



UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**UNIVERSIDAD MICHUACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

“ LA EFLORESCENCIA EN EL CONCRETO HIDRAULICO ”

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA
ARTURO LOPEZ AGUIRRE**

**ASESOR
ING. ALEJANDRO PERALTA ARNAUD**

MORELIA MICHUACAN, OCTUBRE 2006



CON AGRADECIMIENTO

A DIOS

Por darme la oportunidad de vivir y lograr esta meta tan importante en mi vida.

A MI MADRE

Maria de la luz Aguirre Quiroz.

Por su amor, comprensión y apoyo que siempre me ha brindado, que a pesar de los obstáculos que llegue a tener, siempre me dio para lograr mis metas.

A MI NOVIA

Diana Erika López Cerriteño.

Porque gracias a su valioso apoyo y amor, pude lograr concluir la presente tesis.

A MIS HERMANAS

Zaybet, Judith, Daniela, Lulu y Fernanda.

Porque siempre he contado con su apoyo y cariño.

A MIS AMIGOS

Por su valiosa amistad, en especial a Fernando y Joel por su gran apoyo y siempre conté con ellos.

A MI ASESOR

Ing. Alejandro Peralta Arnaud, porque desde el inicio de la realización de mi tesis, siempre pude contar con su valioso apoyo.

A MI AMIGO

Ing. Víctor Manuel Ayala, en su memoria.

Por su gran amistad y la de su familia, gracias por sus consejos, siempre estará presente en mi vida.

A LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UMSNH

Por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales dentro de la misma.



ÍNDICE

1. Introducción.
2. Proceso de la elaboración del cemento.
 - 2.1 Materias primas
 - 2.2 Trituración.
 - 2.3 Prehomogeneización.
 - 2.4 Molienda del polvo crudo.
 - 2.5 Homogenización del polvo crudo.
 - 2.6 Calcinación.
 - 2.7 Almacenamiento de clinker.
 - 2.8 La transformación del clinker.
 - 2.9 Envase y embarque.
3. Formación de las eflorescencias.
 - 3.1 Eflorescencias debidas a difusión de la cal.
 - 3.2 Eflorescencias provocadas por los movimientos del agua en el concreto.
4. Ejemplos de diversos tipos de eflorescencias.
 - 4.1 Eflorescencias y variaciones de color en el concreto recién colado.
 - 4.2 Eflorescencias que se producen durante un curado con vapor heterogéneo.
 - 4.3 Eflorescencias que se producen durante el almacenamiento.
 - 4.4 Eflorescencias estrechamente relacionadas con las condiciones térmicas y humedad.
 - 4.5 Resultados experimentales.
5. Problemas de eflorescencias en el concreto.
 - 5.1 Causas.
 - 5.2 Cuando hay que preocuparse.
 - 5.3 La función del agua.
 - 5.4 La eflorescencia debida a difusión de hidróxido de calcio a través del concreto.
 - 5.5 Eflorescencia en productos de concreto.



-
- 5.6 Ocurrencia.
 - 5.7 Origen de la cal.
 - 5.8 Eflorescencia debida a la cal.
 - 5.9 Depósitos de cal.
 - 5.10 Efectos decolorantes de la cal.
 - 5.11 Incrustaciones de cal.
 - 5.12 Factores que afectan los orígenes de la eflorescencia.
 - 5.13 Composición del concreto.
 - 5.14 La temperatura y las condiciones climáticas.
 - 5.15 Cimbras.
 - 5.16 Agentes utilizados en el descimbrado.
 - 5.17 Momento de retirar las cimbras.
 - 5.18 Filtración de agua, curado y edad del concreto.
 - 5.19 Porosidad y capilaridad.
6. Exposición al agua de mar.
 - 6.1 Carbonatación.
7. Soluciones.
 - 7.1 Como evitar la eflorescencia.
 - 7.1.1 Para evitar la eflorescencia, particularmente en las regiones húmedas siga estos pasos.
 - 7.1.2 Como quitar la eflorescencia
 - 7.1.3 Remedios.
 - 7.2 Eliminación de la eflorescencia y de los depósitos de cal.
 - 7.3 Eliminación y prevención de incrustaciones de cal.
8. Conclusiones.
- Bibliografía.



