

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

680-18 AGENTES AGRESIVOS DEL HORMIGÓN

(Über chemische Einwirkungen auf Beton)

Ernst Rissel

De: "BETONSTEIN-ZEITUNG", nº 1, Enero 1953, pág. 10

- - -

El hormigón endurecido puede considerarse como un cuerpo de naturaleza básica, expuesto a la acción de determinados influjos químicos, que le dañan y en circunstancias especiales de intensidad o duración llegan incluso a destruirlo.

Como es sabido, el hormigón se prepara a partir de cemento, áridos y agua. Los áridos de buena calidad y estables frente a la acción de los agentes atmosféricos que exigen las normas, son prácticamente inmunes frente a los influjos químicos. En el hormigón endurecido queda, pues, como porción susceptible de ser atacada, la pasta endurecida de cemento que está aglomerando entre sí los granos de árido. Esta pasta está constituida por compuestos básicos, y es la que presta carácter básico al hormigón. Los ácidos, polo opuesto a las bases desde el punto de vista químico, actúan por esta razón sobre el hormigón; prescindiendo de raras excepciones, su efecto es nocivo. Existe, además, una serie de otros cuerpos que pueden ser peligrosos para el hormigón.

En el presente artículo se consideran dos de las acciones químicas que con mayor frecuencia afectan al hormigón, así como de las posibilidades de protección de que se dispone.

La primera de estas acciones corresponde al carbónico, ácido débil que se encuentra con gran profusión en la naturaleza y cuyo efecto sobre el hormigón no es bien comprendido muchas veces. El anhídrido carbónico del aire, que da lugar al endurecimiento de los morteros de cal, no perjudica al hormigón; probablemente, incluso le favorece. Pero el  $\text{CO}_2$  disuelto en agua se comporta de un modo muy distinto. En este caso, su efecto depende en primer lugar de la cantidad presente, y, después, de si en el agua se encuentran disueltos otros agentes químicos, y de la naturaleza de éstos.

En lo que al hormigón se refiere, únicamente han de considerarse agresivas aquellas soluciones de carbónico que presenten un pH inferior a 7,0. Se observa, además, que el grado de ataque es inversamente proporcional al valor del pH. En el caso de aguas blandas basta una pequeñísima cantidad de carbónico para que el pH resulte inferior a 7, lo que ha inducido a pensar que estas cantidades insignificantes de  $\text{CO}_2$  son la causa de la acción que sobre el hormigón ejercen las aguas muy blandas. En la actualidad, en los datos sobre las aguas se incluye casi siempre el valor del pH. No procede dar aquí una definición exacta de esta magnitud, ni indicar los métodos que se siguen para su medida; dicha información puede encontrarse en cualquier libro. De un modo sencillo, al lector no familiarizado con el concepto de pH, puede bastarle con saber que es una magnitud que indica el grado de acidez de una solución.

El efecto del carbónico agresivo sobre el hormigón consiste en una acción disolvente. El carbónico extrae cal de la pasta de cemento endurecida, al transformar aquélla en un compuesto fácilmente soluble. Con esto, la estructura del hormigón se debi

lita y se facilita una penetración más amplia e intensa del carbónico en el seno del mismo. Si la acción del carbónico es prolongada, puede llegarse a una destrucción total del hormigón. No obstante, estos desastrosos efectos pueden contrarrestarse, en general, mediante la aplicación de medidas de protección sencillas.

El segundo agresivo químico a que nos vamos a referir son los sulfatos. A diferencia del carbónico, que sólo ataca al hormigón en forma de ácido libre, tanto el ácido sulfúrico como sus sales, los sulfatos, son agresivos. El sulfato más conocido, y ciertamente el más abundante en la naturaleza, es el yeso. Como es sabido, éste es ligeramente soluble en agua, y de esta forma puede actuar sobre el hormigón.

Con frecuencia, se han considerado los sulfatos como la causa principal de las destrucciones que experimenta el hormigón. Así, se les suele colocar en cabeza en las listas de agresivos. Su acción sobre el hormigón es particularmente peligrosa, porque dan lugar a un efecto disruptor interno. En efecto, provocan la formación de una sal doble con una gran cantidad de agua de hidratación, que ocupa un gran volumen; el sulfoaluminato cálcico. Esta sal fue bautizada por Michaelis con el nombre de "bacilo del cemento", debido a que cristaliza en forma de bastoncitos. El efecto expansivo disruptor que hemos mencionado es propio, en mayor o menor escala, de todos los sulfatos.

