrustadas en las superficies de los cristales. La figura 3 corresponde a imágenes a bajos aumentos (x 100), observándose partículas de diversos tamaños. Las figuras 4-5 representan foto micrografías de las partículas incrustadas cuyos espectros de composición indicaban que en su mayoría eran de vidrio y de un tamaño menor a 30 μm. Además de partículas de vidrio se encontraron partículas de composición elemental Si-S-Ca, Fe-S-Ca, Si-Ca-Pb, Al-Si, S-Si, como lo señalan los espectros de la figura 6.

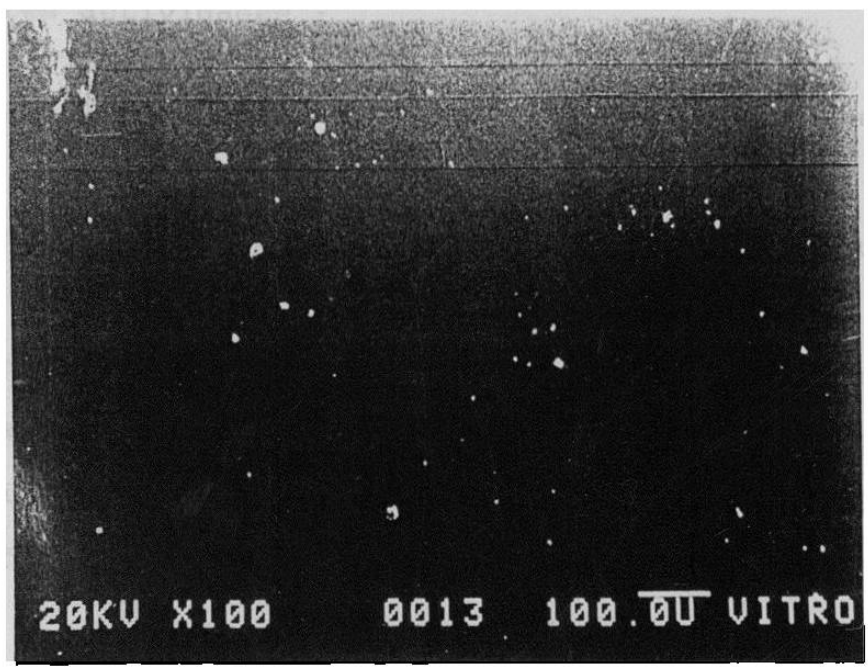


Figura 3. Superficie inferior de los cristales observada en MEB, mostrando partículas incrustadas de diversos tamaños.

A efecto de determinar las fuentes de contaminación, se colectaron partículas de la superficie de :

- Vidrio plano antes de lavar, después de corte y pulido.
- Vidrio plano lavado.
- Vidrio templado.

En todos los casos los análisis de composición de las partículas colectadas, figura 7 , mostraron los mismos elementos constituyentes, principalmente Si, Ca y Fe. Este resultado indicó que la fuente de contaminación de partículas estaba dentro de la planta.

El mecanismo de rayado de los cristales se determinó mediante las siguientes actividades :

a) Inspección en detalle con microscopía óptica y electrónica del filo de la navaja antes y después de la prueba de rayado en vidrio templado, cara inferior (figura 8).

b) Inspección exhaustiva de rayas originadas en la cara inferior del vidrio templado, mediante microscopía óptica y electrónica después de la prueba con navaja (figuras 9-11).

De esta forma quedó claro que :

- El problema de rayabilidad ocurre por causas inherentes a la superficie del vidrio.

- Los vidrios entran al horno con una gran cantidad de partículas en su superficie.

- Las partículas son de muy diversas procedencias, tamaños y composición química.

- La temperatura de los rodillos hace que las partículas en la superficie inferior se incrusten a una cierta profundidad, dañando la superficie.

- El vidrio toma partículas de los rodillos y estos del vidrio, incrementando la incrustación.

- La navaja desprende las partículas, y estas producen el rayado (esto explica la convergencia, divergencia y Z's , mostradas en las figuras 9-11).

- La cara superior no se raya porque las pocas partículas se remueven fácilmente al no estar incrustadas.

- La solución genérica del problema consiste en remover las partículas antes de entrar al horno.