1.-INTRODUCCION.

Las eflorescencias son depósitos irregulares de color blanquecino claro que se forman ocasionalmente en la superficie del concreto. Están constituidas esencialmente por microcristales de cal hidratada Ca(OH)_2 proveniente de las reacciones de hidratación del cemento, la cual, al entrar en contacto con el gas carbónico del aire, se transforma en carbonato de calcio. Con mucha frecuencia este carbonato, que puede ser considerado como prácticamente insoluble en el agua, al contrario de la cal Ca(OH)_2 (cuya solubilidad no es despreciable), explica la tenacidad de las eflorescencias. Estos depósitos no perjudican las cualidades mecánicas del concreto; sin embargo, cuando se forman sobre un concreto exterior coloreado, cuyo aspecto sufre alteraciones locales, pueden constituir un serio problema estético.

A pesar de todo el cuidado que se tenga en el proporcionamiento de mezcla y en la elaboración del concreto, a veces las superficies expuestas del concreto arquitectónico, los elementos prefabricados y los productos del concreto, son afectados por cambios conocidos generalmente como eflorescencia o fluorescencia causada por la cal. Con frecuencia el tiempo transcurrido antes de que este fenómeno se manifieste varía bastante; es posible que ocurra después de un día; pero es más común al cabo de algunos días posteriores al retiro de las cimbras o moldes, y algunas veces hasta pasadas algunas semanas o meses, o (en casos raros) incluso después de algunos años. La eflorescencia en el concreto es una mancha que afecta su aspecto y que se agrava cuando adicionalmente se depositan partículas de suciedad sobre la superficie, las cuales provocan que la lluvia, al correr por la superficie del edificio, causa desagradables



manchas de cal y suciedad. Ciertamente estos fenómenos no son más que defectos estéticos, pero difícilmente aceptados por el propietario de la construcción.

Los estudios emprendidos por el CERIB, que han sido motivo de varias publicaciones tienen por objeto conocer los factores que intervienen de manera preponderante entre los numerosos parámetros discutidos. Estos estudios son lo suficientemente completos para que en la actualidad sea posible hacer una síntesis y extraer las reglas principales que controlan el proceso de formación de las eflorescencias. Se trata de un fenómeno bastante complejo por lo cual debe tenerse cuidado de formular explicaciones demasiado simplistas. Todos sabemos que, para fabricar un concreto de buena calidad, es necesario observar cierto número de reglas del arte respecto a su composición, compactación, etc. No basta con utilizar un aditivo para transformar un concreto malo en uno bueno. Es más, en el estado actual de la técnica, no hay que confiar demasiado en resolver el problema de las eflorescencias con la intervención de algún milagroso polvo hipotético. Más bien hay que dedicarse a entender bien el fenómeno y, con base en este conocimiento, por lo general será posible llegar a la solución más adecuada para cada caso particular.

La mejor manera de prevenir esta eflorescencia es evitar la humedad cuando sea posible, usar una puzolana para que reacciones con el hidróxido de calcio soluble, utilizar mezclas debidamente proporcionadas, consolidadas y curadas que producirán un concreto impermeable y evitarán las grietas, para que el agua no pueda pasar a través.



2.-PROCESO DE LA ELABORACION DEL CEMENTO.

2.1.-MATERIAS PRIMAS.

La caliza y la pizarra se obtienen de canteras cercanas a las fábricas. Las canteras son propiedad de la cooperativa. El caolín es una arcilla con alto contenido de alúmina que se utiliza para la fabricación del cemento blanco.

CALIZA

Se encuentra en las capas superficiales de muchos cerros y montañas, en depósitos de profundidad variable, los hay de más de 200 metros. Para la fabricación de cemento se sacan volúmenes muy grandes porque la caliza representa el 80% de las materias primas que forman el clínker. Por eso conviene que esté cerca de la planta; de no ser así el costo del cemento elevaría demasiado por la razón del acarreo.

