

631-48

nuevas investigaciones sobre las medidas necesarias contra las inclusiones nocivas de cal

E. SCHMIDT, ingeniero

Instituto de Investigaciones Cerámicas de Essen

Die Ziegelindustrie, n.º 6-7, marzo 1968, págs. 125-136

INTRODUCCION

En el Instituto de Investigaciones Cerámicas de Essen se realizan actualmente estudios sobre el viejo problema considerado "molesto" de los daños causados por la cal. Con este motivo se llevó a cabo una encuesta a través de las asociaciones regionales de la industria de ladrillo alemana, de la que se desprende claramente que la palabra *molesto* respecto a este problema que afecta a muchas empresas es absolutamente justificada. El uso del concepto "viejo" es una definición que en gran parte sólo corresponde a la época industrial del desarrollo de la industria del ladrillo.

Lo que se quiere decir con esto se pone claramente de manifiesto en la explicación que dio un fabricante de ladrillos en esta encuesta. Por eso, como introducción, vamos a citar un párrafo de la misma:

"Hace 50 años todavía, en invierno, se colocaba el barro (légamo) en pudrideros. Esto se hacía a destajo. El hombre que cavaba el barro tenía un cubo a su lado, en el que echaba los trozos de caliza encontrados al excavar. Por un cubo se pagaban 5 Pfennig.

El hombre del moldeo encontraba más trozos de caliza. Esos los tiraba porque en el cortador de arcilla no se machacaban.

Después de la calcinación, los ladrillos se colocaban apilados. Con la humedad del aire, la cal viva se apagaba, el caliche partía el ladrillo y éste se tiraba al cargar. De esta forma pocas veces llegaban al lugar de las obras ladrillos con caliche.

Esto cambió cuando se introdujo la preparación mecánica con el laminador. Los trozos de caliza destruidos en trozos menores se repartían ahora en varios ladrillos, los pequeños en dos o tres y los grandes en cincuenta y más. No es posible una selección antes de la preparación y, a su vez, la molienda fina sólo se consigue de manera defectuosa. La consecuencia es que ahora prácticamente todo el material está influido por la cal."

La situación aquí descrita, por lo menos en lo que se refiere a la explotación, todavía es familiar a muchos de los fabricantes de ladrillo antiguos.

Los métodos modernos de explotación, con cifras de producción gigantescas frente a las antiguas, sólo en casos especiales permiten una separación de la cal, que además, en general, resulta muy incompleta, siempre que no esté concentrada netamente en algunos estratos. Los métodos corrientes de la preparación en pasta o tierra húmeda con las máquinas disponibles hoy en día permiten sólo una trituración limitada, que desgraciadamente, en la mayor parte de los casos, no es suficiente para eliminar el efecto explosivo de la cal.

Por esta razón, las fábricas de ladrillo afectadas están obligadas a tomar medidas. La más frecuente es la inmersión que ya se emplea desde hace muchos años, en parte, con resultados buenos o, por lo menos, satisfactorios y, en parte, desgraciadamente, con resultados insuficientes.

El objetivo del trabajo comenzado en el Instituto será, por tanto, mejorar las medidas empleadas hasta ahora y buscar nuevos caminos para su perfección. La finalidad de este artículo es describir el programa de ensayos e indicar las posibilidades que se destacan hoy en día. Después de un resumen general de las causas e influencias sobre el efecto explosivo de la cal se discutirán los resultados de la encuesta y se describirán algunos de los resultados, sobre todo de índole teórica, de los trabajos iniciados en este terreno.

2 LAS CAUSAS Y MAGNITUDES DE INFLUENCIA EN EL EFECTO EXPLOSIVO DE LA CAL

De las condiciones previas, según las cuales las adiciones de cal causan daños explosivos, se deducen los puntos de partida para combatir este efecto nocivo.

Los daños explosivos causados por adiciones de cal en trozos se explican, como es conocido, por el considerable aumento de volumen que se produce en la cal calcinada por absorción o combinación química con el agua según el proceso reproducido en el siguiente esquema:



De esta forma se ejerce una presión sobre el material periférico, que es superior a la resistencia o capacidad elástica del contorno. Esta presión y su efecto destructor están influidos por una serie de factores, de los que sucesivamente se describen los más importantes.