Otro representante característico de los sulfatos -junto al yeso- es el sulfato magnésico, que se encuentra, por ejemplo, en el agua del mar.

El ataque de ácido sulfúrico libre sobre el hormigón es mucho menos frecuente. En este caso, como sucede con todos los áci

dos, las destrucciones son debidas a la disolución de cal, que se transforma en yeso. En determinadas circunstancias, puede producirse simultáneamente un efecto disruptor.

Ahora bien, al constructor le interesan más, en general, las medidas de protección que pueden tomarse contra la acción de los agresivos, que la explicación de como actúan éstos.

Como ya hemos indicado, la acción de los agentes químicos sobre el hormigón ha de atribuirse, más o menos directamente, al antagonismo existente entre bases y ácidos. Podemos, así, disponer de reglas fundamentales de validez general en la elección de las medidas de protección. Encontramos una confirmación de esto en las Especificaciones vigentes en Alemania para la ejecución de construcciones de hormigón en contacto con el agua del mar o en terrenos pantanosos.

Las medidas de protección pueden clasificarse en internas y externas. En las primeras se incluyen aquellas adoptadas durante la fabricación del hormigón, y en las segundas las que suponen un tratamiento posterior especial del hormigón, en general recurriendo al empleo de sustancias ajenas al mismo.

Tanto el dictamen de si un agua o suelo son agresivos, como la elección de las medidas de protección pertinentes, deben ser encomendados a un especialista. Igualmente, la toma de muestras de un agua o suelo sospechosos debe ser realizada por un experto, aunque en las Especificaciones mencionadas se incluyen las instrucciones precisas para proceder correctamente. En la edición de 1951 de las "Especificaciones de la Junta Alemana para el Hormigón Armado" ("Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton") se hallan contenidas las instruc-

ciones citadas, junto con otras especificaciones relacionadas también con este punto. Se está trabajando en la revisión de estas Especificaciones; no obstante, la observación de las mismas en su forma actual permite ya una gran seguridad en las construcciones de hormigón en contacto con aguas o suelos peligrosos por lo que se recomienda insistentemente tenerlas presentes.

En lo que se refiere a la confección del hormigón, con vistas a aumentar su resistencia a los agresivos, es menester tener en cuenta lo siguiente: La composición granulométrica de los áridos debe escogerse de modo que resulte un hormigón con la compactidad máxima posible, e impermeable al agua. Esto puede conseguirse empleando áridos de granulometría discontinua (normas IIN 1045 y 1048, apartado 3). Asimismo, la cantidad de agua de amasado debe ser tal que resulte en el hormigón una proporción mínima de poros de agua o aire. Debe evitarse el empleo de hormigón apisonado o muy fluido. Con los modernos vibradores, un hormigón relativamente seco puede compactarse de modo que resulte una alta calidad y una gran resistencia contra los agresivos químicos. En caso de no disponer de uno de estos aparatos, debe preferirse siempre un hormigón plástico, bien picado, a un hormigón apisonado, seco.

Como hemos indicado, deben emplearse exclusivamente áridos de buena calidad y resistentes. En cuanto a los cementos, han de preferirse siempre para estos trabajos los pobres en cal. Ahora bien, de las publicaciones más recientes sobre ensayos en contacto con agua de mar se desprende claramente que es mucho mayor la influencia de la composición y trabajado del hormigón que la de la clase de cemento empleado. Se ha comprobado que los hormigones elaborados siguiendo con toda exactitud las Especificacio-

nes perduran durante años sin presentar ningún tipo de daños.

Se han empleado también con éxito determinados aditivos, fundamentalmente aquéllos que permiten disminuir la cantidad de agua de amasado.

Debe prestarse también una atención especial al curado del hormigón. Este debe endurecerse durante un tiempo lo más prolongado posible en aire húmedo (o al menos, en aire no desecante), antes de entrar en contacto con los agresivos. En las Especificaciones antes citadas se hace especial mención de la conveniencia de que el hormigón tenga bastante edad antes de quedar expuesto a la acción de las aguas agresivas. Las investigaciones más recientes, tanto prácticas como de laboratorio, confirman este extremo. Desgraciadamente, las circunstancias de la práctica de la construcción no permiten con frecuencia prolongar más allá de cierto punto el espacio de tiempo que media entre la elaboración del hormigón y su utilización. Las observaciones más recientes han puesto de manifiesto que resulta más conveniente demorar el desencofrado el mayor tiempo posible que, por ejemplo, rociar el hormigón con agua.