Primero se explora el cerro para conocer el volumen y saber el grado de pureza del material que se va a explotar. El análisis químico permite conocer la cantidad de una cantera de caliza. Se considera buena la que tiene carbonato de calcio en un 95% o más. Abajo de 90% ocasiona problemas.



PIZARRA

Se les llama "pizarra" a las arcillas constituidas principalmente por óxidos de silicio de un 45 a 65%, por óxidos de aluminio de 10 a 15%, por óxidos de fierro de 6 a 12% y por cantidades variables de óxido de calcio de 4 a 10%. Es también la principal fuente de álcalis. La pizarra representa aproximadamente un 15% de la materia prima que formará el clínker. Como estos minerales son relativamente suaves, el sistema de extracción es similar al de la caliza, sólo que la barrenación es de menor diámetro y más espaciada, además requiere explosivos con menor potencia.

Debido a que la composición de éstos varía de un punto a otro de la corteza terrestre, es necesario asegurar la disponibilidad de las cantidades suficientes de cada material.

SILICE

Eventualmente se agregan arenas sílicas que contienen de 75% a 90% de sílice, para obtener el óxido de silicio requerido en la mezcla cruda. La Cruz Azul posee jales de sílice de Tlapujahua, Mich., los jales son un desecho de las minas, rico en óxido de silicio.

HEMATINA

Al material que aporta mineral de fierro se le llama "hematina", aunque pueden ser diversos minerales de fierro o escoria de laminación. La hematina contiene entre 75 y



90% de óxido férrico. Con estos minerales se controla el contenido de óxido férrico de la mezcla. La hematita constituye entre el 1 y 2% de la mezcla cruda.

CAOLÍN

El caolín es una arcilla con alto contenido de alúmina que se utiliza para la fabricación del cemento blanco. La Cruz Azul emplea caolín de varios yacimientos, los principales son: El Carbonero, Ver., al norte del edo. de Hidalgo, de El Carmen, Hgo. y del Yacimiento Villa de Reyes, en S.L.P.

2.2.-TRITURACIÓN.

Todo el material necesita reducirse al tamaño máximo de $\frac{3}{4}$, para que pueda alimentar a los molinos, de manera que es preciso triturar las grandes rocas resultantes de las voladuras de caliza.

En la cantera se encuentran el departamento de trituración primaria y secundaria, de donde se transporta material a los respectivos patios de alimentación.

2.3.-PREHOMOGENEIZACIÓN.

La prehomogeneización se lleva a cabo mediante un sistema especial de almacenamiento y recuperación de los materiales triturados, de tal forma que el material resultante se uniforma en distribución de tamaño y composición química.



De los patios de prehomogeneización los minerales son transportados por medio de sistemas de bandas, y descargados a tolvas, las cuales alimentan a los poidómetros para dosificar los materiales.

Los poidómetros son mecanismos que tienen una banda giratoria bajo la cual hay una báscula electrónica. Si cae por material, la velocidad de la banda aumenta y viceversa.

Una vez triturada, prehomogeneizadas y dosificadas, las materias primas alimentan a los molinos de crudo.

2.4.-MOLIENDA DE POLVO CRUDO.

La molienda de se realiza para facilitar la reacción química de los materiales en el horno. En los molinos se hace un muestreo a cada hora, se verifica la composición química mediante análisis por rayos X, y con tamices se comprueba la finura del polvo.

El resultado del análisis indica si es preciso ajustar la dosificación y finura, ya que la mezcla cruda necesariamente debe conservar cierta relación entre los óxidos de silicio, aluminio, fierro y calcio.

Se lleva un estricto control químico, además, las partículas de caliza no deben ser mayores de 125 micras y las de cuarzo no deben medir más de 45 micras para garantizar una operación normal del horno. Si la mezcla de polvo crudo no fuera uniforme, la operación del horno sería inestable y tendería a enfriarse o a calentarse demasiado, lo que obligaría a ajustar la velocidad o el flujo de combustible.



2.5.-HOMOGENEIZACION DEL POLVO CRUDO.