2.1. Pureza química y consistencia del caliche

Una cualidad esencial del posible efecto explosivo de las inclusiones de cal es su expansión de volumen "específica". Se determina por la pureza química y densidad de los respectivos granos de cal. Se tiene una idea de la importancia de la influencia de la composición química recordando que la expansión de volumen, en el sentido del esquema de reacciones mencionado arriba, es una consecuencia de las transformaciones químicas del óxido de calcio CaO, es decir, de una reacción química definida. En la naturaleza, en cambio, lo mismo que en las materias primas, la cal está mezclada con componentes

arcillosos, es decir, con compuestos silicatados, en la misma estructura de grano. Ya se sabe que, según la densidad, tamaño de grano, etc., los trozos de cal todavía pueden causar efectos explosivos aunque sólo contengan de 50-60 % de óxido de cal o de carbonato. La fuerza explosiva de tales granos es, naturalmente, mucho menor que la de la cal pura.

Lo mismo que cambia la composición química, cambia también la densidad de las cales naturales. Esta varía desde el espato calizo y la piedra caliza con peso específico de 2,5 a 3,5, hasta la greda con pesos específicos de sólo 1,5 a 2,0. Es comprensible que un grano duro y denso pueda causar explosiones, en tanto que un grano voluminoso del mismo tamaño o una aglomeración de partículas calcáreas terrosas no causen daño alguno porque el aumento de volumen se realiza en sus propios poros.

La gran variedad del efecto explosivo que puede producirse según estas cualidades, se demuestra en la figura 1 con resultados de ensayos anteriores (1). Se adicionaron a la misma arcilla, y bajo las mismas condiciones, cuatro sales, en la misma cantidad y tamaño de grano. Sin comentarios detallados se destaca que en la muestra de la izquierda, completamente destruida, se empleó una cal muy pura, en tanto las demás estaban más o menos contaminadas con impurezas.

2.2. Tamaño del grano de cal

El segundo factor importante que influye en el efecto explosivo es el tamaño de grano de las adiciones calizas. El origen físico de esta influencia se explica por el simple esquema de la figura 5, que reproduce, sistemáticamente, el proceso de la hidratación (véase 2.6.). En el esquema A se representa un grano de cal con los poros circundantes —de dimensiones muy aumentadas—. Resulta fácil imaginarse que, de una parte, los granos pequeños tienen una expansión absoluta reducida que, fácilmente, pueden absorber los poros colindantes de forma que no se produzca presión alguna. Por otro lado, la influencia del tamaño de grano estriba en que la tensión que posiblemente pueda producirse con granos pequeños se reparte en una superficie relativa mayor. Por esas dos condiciones previas, en cada cal hay un determinado tamaño de grano por debajo del cual ya no se producen efectos explosivos. A este tamaño puede denominarse “límite del efecto explosivo”.

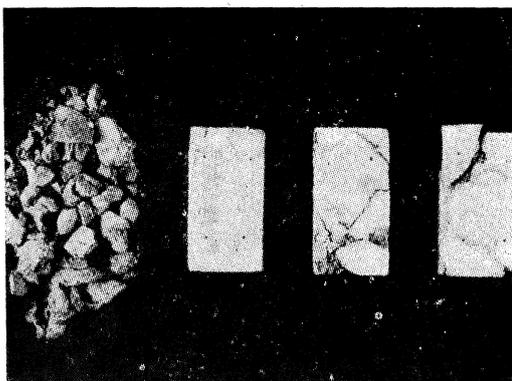


Figura 1.—Distinta fuerza explosiva de 4 tipos de cal con la misma arcilla.

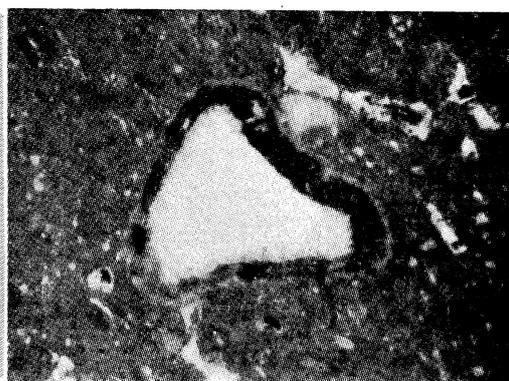


Figura 2.—Grano de cal parcialmente silicizado (tamaño natural, aproximadamente 1,5 milímetros).

2.3. Cualidades del casco de ladrillo

Como tercer factor hay que considerar la resistencia y elasticidad del casco, su espesor, distancia de las inclusiones entre sí, distancia de los granos de cal a la superficie del casco, etc. Todas estas cualidades determinan cuál debe ser la tensión necesaria para que surjan explosiones, es decir, qué resistencia debe tener el casco.