4.4 " HAZE " EN VIDRIOS TEMPLADOS

Se caracterizaron superficialmente vidrios "aleta" y "cougar" mediante microscopía electrónica de barrido. El vidrio "aleta" mostraba " haze " en la parte central. Estos vidrios presentaban interés debido a que fueron templados después de que se habían realizado diversas actividades de limpieza y mantenimiento en planta, (julio-89). El vidrio " cougar " había sido lavado en México mientras que el tipo " aleta " se lavó en esta Planta. Se pensaba que las partículas que se encontrarían en estos vidrios deberían ser de sílica provenientes de los rodillos transportadores.

En la superficie del vidrio " aleta " se encontró gran cantidad de partículas adheridas, (figura 12), cuyo tamaño era menor de 20 μm de diámetro y la densidad por unidad de superficie se estimaba en 6 X 10^5partículas/dm^2 en las zonas donde se presentaba el " haze ".

En la superficie del vidrio " cougar " se encontró menor cantidad de partículas adheridas en comparación con el vidrio "aleta ". El tamaño de las partículas era menor a los 30 μm de diámetro y se estimaba una densidad por unidad de superficie de

3,500 partículas/dm^2. Se encontró que buena cantidad de partículas eran de vidrio, además de encontrarse partículas de sílica, Si-Al-Ca y Fe.

El " haze " se presenta debido a una alta densidad de partículas incrustadas superficialmente. Se encontró que vidrios con " haze " presentan valores máximos de rayabilidad y que ésta decrece conforme el número de partículas incrustadas disminuía. Así un vidrio sin partículas incrustadas no presenta el problema de rayabilidad, como son los casos de las caras superiores de los vidrios templados y los vidrios pulidos químicamente.

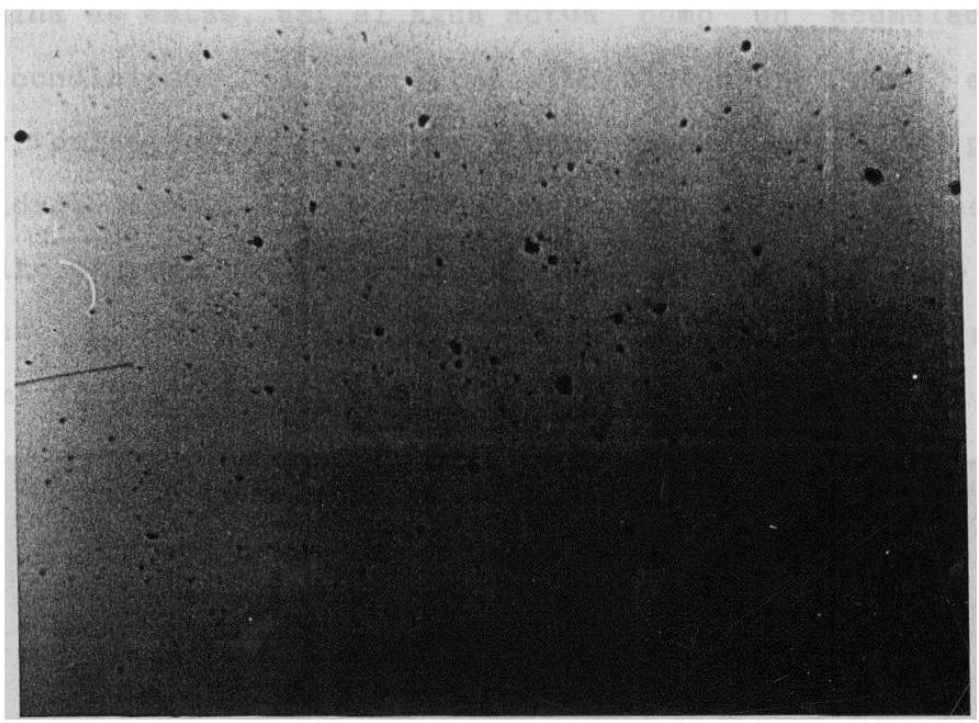
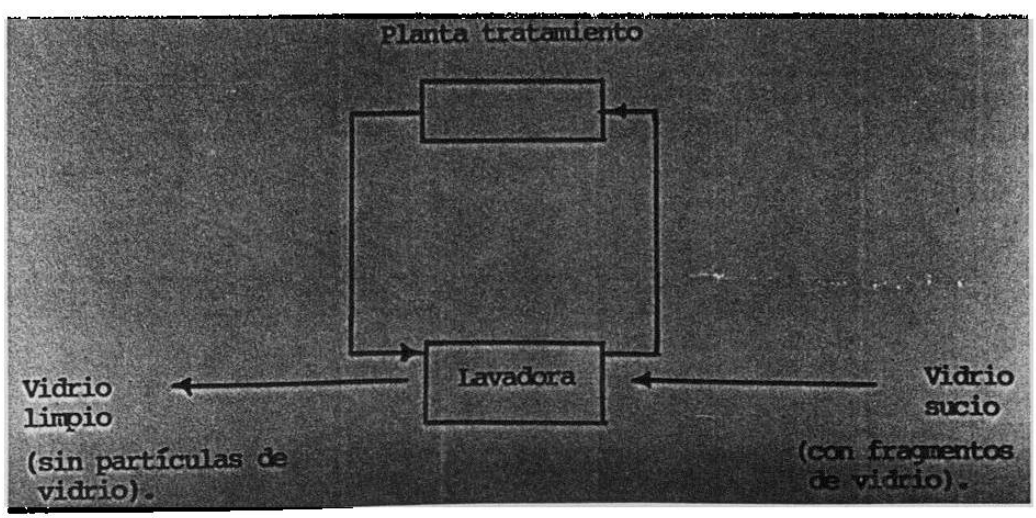