El producto de la molienda se lleva a un silo homogeneizador, donde un sistema neumático mezcla el material para mejorar su uniformidad, y lo deposita en los silos de almacenamiento. De los silos sale a una tolva de nivel constante que lo transporta a la parte más alta de la unidad de calcinación.

2.6.-CALCINACIÓN.

La unidad de calcinación consta de cuatro zonas; secado, precalentamiento, precalcinación y clinkerización.

- ❖ El secado implica la evaporación de la humedad de la materia prima a una temperatura de 110° C.
- ❖ El precalentador aumenta la capacidad de la unidad de calcinación ahorra energía y reduce el dióxido de carbono que sale a la atmósfera.
- ❖ La temperatura de calcinación es de 1450° C. El polvo calcinado y convertido en clínker pasa al enfriador, donde se le inyecta aire a presión que lo enfría hasta 40° C.



CONTROL AMBIENTAL

El control ambiental en las plantas de la Cruz Azul se orienta al cuidado del aire. La fábrica de cemento, por su naturaleza, no ocasiona contaminación del agua. Las emisiones de polvo se controlan mediante ciclonetas, colectores de bolsa y electrofiltros. Las ciclonetas precipitan el polvo y liberan los gases durante el enfriamiento del clinker, hay colectores de polvo en los aereadores, los silos y a lo largo de los deslizadores. Finalmente, los últimos residuos de polvo van a los electrofiltros, que controlan las emisiones de los precalentadores y unidades de calcinación y molienda.

Los cambios físicos y químicos son graduales. Cuando el polvo crudo entra a la cuarta zona del horno cambia su composición química en una suma de compuestos que se llama clínker.

La palabra clínker procede del inglés y significa "escoria". Se define clínker como el producto artificial obtenido por la sinterización de los crudos correspondientes, es decir, por la calcinación y sinterización de los mismos a la temperatura y durante el tiempo necesario, y por enfriamiento adecuado, a fin de que dichos productos tengan la composición química y la constitución mineralógica requerida. Los crudos de clínker Pórtland son mezclas suficientemente finas, homogéneas y adecuadamente dosificadas a partir de las materia primas que contiene cal (CaO), sílice (SiO₂), alúmina (Al₂O₃), óxido férrico (Fe₂O₃) y pequeñas cantidades de compuesto minoritarios, los cuales se clinkerizan.



El producto de la calcinación debe tener una composición química predeterminada. No debe haber exceso de cal porque aparecería como cal libre en el cemento y hacer un concreto produciría expansiones y grieta. Sería un cemento insano. Es importante, por ende, evitar la cal libre mediante la correcta dosificación de las materias primas y una clinkerización a la temperatura adecuada, (1450° C).

2.7.-ALMACENAMIENTO DE CLINKER.

El clinker frío se almacena a cubierto, de donde se conduce a la molienda final en la combinación con yeso, puzolana, caliza y otros aditivos, según el tipo de cemento que se pretenda obtener.

2.8.-LA TRANSFORMACIÓN DE CLÍNKER EN CEMENTO.

Para producir cemento se pulveriza el clíinker, y se le agrega yeso como retardador del fraguado y la puzolana natural, que es un material volcánico, la cuál contribuye a la resistencia del cemento.

Para producir cemento se parte del clíinker. Al material proveniente de la pulverización de clíinker se le agrega yeso sin calcinar, así como otros materiales que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento y obtener uno de los tipos de cemento que se refiere a la Norma Mexicana.



El yeso que se mezcla funciona como retardador del fraguado. La combinación de clínker y yeso alcanza una proporción óptima. Es decir, para obtener un cemento con mayor resistencia se requiere agregar el yeso necesario solamente.

Cierta relación de clínker y yeso ofrecen una resistencia inicial un día después de fraguar. Para mejorar resistencia a los 28 días la proporción debe ser otra.

YESO

El yeso que usa la Cruz Azul es el sulfato de calcio dihidratado. Es decir, un yeso natural, porque también hay yesos sintéticos. El yeso para hacer cemento necesita ser muy puro. La Cruz Azul lo consigue con valores que oscilan entre 80 y 90% de pureza. Se suministra de los estados de Morelos y de Puebla, donde hay yacimientos enormes.

