

IMPLICACIONES Y REACCIONES QUIMICAS EN EL USO DE  
CLORURO DE CALCIO EN EL CONCRETO

Dr. V.S. Ramachandran\*

RESUMEN

El cloruro de calcio, es quizá el aditivo acelerante más antiguo que aún se utiliza en el concreto. Es sorprendente que a pesar de su naturaleza química tan simple (a diferencia de muchos otros aditivos), y de su uso durante varias décadas, muchos aspectos de su funcionamiento en el concreto son ambiguos, controversiales o no son comprendidos completamente. Este trabajo intenta tratar estos aspectos con ejemplos típicos. La mera definición de cloruro de calcio como acelerante no puede ser aceptada sin algunas reservas. Puede actuar como retardante en algunos componentes del cemento, y como acelerante de otros. También es posible que actúe como acelerante en términos de cambios mecánicos. También puede haber confusión en cuanto a la dosis que deberá utilizarse. Una dosis específica recomendada deberá indicar la pureza del aditivo y si el estado de éste es anhidro o hidratado. Aunque el cloruro de calcio frecuentemente es clasificado como agente anti-congelante, esto no está justificado desde el punto de vista práctico. Con las dosis normalmente utilizadas, la baja en el punto de congelación del agua, raramente excederá 1.5°C. Se hace referencia en la literatura rusa al uso de un 20% de cloruro con esta concentración debe esperarse una reducción significativa en el punto de congelación.

Hay un error de concepto en cuanto a la corrosión del refuerzo en la presencia de cloruro de calcio. No todo el cloruro agregado originalmente está disponible para causar la corrosión. Una cantidad significativa reacciona con los constituyentes individuales del cemento, incluyendo los silicatos. Hay divergencia de opinión sobre el mecanismo de aceleración del cloruro de calcio. Acelera la hidratación del silicato y generalmente se supone que el mecanismo implica una actividad catalítica. La evidencia sugiere que el cloruro de calcio puede existir en varios estados, o sea, estado libre, como una substancia en la superficie del silicato, como una capa químicamente absorbida sobre el hidrato, en los espacios entre capas, y en la red del silicato hidratado. Casi todas las propiedades de las pastas de cemento conteniendo cloruro de calcio son evaluadas con referencia a una pasta de cemento normal en un período particular de curado. Esto no permite la evaluación de la propiedad intrínseca de la pasta. Una buena base de comparación sería determinar la propiedad a la misma porosidad o al mismo grado de hidratación.

\* Jefe Investigador en el Consejo Nacional de Investigaciones del Canadá.

## INTRODUCCION.

## EL CLORURO DE CALCIO EN EL CONCRETO—Aplicaciones y Ambigüedades

El concreto, hecho con cemento, agua y agregados es entre los materiales hechos por el hombre el que más se fabrica en el mundo. El concreto es un material compuesto, en el cual la matriz adherente es la pasta de cemento, formada por la reacción del cemento Portland con agua; el material de relleno es el agregado. Los agregados (gruesos y finos) pueden comprender hasta tres cuartos (3/4) del volumen de concreto; los vacíos de aire, junto con la pasta de cemento es el constituyente activo en el concreto, el comportamiento de concreto se determina, en gran parte, por el tipo y cantidad de pasta de cemento que contiene. Muchos concretos se elaboran con cantidades pequeñas de materiales llamados "aditivos", los cuales influyen en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la pasta de cemento, y por lo tanto en las del concreto.

La adición de pequeñas cantidades de ciertos materiales al concreto para mejorar propiedades deseadas, es tan antiguo como el uso de cemento en sí. Los romanos utilizaban sangre, grasa de puerco y leche como ingredientes adicionales a cementos puzalánicos para mejorar su docilidad y durabilidad. Actualmente, cientos de productos químicos, con pretensión de poseer uno o más efectos benéficos, han sido apoyados para incorporarse en el concreto. Ejemplos típicos de ingredientes incluyendo reductores de agua, retardante, acelerantes impermeabilizadores, ingredientes inclusores de aire y acelerantes.