2.4. Aparición de un proceso de silicatización de la cal

La cuarta influencia importante son las reacciones que pueden tener lugar entre las inclusiones de cal y parte del casco arcilloso circundante. Este proceso se llama silicatización o, en el lenguaje ladrillero, "quemar a muerte" la cal. Mediante la microfotografía de la figura 2 resulta fácil imaginarse que esta cal sólo experimenta expansión de volumen por reacción con el agua, ya que después de la calcinación existe todavía como óxido (en la figura 2, la parte blanca del grano). La capa oscura, producto de la reacción con el material circundante, ya no tiene fuerza explosiva. Además, esta reacción va acompañada de una contracción de volumen de tal manera que para el resto de cal expansionable se da un espacio adicional para realizar su expansión (2). Es decir, en muchos casos basta con una pequeña reacción para eliminar los efectos explosivos.

En este trabajo se cita un caso especial de materias primas con alto contenido de cal. En tales circunstancias, al ser la reacción con la arcilla insuficiente, pueden producirse explosiones aun cuando la cal sea muy fina, ya que el fenómeno de expansión afecta a todo el ladrillo. La figura 3 muestra el resultado de los ensayos con un material que contiene aproximadamente un 45 % de CaCO_3 . Los ladrillos se cocieron de 900° a 1.060°C (empezando por la izquierda y aumentando de 40° en 40°C , respectivamente). Los ladrillos cocidos a las temperaturas más bajas contienen todavía óxido de calcio libre, que conduce a la destrucción de las probetas; pero con temperaturas de calcinación suficientemente elevadas, la cal se fija en su mayor parte combinando con la arcilla y resultando totalmente inocua.

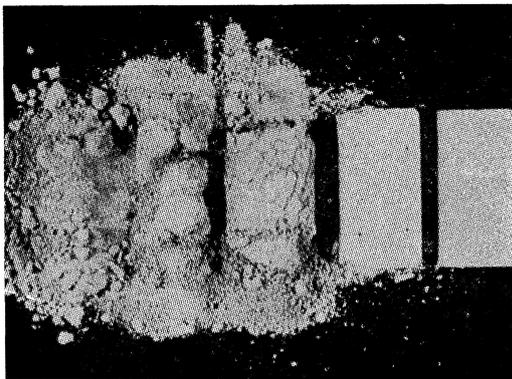


Figura 3.—Efecto de la cal finamente molida en muestras de ladrillo con alto contenido en carbonato cálcico (de izquierda a derecha, cociones a 900° - 940° - 980° - 1.020° y 1.060°C).