PUZOLANA

Hay puzolanas naturales y artificiales, hechas a base de arcillas activadas. La puzolana natural es un material volcánico. Se utiliza en la elaboración del cemento por la contribución a las resistencias mecánicas y al ataque de agentes agresivos del medio; aunque la puzolana por sí sola no tiene propiedades hidráulicas, combina su contenido de sílice con la cal que libera el cemento al hidratarse, para formar compuestos con propiedades hidráulicas.



PROCESO FÍSICO – QUÍMICO

La transformación del polvo crudo en clínker es un proceso donde ocurren cambios físico – químicos.

En general, el proceso de fabricación de cemento implica las siguientes reacciones, que se efectúan dentro de la unidad de calcinación.

El secado implica la evaporación de la humedad de la materia prima a una temperatura de 110° C.

La deshidratación se da a temperaturas mayores de 450° C, y significa la pérdida del agua químicamente unida a compuestos tales como algunas arcillas y agregados.

A los 900° C la caliza se descompone en cal viva (CaO) y dióxido de carbono (CO₂). Esta cal está lista para reaccionar y debe ser tratada rápidamente a la zona de clinkerización.

Los óxidos de fierro comienzan a reaccionar con la cal y la alúmina, para formar ferroaluminato tetracálcico líquido a la temperatura de 1300° C, a la que se disuelven los minerales, incrementando la reacción entre ellos.

A los 1338° C los materiales disueltos en el ferroaluminato tetracálcico (C₄AF) reaccionan, formando todo el silicato dicálcico (C₂S).



El aluminato tricálcico (C3A) se termina de formar a los 1400° C. la cal que se encuentra en exceso reacciona con parte del silicato dicálcico (C2S) para formar silicato tricálcico (C3S)

El precalentador aumenta la capacidad de la unidad, ahorra energía y para el cuidado del medio ambiente, reduce la emisión del dióxido de carbono a la atmósfera.

La temperatura de calcinación es de 1450° C. ese calor se debe mantener constante en la zona de calcinación del horno para que se lleven a cabo las reacciones químicas.

El polvo calcinado y convertido en clínker pasa el enfriador, donde llega con una temperatura aproximadamente de 1000° C. en el enfriador, por medio de aire a presión se logra bajar la temperatura del clínker hasta los 40° C.

Parte del aire que se calienta al contacto con el clínker se aprovecha para incrementar la eficiencia de los precalentadores, el que tiene baja temperatura se va a la atmósfera a través de un colector de residuos que disminuye la emisión de polvo a la atmósfera.

CONTROL DE CALIDAD

En la fabricación de cemento se lleva un riguroso control de calidad. Para tal efecto la Cruz Azul cuenta con un laboratorio con equipo de alta tecnología. Se trata de instrumentos aplicables a las distintas fases del proceso, desde la materia prima en los yacimientos. Los productos intermedios y los diferentes tipos de cemento que son elaborados.



CONTROL QUÍMICO

Mezcla cruda. Para efectuar el control químico de la mezcla cruda la planta cuenta con un equipo de espectrometría de rayos X automático.

Para cumplir con las necesidades de control y particularmente para conocer la composición con la exactitud y rapidez que se requiere, se toman muestras cada hora en las unidades de molienda de crudo, en función de éstas se modifican las proporciones de caliza, pizarra, sílice y hematita.

Clínker. Para evaluar la calidad del clínker también se emplea el análisis por Rayos X. A partir de su composición química se calculan los compuestos potenciales, como silicatos y aluminatos de calcio.

CONTROL FÍSICO

Las pruebas de resistencia a la compresión, sanidad y tiempos de fraguado inicial y final, se realizan diariamente.

Durante la molienda de cemento, cada hora se toma una muestra para la determinación del blaine, que provee un valor de la finura del cemento. Esta prueba tiene unidades de medida de cm^2/g . los cementos tipo II modificado (CPO 30 R) y tipo II con Puzolana (CPP 30 R) alcanzan finuras del orden de los 3,500 a 4,500 cm^2/g .