Figura 12. El " haze " que se presentaba en los vidrios de alta rayabilidad consistía en gran cantidad de partículas incrustadas, X 100.

4.5 FUENTES DE CONTAMINACION DE PARTICUALS

En planta la principal fuente de contaminación de partículas de vidrio es sin duda las pulidoras, figura 13. Sólo para tener una idea del orden de magnitud de la cantidad de partículas de vidrio generadas en las pulidoras, si 1 cm^3 de vidrio se divide en partículas esféricas de 10 μm de diámetro, el número de éstas que resulta es de $1x10^9$. Esta fuente de partículas contamina tanto el ambiente, figura 14, como el agua que se suministra a las lavadoras. En éstas, el agua es el medio para eliminar de la superficie del vidrio sucio las partículas de vidrio y por ende se contamina de éstas, así el agua actúa como un acumulador. Bajo estas condiciones, el agua actúa simultáneamente como eliminador de partículas del vidrio sucio y como contaminador de partículas del vidrio limpio. El agua de alimentación a lavadoras conforma un circuito cerrado en el cual no existía un elemento para la eliminación de partículas. Este circuito se representa esquemáticamente como sigue:



A efecto de confirmar la presencia de partículas de vidrio en el agua de alimentación de lavadoras, se retuvieron sólidos suspendidos de una muestra del agua que se alimentaba a la lavadora #1 y se identificaron en la microsonda, figura 15. La siguiente tabla muestra la caracterización de las partículas observadas.

COMPOSICION	VIDRIO-Fe	Ca	Fe-Si	Si-Al-Fe	Si-Ca
TAMAÑO DE PARTICULA (μm)	60	40	20	20	20
	100	30	30		
	70	20			
	30				
	40				
	35				
	25				
	50				
	30				
	40				
	100				
TOTAL DE PARTICULAS	11	3	2	1	1

Cualitativamente se constató la presencia de fragmentos de vidrio, éstos en su mayor parte aparecieron como aglomerados y mezclados con hidróxido de fierro. Posteriormente se cuantificó la cantidad de sólidos suspendidos utilizando muestras de agua de alimentación de la lavadora #2, tomadas diariamente durante 5 días (4-8 Sept. 1989).

Las partículas retenidas también fueron caracterizadas en el microscopio electrónico, confirmando nuevamente la presencia de partículas de vidrio. Con base en la determinación cuantitativa de sólidos retenidos y considerando aglomerados de ~ 50 μm de diámetro se estimó una densidad volumétrica de 11.5 $x10^3$ aglomerados por litro de agua que se suministra a las lavadoras.

Para evitar dicha contaminación , la empresa decidió (septiembre 1989) implementar un sistema de filtración de agua que operaría como paso posterior al tratamiento de aguas, suministrando así, agua tratada y libre de sólidos suspendidos (partículas de vidrio) a las lavadoras.