Entre las medidas externas de protección merecen mencionarse: revestimiento de la construcción de hormigón amenazada con ladrillos o placas cerámicas o de vidrio, rellenando las juntas con asfalto o con masilla o mortero especial antiácido, recubrimiento con masas de barro apisonadas y la aplicación de masillas bituminosas o pinturas protectoras. Muchas veces existe también la posibilidad de mantener alojadas de la construcción las sustancias o soluciones agresivas por aplicación de medidas puramente constructivas. Estas son preferibles en general.

Actualmente se consideran con cierto escepticismo los revestimientos con pinturas bituminosas o a base de plásticos. Sin embargo, parece desorbitado rechazar totalmente estas pinturas o la impregnación con soluciones especiales (fluatos, por ejemplo). Ciertamente, se ha comprobado que no existe una protección superficial de duración. Ahora bien, las pinturas o la impregnación, trabajando cuidadosamente y utilizando productos de buena calidad, protegen al hormigón durante un largo periodo del contacto con los agresivos, con lo que aquél tiene tiempo de endurecerse y envejecer. Las Especificaciones oficiales alemanas conceden también la máxima importancia a esta "auto-protección", conseguida por un endurecimiento lo más prolongado posible. De los productos de hormigón se exige una edad mínima de 6 semanas, antes de que entren en contacto con aguas agresivas.

El "tratamiento con ácidos" ("Absäuern") sólo resulta adecuado en el caso de elementos prefabricados. Este tratamiento consiste, en general, en lavar el hormigón con ácido clorhídrico de una determinada concentración, y a continuación con agua pura. La experiencia ha puesto de manifiesto que este procedimiento proporciona cierta protección contra la acción de los líquidos ácidos. Vale la pena mencionar que, para determinados usos (por ejemplo, depósitos de vino, de hormigón), es corriente el tratamiento con ácido tartárico. A diferencia del ácido clorhídrico, que elimina componentes básicos de la superficie del hormigón, el tartárico forma con la cal de la pasta endurecida un compuesto insoluble, que simultáneamente actúa obturando los poros.

Debe asimismo procurarse evitar en la medida de lo -

posible cualquier interrupción en el hormigonado de las distintas partes de la obra. Precisamente, las juntas que resultan de estas interrupciones constituyen el punto de partida para el ata que de los agresivos, sobre todo cuando nos encontramos en presencia de un nivel de agua variable, lo cual siempre resulta peligroso.

Cuando un hormigón ha de estar expuesto a la acción de aguas agresivas, se procura también una superficie lo más tersa y "cerrada" posible. El encofrado representa también un importante papel. Se han de preferir los encofrados de acero o de madera bien cepillada.

Finalmente, debe mencionarse que los aceros empotrados en construcciones expuestas a la acción de agentes químicos agresivos deben recubrirse suficientemente con hormigón. Las normas oficiales alemanas exigen de 4 a 5 cm en el caso de construcciones en contacto con el agua del mar.

El desarrollo de la tecnología del hormigón permite ciertamente esperar en el futuro hormigones en general contra to dos los ataques posibles; sin embargo, tendrá que transcurrir cierto tiempo hasta que estos conocimientos se popularicen en la práctica de la construcción. I.S.C.

- - -



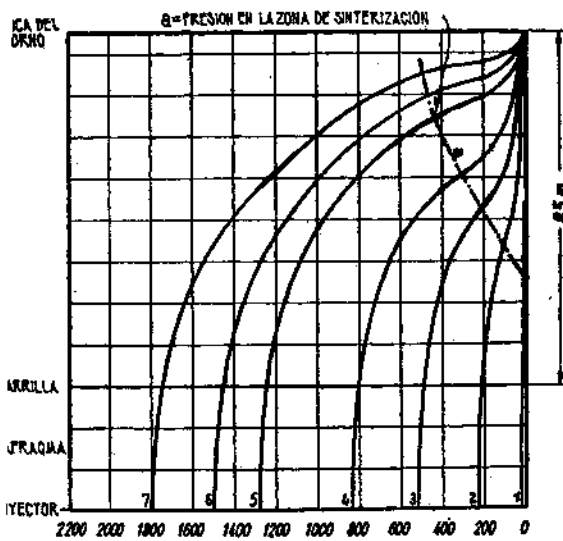


Fig. 1.—Marcha de la pérdida de carga en un horno vertical.