Al agregar un acelerador aumenta la velocidad de fraguado y desarrollo de resistencia en el concreto. Muchas substancias son conocidas por actuar como acelerantes para concreto, incluyendo formato de calcio, cloruro de aluminio, carbonato de potasio, cloruro de sodio, y cloruro de calcio. De éstos, el cloruro de calcio es el más ampliamente utilizado por varias décadas, y de aquí que se le llame "El Rey de los Acelerantes". El cloruro de calcio es también un constituyente importante de muchas formulas de aditivos de compuestos múltiples y es también un componente de sales para deshielo. En la Unión Soviética, el agregado de grandes cantidades de cloruro de calcio y sodio (22.5% por peso de agua) han sido apoyadas para rebajar el punto de congelación del agua agregada al concreto (1).

El cloruro de calcio se ha utilizado como aditivo de más tiempo atrás que muchos otros. El primer uso documentado de cloruro de calcio en el concreto se puede remontar al año 1873 (2) y la primer patente al año 1885 (3). Antes de 1900, había únicamente siete publicaciones concernientes del uso de cloruro de calcio en cemento Portland, pero desde entonces la literatura ha crecido substancialmente. El interés en este ingrediente es evidente dada la elaboración de innumerables trabajos de investigación, patentes, comentarios, capítulos en libros y simposios; se ha publicado un libro recientemente exponiendo la ciencia y tecnología concerniente al uso de cloruro de calcio en el concreto (4).

## FUNCIONAMIENTO DEL CLORURO DE CALCIO

El concreto debe satisfacer muchos requisitos de funcionamiento. La adición de cloruro de calcio promueve ciertas propiedades deseadas y afecta a otras (Tabla I).

El uso más importante de cloruro de calcio como un ingrediente en concreto se relaciona con su habilidad de reducir los tiempos de fraguado iniciales y finales del concreto y la aceleración del endurecimiento. Desde el punto de vista práctico, esto significa reducción en el período de curado y reducción del tiempo durante el cual el concreto debe ser protegido del frío, operaciones de acabado más rápidas, y disponibilidad más rápida para el uso. En la figura No. 1 (5) se indica la influencia de diferentes cantidades de cloruro de calcio en los tiempos de fraguado inicial y final de una pasta de cemento simple. Como se puede ver en la figura, a como aumenta la cantidad de cloruro de calcio agregado, los períodos de fraguado se reducen. Cantidades excesivas (por ejemplo 4%), en cambio, causan un fraguado demasiado rápido, y son evitadas. La figura No. 2 se refiere al desarrollo de resistencia en concretos hechos con 2%  $\text{CaCl}_2$  y curado durante 28 días a una temperatura de  $21.1^\circ\text{C}$  ( $70^\circ\text{F}$ ) (6). Todos los concretos muestran considerable ganancia en resistencia a edades tempranas. También es obvio que se logre únicamente en 1 1/2 días para concretos con  $\text{CaCl}_2$  para desarrollar la resistencia que puede adquirirse únicamente a los tres o tres y medio días en el concreto de referencia que no contiene  $\text{CaCl}_2$ . Aunque es evidente que hay una ganancia de resistencia en concretos con  $\text{CaCl}_2$ , no es fácil pronosticar en términos cuantitativos. Aun manteniendo el mismo contenido de cemento, cantidad de  $\text{CaCl}_2$ , aire y revenimiento, no se puede asegurar una influencia similar de  $\text{CaCl}_2$ , sobre las características de resistencia. Por ejemplo, 13 cementos obtenidos de diferentes procedencias fueron curados por un período de 7 a 28 días en presencia de  $\text{CaCl}_2$ . El cloruro de calcio causó un aumento moderado de resistencia a la compresión en 11 de los 13 cementos. A los 28 días las resistencias a la compresión en 9 de los 13 cementos conteniendo  $\text{CaCl}_2$  eran menos que las resistencias a la compresión de sus revolturas de referencia correspondientes (7).