Al inicio de operación de este sistema, se utilizó un filtro de poro nominal de 10 μm que funcionaba de la siguiente manera: Al principio dejaba pasar gran cantidad de partículas, estimado hasta 100 μm . A medida que transcurría el tiempo las partículas o aglomerados de mayor tamaño > 100 μm bloqueaban los poros aumentando la eficiencia de filtración, hasta llegar a un estado en el que prácticamente llegaba a taparse. Como se observó anteriormente las partículas que se encontraron en vidrios templados que presentaban el fenómeno " haze " tenían un tamaño menor a 30 μm, por lo que se recomendaba utilizar un filtro de poro de menor tamaño.

Personal de la empresa seleccionó un filtro de tamaño de poro nominal de 2 μm consistente en un aglomerado de fibras de plástico con múltiples puntos de sujeción obtenidas por fusión. El sistema así, presentaba alta resistencia mecánica, garantizando estabilidad del tamaño de poro durante la operación, y la superficie acolchonada obtenida en su cara superior brindaba mayor área de filtración. Muestras de este filtro despúes de haber operado en planta fueron observadas y caracterizadas por SEM, figura 16, encontrándose completamente cubiertos de aglomerados de Vidrio-Fe.

Las estadísticas de la prueba de rayabilidad de vidrios templados mostraron que la utilización del sistema de filtración fué una solución importante para disminuir el problema de rayabilidad.

4.6 EFECTO DEL SO_2 EN LA RAYABILIDAD

En la figura 17 se observa el patrón de depósitos en la superficie de los rodillos del horno de templado, encontrados después de 6 meses de operación (Dic. 1989). Estos compuestos fueron analizados, figura 18 , resultando estar constituídos por S, Si, Na, Ca y cantidades menores de Cr y Fe.

Se observó que estos compuestos producen deterioro superficial de los rodillos. En alta temperatura 650 °C estos compuestos se encuentran en estado plástico y se " anclan " a los rodillos, durante el enfriamiento (rodillo fuera de operación) y debido a diferencias en coeficientes de expansión se produce descascaramiento superficial.

El patrón de compuestos de alto contenido de S en los rodillos está completamente ligado a las líneas de suministro de SO_2 en el interior de los hornos de templado. Existen actualmente diferencias en este aspecto entre los hornos 1 y 2.

Anteriormente en cada paro de mantenimiento, el método de limpieza utilizado en los rodillos consistía en un pulido mecánico con lija grado 300. Esto producía que la superficie de los rodillos fuera más susceptible a liberar partículas de sílica

además de que se debía realizar un estricto lavado superficial para retirar las partículas desprendidas durante el pulido.

Para lograr un mejor acabado y menor daño superficial de los rodillos y en base a que la mayor parte de los compuestos formados en su superficie eran solubles en agua se recomendó enjuagar sólamente con el sistema agua desmineralizada/vapor a presión retirando el pulido mecánico. La figura 19 muestra pruebas de limpieza de rodillos realizados con el método anterior.

Observaciones de planta mostraron que los depósitos formados sobre los rodillos por la inyección de SO_2 al horno, juegan entre otros factores, papeles importantes de inhibición de la susceptibilidad al rayado de los vidrios. Siempre en los arranques, después de paros de mantenimiento, en los que los rodillos fueron sometidos a rectificados con lija y los depósitos fueron eliminados en su totalidad, el índice de rayabilidad se presentó muy alto. También se evidenció que conforme transcurría el tiempo, el grado de rayabilidad era muy bajo, los rodillos presentaron una formación importante de depósitos, en contraste cuando la rayabilidad fué alta o considerable, los rodillos presentaron una incipiente formación de depósitos. El mecanismo de inhibición de rayabilidad de estos compuestos, su cinética de formación y crecimiento, y sus efectos nocivos sobre los rodillos

no han sido hasta el momento investigados en profundidad para su total comprensión. Un conocimiento completo permitiría una formación natural o artificial rápida de los depósitos, una eficiente inhibición de la rayabilidad y un nulo ataque a los rodillos.