Se cuenta con otros equipos e instrumentos empleados para el control de los tamices para medir la finura; prensa, para medir la resistencia a la compresión; balanzas; reactivos químicos para análisis y elaboración de estándares.

Otros equipos como Emisión de Plasma y Absorción Atómica se utilizan como apoyo en la elaboración de estándares.

INVESTIGACIÓN

La Cruz Azul adquiere constantemente nuevos conocimientos. La investigación permite conocer con mayor profundidad las propiedades con mayor profundidad las propiedades de cada compuesto y entender mejor qué sucede durante el proceso de producción e hidratación del cemento.

Así como el estudio de un mineral permite indagar su origen, también es posible saber la historia del clínker. Observándolo al microscopio los investigadores estiman qué materiales fueron empleados para su elaboración, si las partículas eran heterogéneas, si estaban muy gruesas, y qué tan rápido se enfrió. La morfología del cristal también influye la actividad de los cementos.

Con el Cilas, equipo que permite determinar la distribución de tamaños de las partículas en el cemento, sirve como punto de partida para definir las condiciones de operación de las unidades de molienda.



La investigación desarrolla métodos más efectivos y eficientes para obtener un cemento de mayor calidad. Los resultados también permiten usar mejor los recursos y pueden beneficiar el costo, por eso es preciso seguir haciendo investigación.

CONTROL AMBIENTAL

El cuidado del medio ambiente importa, por la salud de los trabajadores y de la población del lugar, y además porque ayuda a preservar el equilibrio ecológico.

El control ambiental en las plantas de la Cruz Azul en Hidalgo, Oaxaca y Aguascalientes se orienta al cuidado del aire. La fábrica de cemento, por su naturaleza, no ocasiona contaminación del agua.

Las normas ecológicas son cada vez más estrictas y hay que invertir un porcentaje considerable, en proporción del costo de cada planta, en equipos anticontaminantes.

Las emisiones de polvo se controlan mediante ciclónicas, colectores de bolsa y electrofiltros. Las ciclónicas precipitan el polvo y liberan los gases durante el enriamiento del clínker. Hay colectores de bolsa en los aereadores, los silos y a lo largo de los deslizadores. Finalmente, los últimos residuos de polvo van a los electrofiltros, que controlan las emisiones de los precalentadores y unidades de molienda.

Los electrofiltros de los precalentadores se completan con la torre de enfriamiento para aumentar su eficiencia. Operan mediante electrodos de emisión y precipitación. El polvo se ioniza con cargas negativas, los electrodos los atraen y precipitan para coleccionarlos en el fondo y evitar su emisión a la atmósfera.



2.9.-ENVASE Y EMBARQUE.

De los silos que almacenan los diferentes tipos de cemento o mortero parten unos ductos para sacar el producto y llevarlo, en uno de los casos, hacia la ensacadora; en otro hacia la Terminal de carga para la entrega a granel.

El transporte se realiza generalmente por carretera, por medio de camiones y de trailers. Las plataformas de estos vehículos reciben la carga de bultos mediante estibadoras automáticas. Paletizadoras Beumer y Autopac, que operan en la planta Cruz Azul, Hidalgo, en Lagunas, Oaxaca y 2 Paletizadoras Beumer en Tepezalá , Ags.

El cemento a granel se distribuye en trailers equipados de contenedores especiales que se presurizan para descargar el cemento, o bien, se envía por ferrocarril desde la planta de Lagunas, Oaxaca.



3.-FORMACIÓN DE LAS EFLORESCENCIAS.

Pueden distinguirse dos procesos diferentes que provocan el aumento de cal en la superficie; desplazamiento por difusión del concreto en el agua y desplazamiento debido al "drenado" del agua en la superficie. En el primer caso, el agua está inmóvil; en el segundo, es puesta en movimiento por diversas fuerzas (particularmente fuerzas capilares)

3.1.-EFLORESCENCIAS DEBIDAS A DIFUSION DE LA CAL.