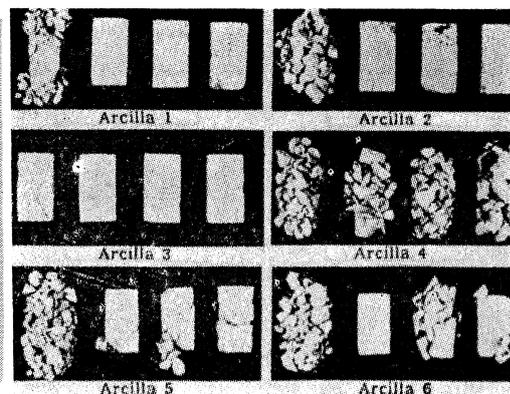


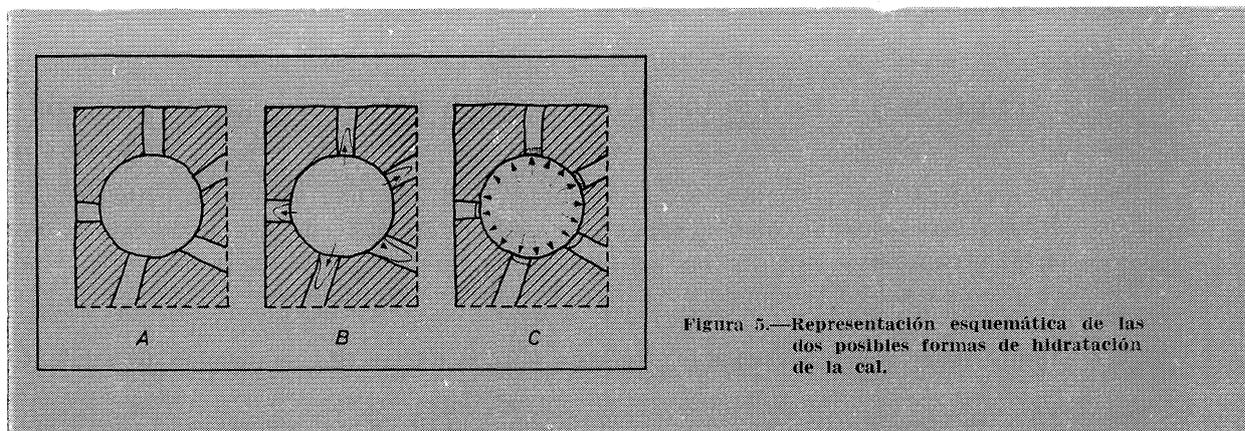
Figura 4.—Efectos explosivos de las combinaciones de cuatro tipos de cal con 6 arcillas diferentes.

2.5. Concomitancia de los diferentes factores

La silicatización y las propiedades del casco arcilloso, así como la resistencia, elasticidad, etc., en conjunto, hacen que los daños explosivos para distintas arcillas con las mismas adiciones calizas sean notoriamente distintos. Esto lo demuestra la figura 4, que corresponde a un trabajo anterior del autor (1). Se mezclaron seis arcillas diferentes con las cuatro clases de cal ya mencionadas, en la misma cantidad y con la misma granulometría. La magnitud de la distinta influencia se nota, sobre todo, en las arcillas 3 y 4. Con la arcilla 3, el grado de destrucción es pequeño en todos los casos; con la arcilla 4 es grande siempre.

2.6. Proceso de hidratación

Aparte de los cuatro factores mencionados, tienen influencia aquellos factores bajo los cuales se desarrolla la reacción explosiva. La combinación con el agua o la hidratación del óxido cálcico es el mismo proceso que se produce, por ejemplo, al apagar la cal de construcción. Puede oscilar entre dos extremos. Explicaremos esto mediante el esquema ya mencionado en la figura 5. Al emplear mucha agua se produce una papilla de cal o, incluso, una lechada similar a una disolución; al adicionar poca agua, o incluso vapor de agua "seco", se crea un hidróxido cálcico en forma de polvo. Es fácil imaginarse, mediante el esquema B, que al producirse pasta o lechada de cal el aumento de volumen puede absorberse fácilmente en los poros colindantes, en tanto que en el segundo caso el hidróxido cálcico colmata los poros, no permite la expansión y provoca unas tensiones que conducen al efecto explosivo.



Hay que hacer constar que existen otras consideraciones que buscan más explicaciones para la conducta explosiva de la cal (3) y (4). Aunque las cuestiones abordadas estén completamente justificadas, surgen, sin embargo, algunas contradicciones que, aunque en algunos puntos sean correctas, según opinión del autor deben eliminarse hasta que se abandonen las antiguas teorías de Zunker (2).

Entre estas exigencias extremas hay varias soluciones intermedias para pensar que los efectos de inclusiones nocivas de cal en el ladrillo pueden ser muy diferentes según las circunstancias higrométricas. En esto influyen numerosas condiciones tales como la clase de producto, la porosidad del casco, la elaboración del ladrillo, las características

constructivas del edificio, el tiempo de almacenaje, pero, sobre todo, las condiciones meteorológicas e, incluso, la humedad variable del aire. No debe resultar, pues, extraño que en veranos secos los efectos de los daños causados por la cal se hagan, con frecuencia, más sensibles que en años normales o incluso húmedos.

2.7. Puntos de partida para combatir los efectos perniciosos

El resumen de las influencias descritas hasta ahora es el siguiente:

El efecto explosivo de la cal se basa en el aumento de volumen al apagarla, es decir, en la combinación del agua con la cal calcinada.

En la extensión de este efecto explosivo influyen varios factores, de los cuales los más importantes son:

- 1) Pureza química y compacidad de las adiciones calizas.
- 2) Tamaño del grano de las inclusiones.
- 3) Resistencia y elasticidad del casco, así como distancia de los granos calizos de la superficie y entre sí.
- 4) Proceso de silicatización.
- 5) Condiciones bajo las cuales se produce la hidratación de la cal.

De estas condiciones previas básicas del efecto explosivo, la del punto 2), es decir, el tamaño de grano; la del punto 4), o sea, la silicatización, y la del punto 5), condiciones de la hidratación; todas ellas son esenciales para combatir los perjuicios causados por la cal.