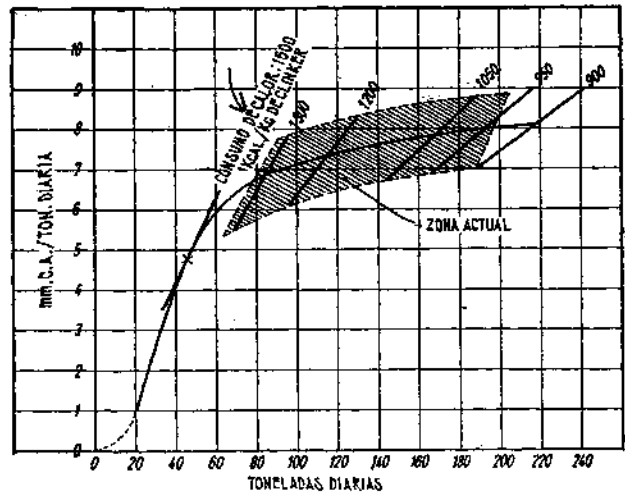


Fig. 2.

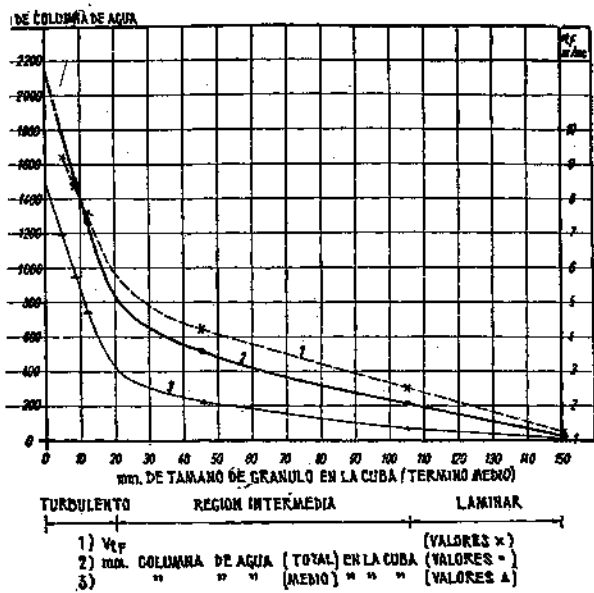


Fig. 3.—Velocidad del aire y pérdida de carga en función del tamaño de grano.

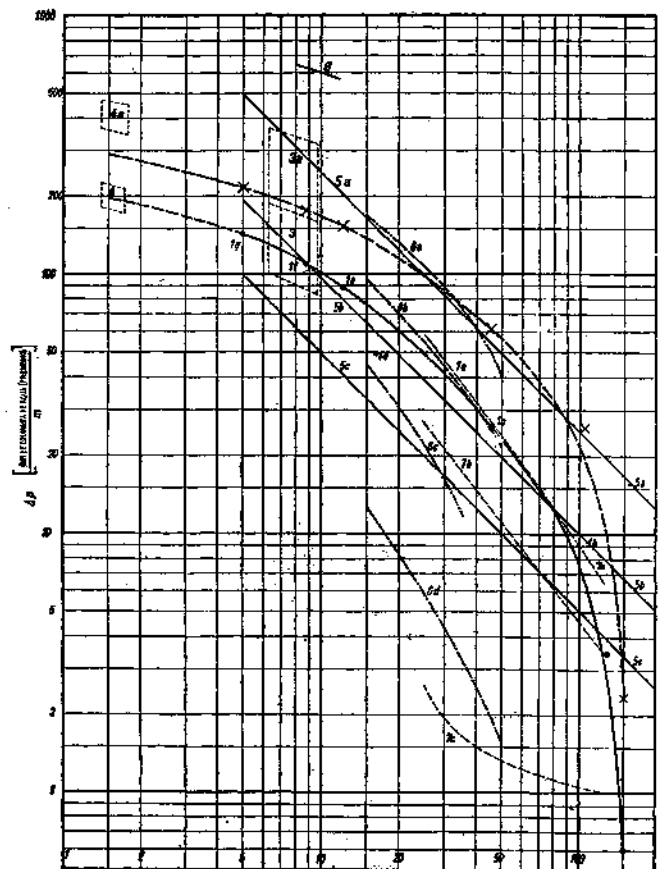


Fig. 4.