El comportamiento de un concreto conteniendo cloruro de calcio puede razonablemente ser pronosticado únicamente cuando los efectos a corta y larga variación se han establecido. Dichos conocimientos permiten el uso juicioso de aditivos. Originalmente la ciencia de los aditivos era del conocimiento sólo de especialistas. Con los avances de la tecnología en construcción, sin embargo, y las nuevas y siempre crecientes demandas sobre el constructor, ingeniero y arquitecto, es necesario que todos los involucrados en la construcción tengan mucho conocimiento tanto de aditivos y sus efectos como de los cementos, agregados, o del agua de revoltura.

En comparación con muchos otros aditivos complicados, el cloruro de calcio es relativamente más sencillo en términos de su naturaleza química y física. Parecería ser, entonces que su reacción en la hidratación del cemento sería fácil de comprender. Una aseveración de la investigación en varias de las últimas décadas ha revelado que hay poca justificación para esta presunción. No únicamente hay mucha polémica referente al mecanismo actual de la reacción del

TABLA I  
ALGUNAS PROPIEDADES INFLUENCIADAS POR EL USO DEL  
ADITIVO CLORURO DE CALCIO EN EL CONCRETO

No.	Propiedad	Efecto General	Observaciones
1.	Fraguado	Reduce ambos, tiempo de fraguado inicial y final.	El estándar ASTM requiere que el tiempo inicial y final de fraguado ocurra al menos 1 hora antes con respecto al del concreto de referencia.
2.	Resistencia a la Compresión	Aumenta significativamente la resistencia a la compresión en los primeros tres días del curado (ganancia puede ser de 30-100%).	El estándar ASTM requiere un aumento mínimo de 125% sobre el concreto control a los tres días. De 6-12 meses, el requisito es de únicamente 90% sobre el espécimen control.
3.	Resistencia a la Tensión	Una disminución ligera a los 28 días.	-
4.	Esfuerzo de Flexión	Una disminución de 10% a los 7 días.	Esta cifra puede variar dependiendo de los materiales iniciales y el método del curado. La disminución puede ser más a los 28 días.
5.	Calor de Hidratación	Un aumento de un 30% en 24 horas.	La cantidad total de calor durante períodos más largos es casi el mismo que ese desarrollado por el concreto de referencia.
6.	Resistencia a los Sulfatos	Reducida.	Esto se puede sobrellevar por medio del uso del cemento Tipo-V con ingredientes incluyentes de aire adecuados.
7.	Reacción entre Alcalis y Agregados	Aumentada.	Puede ser controlada utilizando cemento bajo en contenido alcalino o puzolana.

TABLA I (Cont...)

No.	Propiedad	Efecto General	Observaciones
8.	Corrosión	No causa problemas en concreto normal reforzado, si se toman las precauciones adecuadas.	El cloruro de calcio no debe utilizarse en concreto precolado o en concreto contenido una combinación de metales disimilares.
9.	Tracción y Flujo	Aumentado.	-
10.	Cambio Volumétrico	Se reporta un aumento de 0-15%.	-
11.	Resistencia a daños causados por congelamiento y deshielo.	Resistencia mejorada en edades tempranas.	Con más edad puede haber menos resistencia contra el ataque del hielo.