3 RESULTADOS DE LA ENCUESTA REALIZADA EN LAS FABRICAS DE LADRILLO ALEMANAS

La encuesta realizada entre los fabricantes puede dar una idea de la situación actual. Desgraciadamente la colaboración no ha sido tan grande como era de desear, ya que sólo un 35 %, aproximadamente, de las fábricas han contestado al cuestionario. A pesar de todo la encuesta ha proporcionado algunos resultados interesantes.

3.1. Indicaciones generales sobre los tipos de hornos de ladrillo empleados actualmente

Antes de desarrollar los resultados de la encuesta, el autor quiere hacer una apreciación general de esta industria aunque no pertenezca directamente al tema. Se refiere al tipo y capacidad de producción de los hornos de ladrillo hoy día en servicio. En la figura 6 se enfrentan el número y producción de los dos grandes grupos de hornos. Como se desprende, la mayor parte de los hornos utilizados son hornos de anillo y zigzag. Pero en cuanto al rendimiento ya están superados por los hornos túnel. Hay que hacer notar que, según una encuesta realizada en Renania del Norte (Alemania) hace cuatro años, sólo un 27,5 % de la producción procedía de hornos túnel (5).

En la figura 7 se dan las mismas cifras según las regiones. Del gráfico se deduce que en los tres primeros grupos las condiciones son similares y que la producción de los hornos de anillo todavía es ligeramente superior a la de los hornos túnel. En cambio en el

grupo sur, es decir, en Baviera, la producción de los hornos túnel es considerablemente más elevada. Las causas de esto no han podido deducirse de esta encuesta.

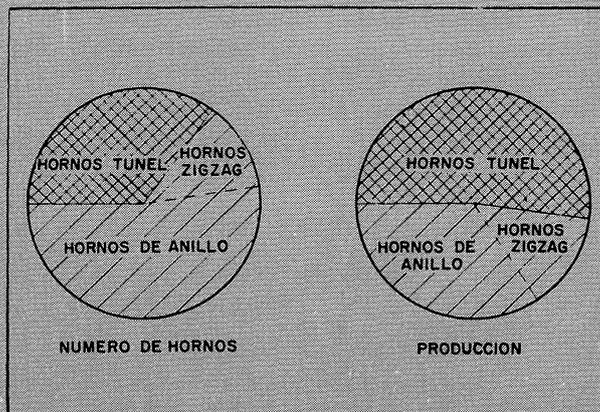


Figura 6.—Número y producción de los distintos hornos túnel, anillo y zigzag (Resultado de la encuesta).



Figura 7.—Distribución por regiones de la producción de los hornos túnel, anillo y zigzag (Resultado de la encuesta).

En la figura 8 se hace otra ordenación del resultado de la encuesta. Aquí el número total de hornos de anillo, hornos túnel y hornos zigzag está dividido, respectivamente, según su producción. Del gráfico se deduce que, a igualdad de número, la producción de los hornos túnel es, en general, mucho más grande que la de los hornos de anillo. Como valores medios, en los hornos túnel la producción es de 10,1 millones de NF o ladrillos, en tanto que en los hornos de anillo es de 6,4 millones. La producción de los hornos túnel, supera en más de un 50 % a la de los hornos de anillo.

3.2. Abundancia de las adiciones de cal

Debe destacarse que, a pesar de la participación relativamente escasa y de la falta de seguridad estadística por varias causas, hay bastantes motivos para creer que el resultado mencionado arriba es representativo de la situación general de nuestra industria. Esa suposición, que también es válida para otros resultados de la encuesta, hay que negarla con gran probabilidad en cuanto a la cuestión de la abundancia de los componentes de cal.

Según lo representado en el diagrama circular de la izquierda de la figura 9, un 60 por ciento de todas las fábricas que rellenaron el cuestionario indicó que tenía dificultades por las inclusiones de cal. Estas cifras son demasiado elevadas, porque puede supo-

nerse que un mayor porcentaje de fábricas que no tienen problemas a causa de la cal no han contestado a la encuesta.