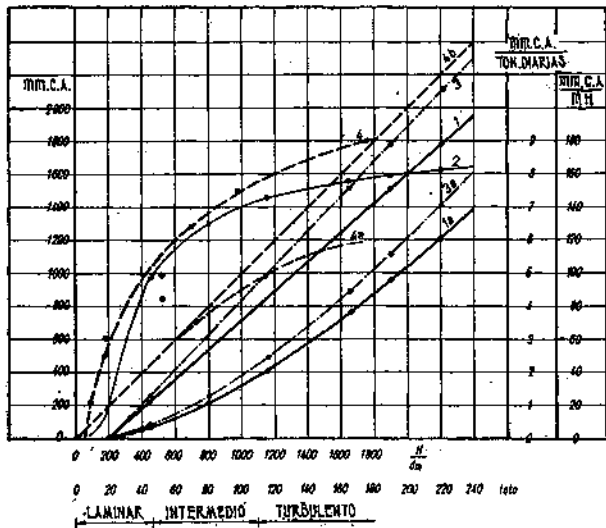


Fig. 5.

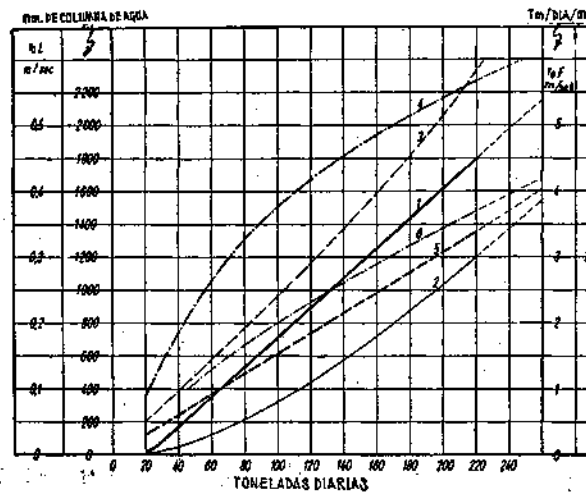


Fig. 6.

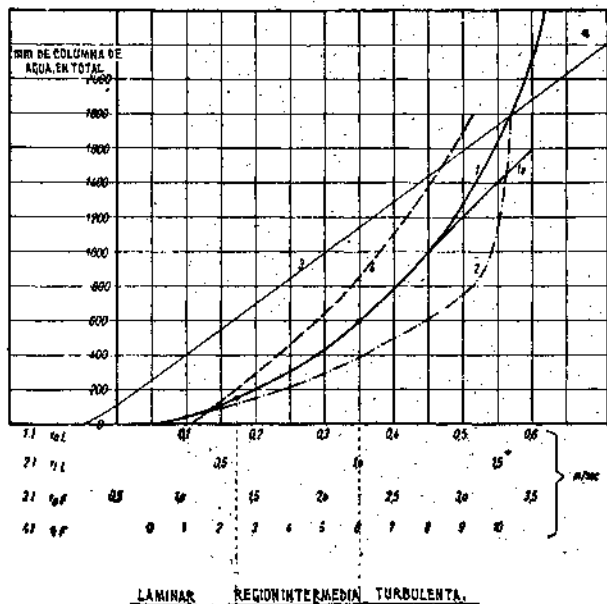


Fig. 7.