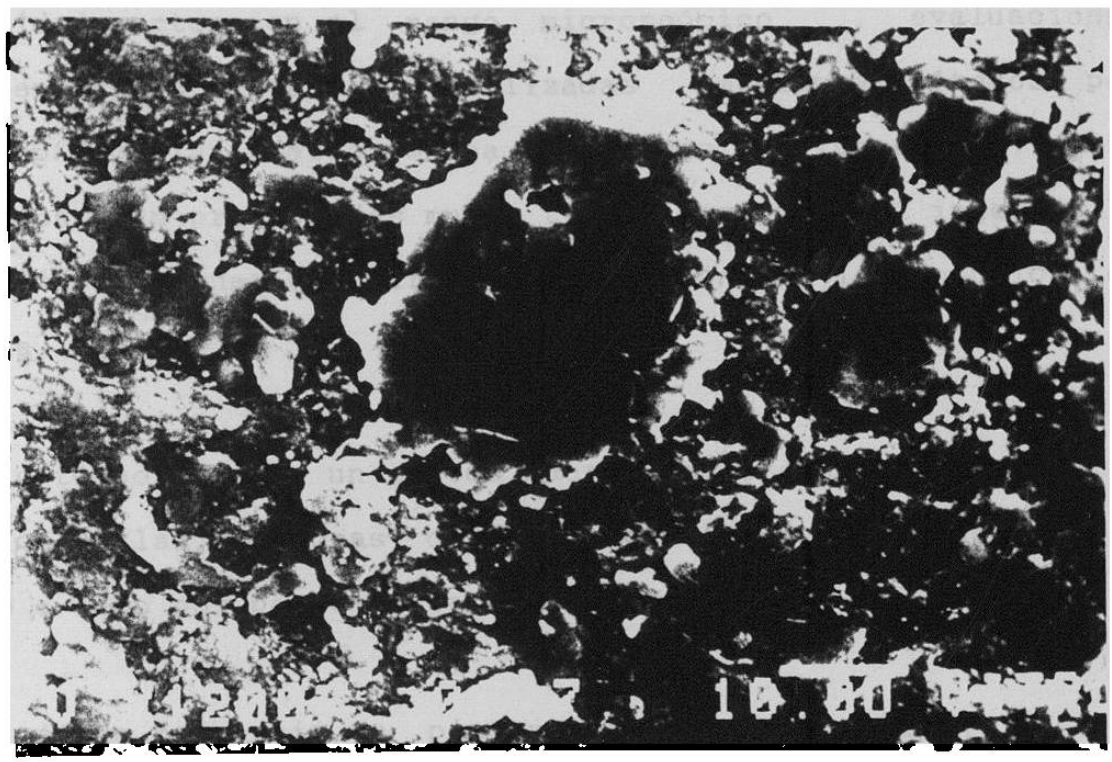


Figura 20. Partículas de Si-S-Ca de 27 μm adherida a la superficie del rodillo de sílica.

4.7 AUDITORIA A LAVADORAS

Como se mencionó anteriormente las pulidoras son la principal fuente de contaminación de partículas de vidrio y éstas deben de removerse en el sistema de lavadoras además de la suciedad normal de los cristales.

Debido a que las partículas causantes del problema de rayabilidad pertenecen al rango microscópico , evaluaciones (eficiencias de lavado) realizadas mediante métodos por microscopía óptica y electrónica eran demasiado laboriosos y los resultados eran presentados mucho tiempo después de iniciada la evaluación sin tener una firme contribución a la solución del problema.

Se optó por buscar un método macroscópico capaz de evaluar la operación de las lavadoras, de fácil aplicación y que pudiera ser llevado a cabo por personal de planta.

El método consistió en pintar mediante un crayón de cera diversas regiones de las caras de los vidrios planos para evaluar la capacidad de remoción de cada una de las lavadoras. Pruebas en laboratorio indicaron que los residuos del crayón eran fácilmente removibles cuando se utilizaba acción mecánica (cepillos), agua caliente y jabón en forma conjunta.

En enero de 1990 se realizó una auditoría de la eficiencia de las 5 lavadoras de vidrio de la planta, utilizando el método mencionado. Se encontró en algunos casos que los vidrios salían de las lavadoras con el mismo grado de suciedad con el que entraban, con excepción de una lavadora que casi removía la mayor parte de los residuos del crayón. El resultado general de la prueba indicó deficiencia operacional del sistema de lavado.

En base a esta prueba, la Gerencia de Control de calidad diseñó un procedimiento para evaluar la operación de los sistemas de lavado, los resultados de las evaluaciones permiten actualmente tomar decisiones sobre el ajuste de las lavadoras para garantizar una limpieza eficiente de los cristales.