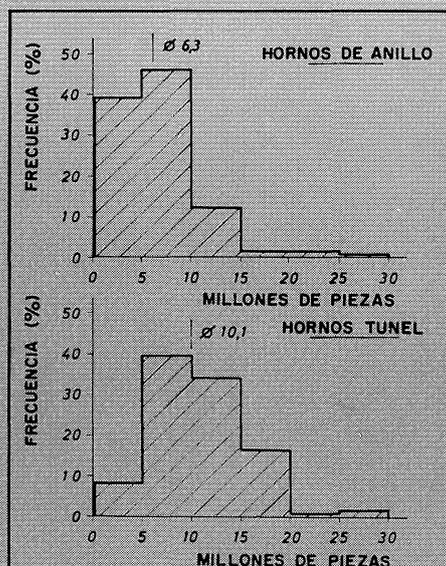


Figura 8.—Distribución por capacidades de producción de los hornos túnel, anillo y zigzag (Resultado de la encuesta).

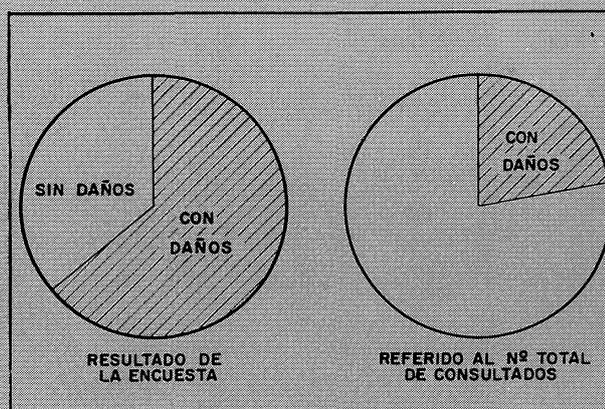


Figura 9.—Casos de adiciones calizas en la materia prima arcillosa, tomando como base las industrias que han participado en la encuesta y las que se les ha solicitado información.

En el diagrama circular de la derecha de la figura 9 se confronta el mismo número con la cifra total de las fábricas preguntadas, resultando que corresponde aproximadamente a un 20 %. La cifra real se encontrará entre los dos valores límites, pero más cerca del último. De todos modos, y con bastante seguridad, puede partirse de la base de que por lo menos un tercio de todas las fábricas tiene inclusiones en el material crudo, cifra sorprendentemente elevada.

Además, se varió la pregunta interrogando si los daños se producían con poca o mucha frecuencia o con regularidad. Eso quería decir si aparecían esporádicamente dentro de períodos grandes o con gran frecuencia o regularmente, es decir, siempre. A consecuencia de este planteamiento poco claro, algunas empresas contestaron muy correctamente con "irregularmente" o incluso "muy irregularmente", lo que se tradujo por "con poca frecuencia" para mantener la denominación del esquema original. El resultado, no muy preciso, se aprecia en la figura 10. Así resulta que en un 70 % de los casos las inclusiones calizas se producen raras veces, o sea, en el sentido de la indicación mencionada arriba esporádicamente en períodos grandes, en un 20 % con frecuencia y en un 10 % con regularidad, es decir, siempre.

3.3. Medidas adoptadas hasta la fecha para combatir las inclusiones

La pregunta básica, mencionada arriba, se refería a si surgían dificultades *sin* la aplicación de medidas especiales. Por eso se preguntó además qué medidas en contra se aplicaban y qué éxito tenían.

En la figura 11 se presentan gráficamente las medidas aplicadas. De las empresas que sufren las adiciones calizas, un 77 % trata de luchar contra el efecto explosivo de la cal por una trituration lo más fina posible. Cifra de la que podía suponerse que fuese aún más elevada, ya que este principio, independientemente de todas las demás medidas, se ofrece como primordial en el marco de las posibilidades y apoya todas las demás medidas. (Compárese 4.1.).

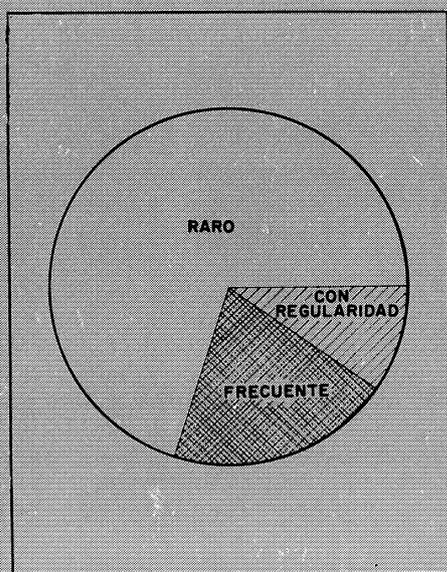


Figura 10.—Frecuencia en la aparición de daños producidos por la cal (Resultados de la encuesta).