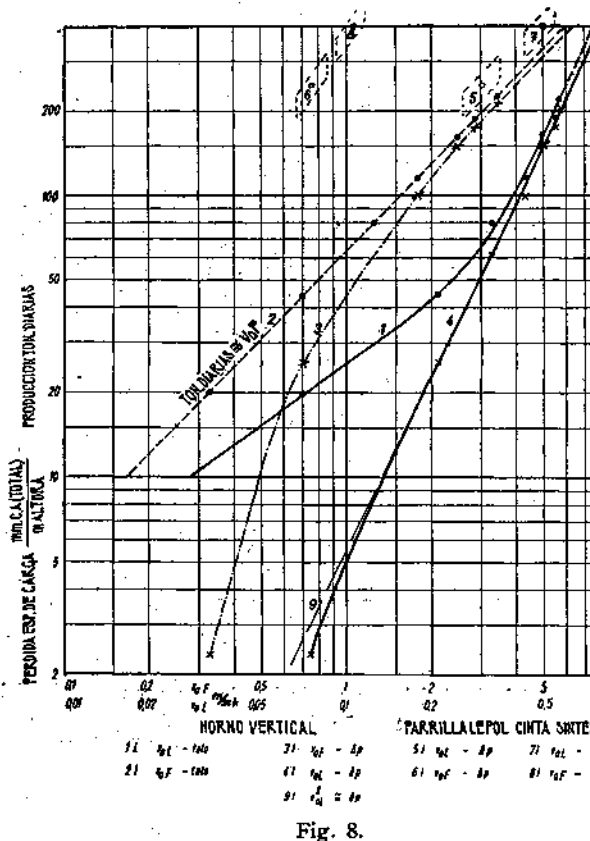


Fig. 8.

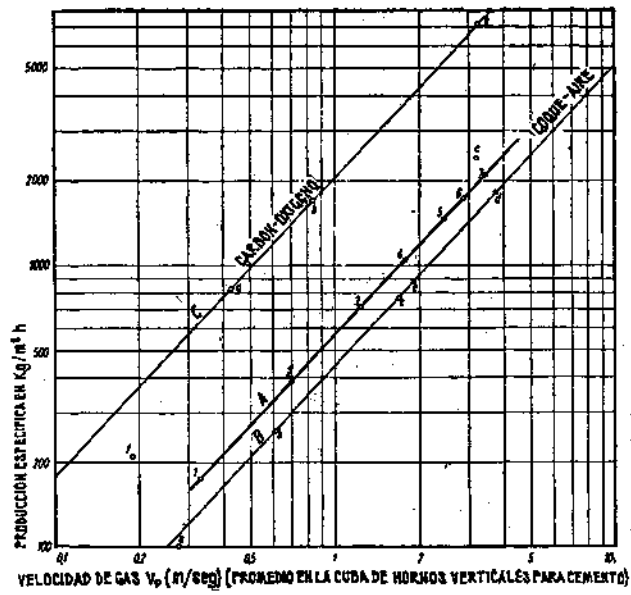


Fig. 9.

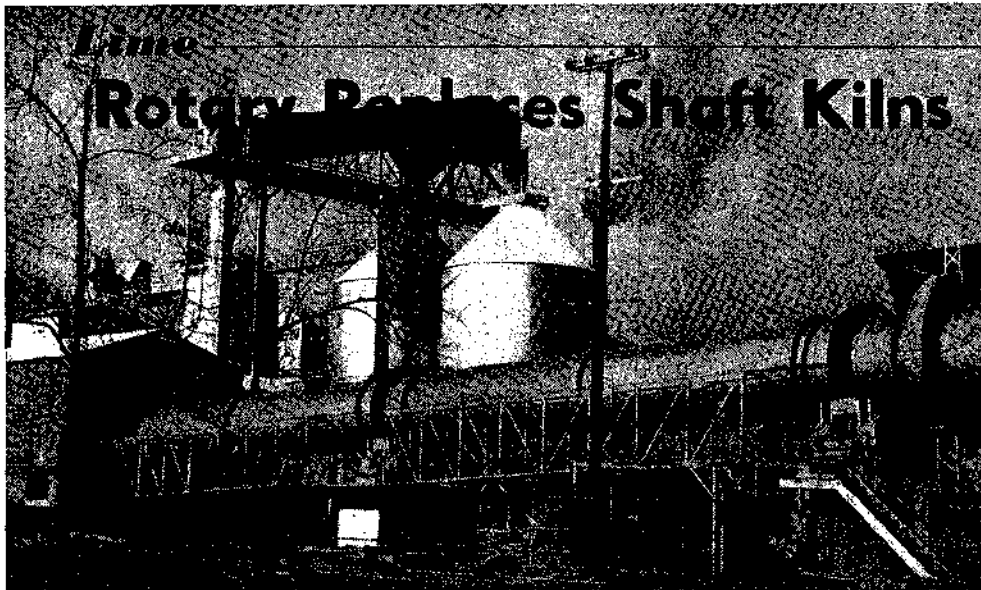


Fig. 10.