La acción conjunta en lavadoras de agua libre de partículas y una remoción eficiente de las partículas de los cristales repercutió en una disminución espectacular y controlada del índice de rayabilidad en los cristales como se muestra en la figura siguiente, en la cual se indican los niveles de rayabilidad de la pieza " Cuarto trasero Bronco " para varias corridas realizadas antes y después de la implementación de las medidas preventivas.

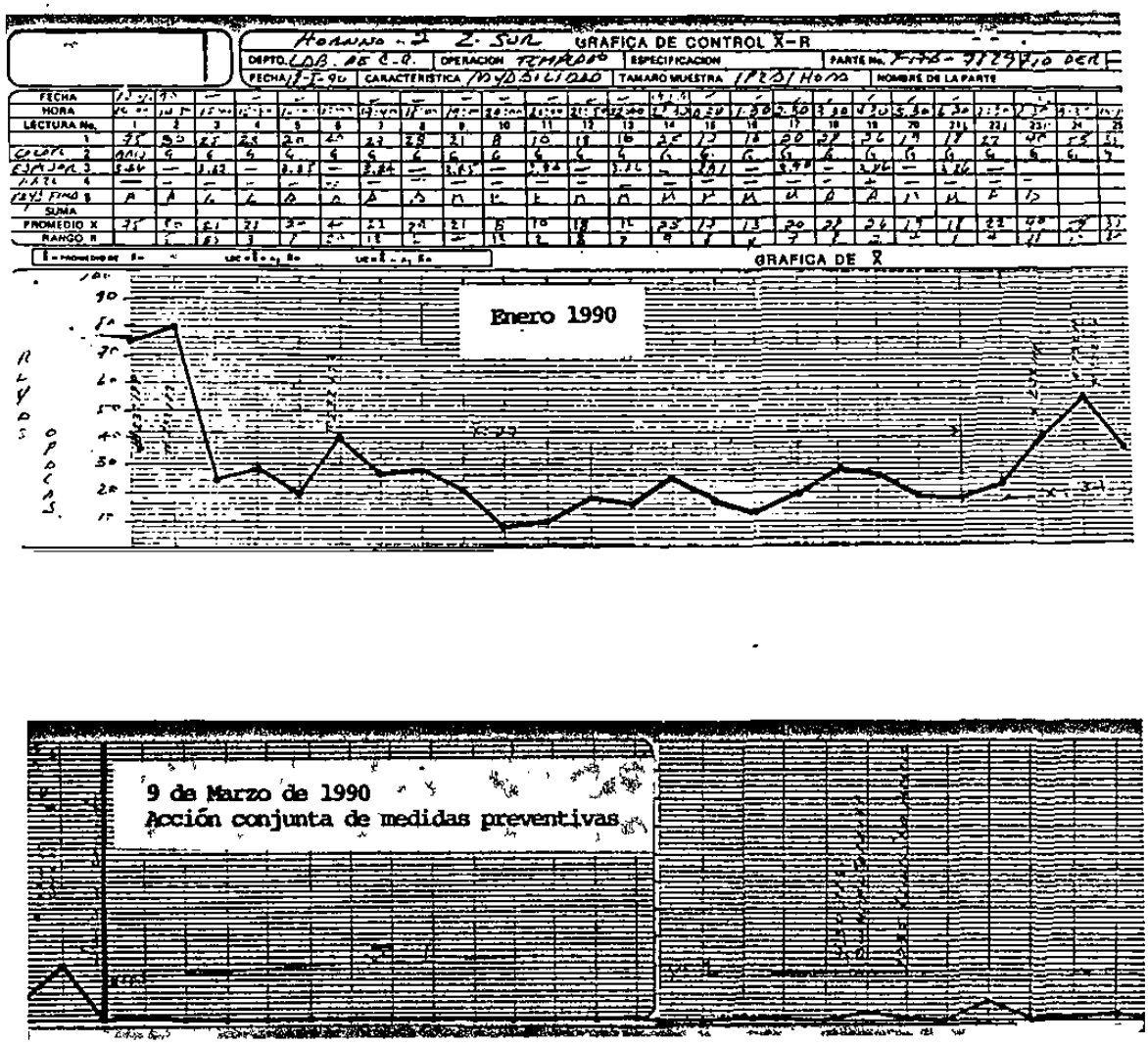


Figura 21. Niveles de Rayabilidad obtenidos antes y después de la implementación de las medidas preventivas.