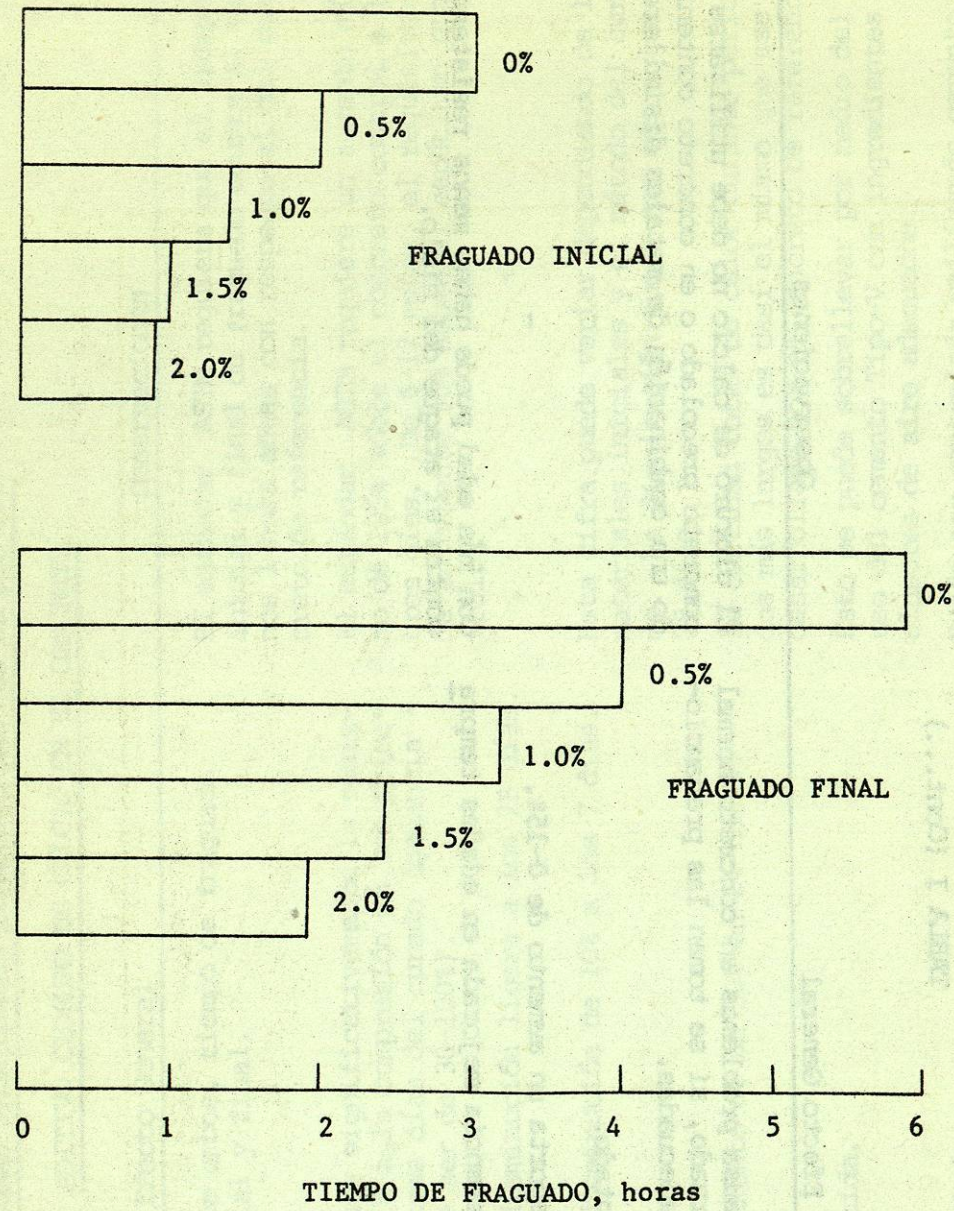


Fig. 1.- Los tiempos de fraguado iniciales y finales de una pasta de cemento conteniendo diferentes cantidades de cloruro de calcio (5).

cloruro de calcio, persisten también los falsos conceptos y desacuerdos sobre sus efectos y el uso en el concreto. En lo siguiente, se intentará discutir algunos de estos aspectos desde el punto de vista de un químico; el uso de ecuaciones químicas complicadas se ha excluido deliberadamente.