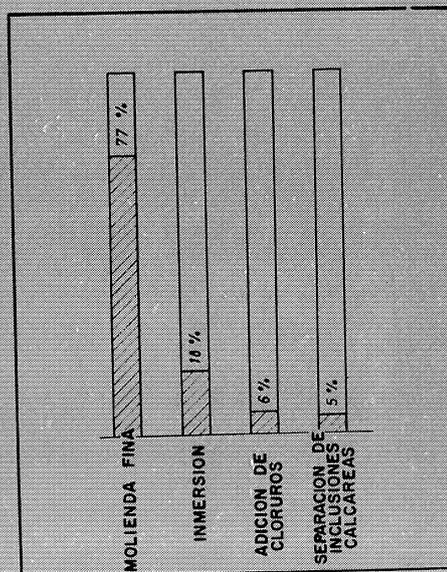


Figura 11.—Frecuencia de las medidas preventivas en la actualidad (Resultados de la encuesta).

La medida más frecuente, después de la trituration, es la inmersión, que, según la encuesta, aplican un 18 %, o sea, casi un quinto de todas las empresas afectadas, para evitar el efecto explosivo de la cal.

Relativamente elevado también es el número de las empresas —un 6 %— que adicionan cloruros para fomentar la silicatización.

Otro 5 % —como se ve en el diagrama a la derecha— contestó que separan las inclusiones calcáreas. Este método, que, como se indica en la introducción, antes se solía aplicar con mucha profusión, hoy en día se emplea con poca frecuencia.

Por último, se indica como otra medida la calcinación fuerte, medida que también tiene como objetivo fomentar la silicatización.

3.4. Exito de las medidas empleadas hasta ahora

En cuanto al éxito que han tenido las medidas aplicadas se preguntó si el resultado era total, sólo satisfactorio o insatisfactorio. La contestación se presenta en la figura 12. Casi un quinto de las empresas están completamente satisfechas y más de la mitad dicen que las medidas son satisfactorias. Pero el resto, bastante considerable (más de un quinto), dice que los resultados no son satisfactorios.

Estas cifras están calculadas para las medidas más importantes que engloban, además de la trituration fina, la sumersión y la adición de cloruros. Los resultados que se dan en la figura 13 demuestran que al emplear la sumersión hay incluso menos resultados totalmente satisfactorios y que los casos insatisfactorios quedan aproximadamente iguales. Al adicionar cloruros, sin embargo, el resultado es mucho más favorable. Más de un tercio indican efectos de un 100 % y sólo escasamente un 10 % de efectos insatisfactorios.

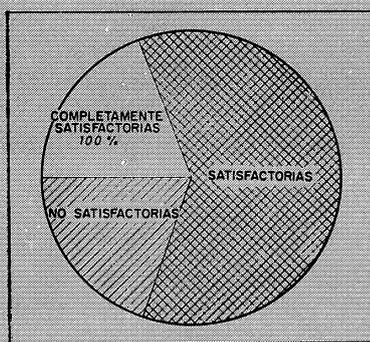


Figura 12.—Exito de las medidas preventivas en la actualidad (Resultados de la encuesta).

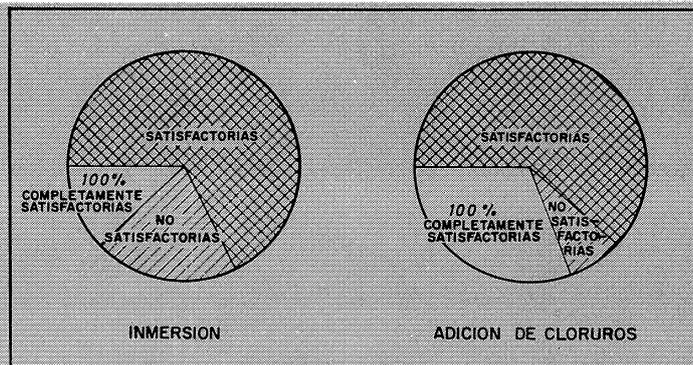


Figura 13.—Exito de la inmersión y de la adición de cloruros (Resultados de la encuesta).

Hay que hacer notar además que en tres empresas emplean adición de cloruros y sumersión, a la vez, con resultados satisfactorios en todos casos.

(continuará)