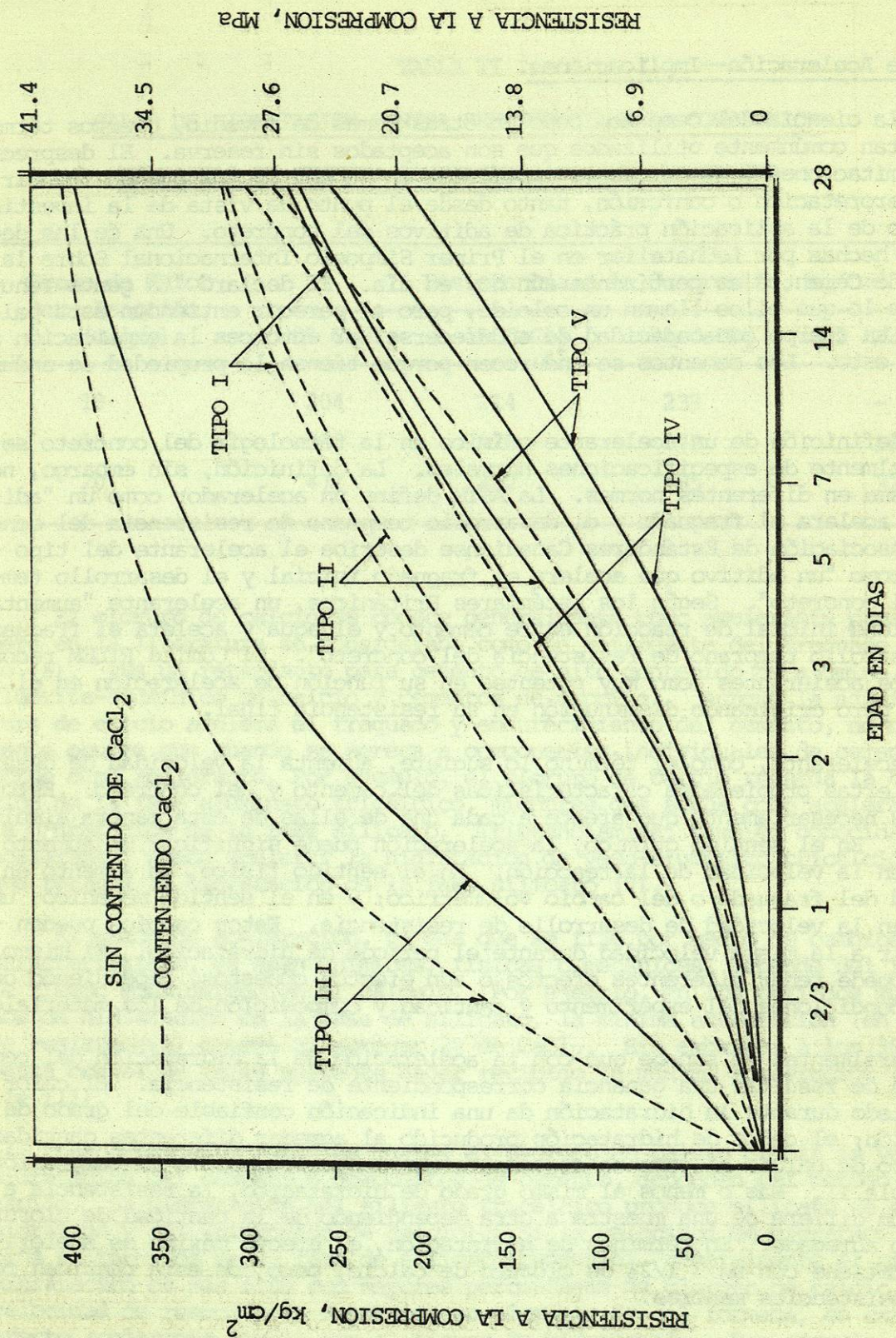


Fig. 2.- Efecto del Cloruro de Calcio sobre el Desarrollo de Resistencia en Concretos hechos con diferentes tipos de cemento (6).