El agua que impregna al concreto está saturada de cal. En la interfase agua-aire, el gas carbónico contenido en el aire reacciona con la cal para formar carbonato de calcio, compuesto muy poco soluble que se precipita en la superficie del agua. Para conservar el equilibrio se produce necesariamente una migración de la cal en solución dentro de los poros hacia la superficie, así como la disolución de una nueva cantidad de cal. En teoría, el fenómeno puede repetirse hasta que toda la cal contenida en el concreto sea transportada a la superficie, pero acabada por detenerse a consecuencia del taponamiento de los poros.

Puede observarse que las eflorescencias provocadas por este mecanismo no necesitan de ningún movimiento de agua y puede de agua y pueden surgir, en particular, independientemente de cualquier evaporación en la superficie.



3.2.-EFLORESCENCIAS PROVOCADAS POR LOS MOVIMIENTOS DEL AGUA EN EL CONCRETO.

Los movimientos del agua en el concreto pueden presentarse bajo la influencia de:

- Fuerzas de presión hidrostáticas exterior (figura 1).
- Fuerzas debidas a la gravedad (figura 2).
- O fuerzas capilares (figura 3).



FIGURA 1. FUERZAS DE PRESION HIDROSTATICA EXTERIOR.

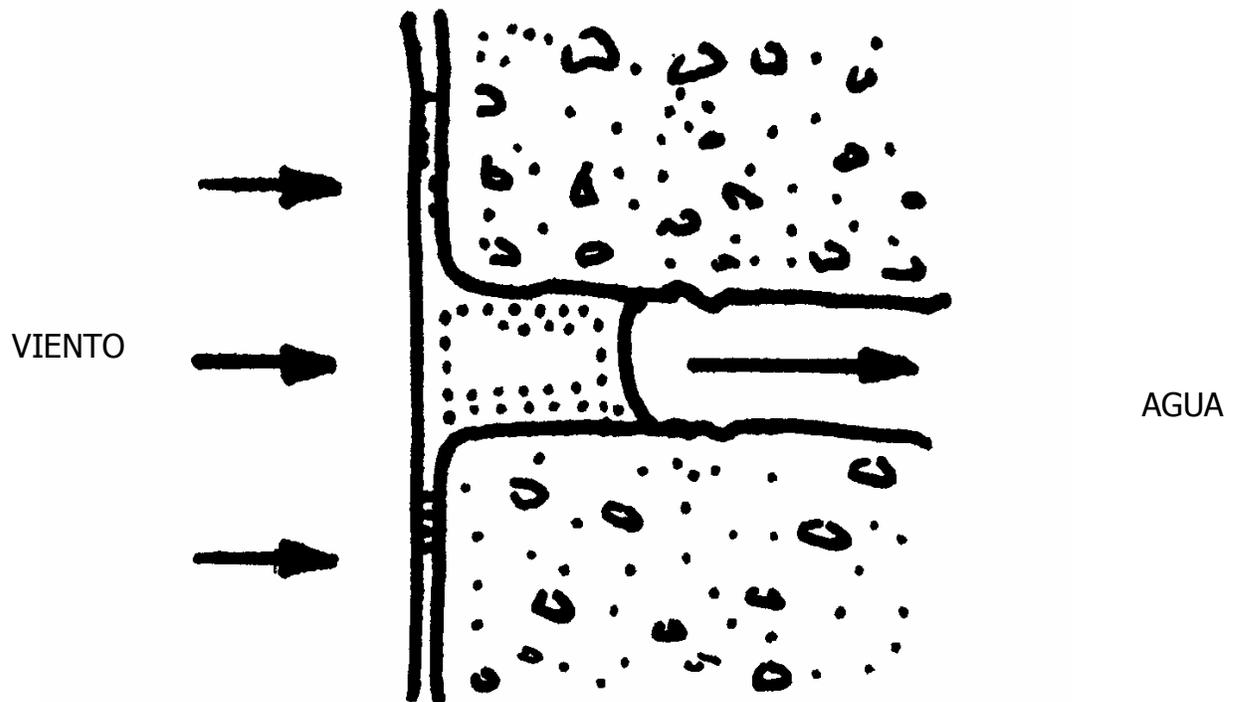




FIGURA 2. FUERZAS DEBIDAS A LA GRAVEDAD.

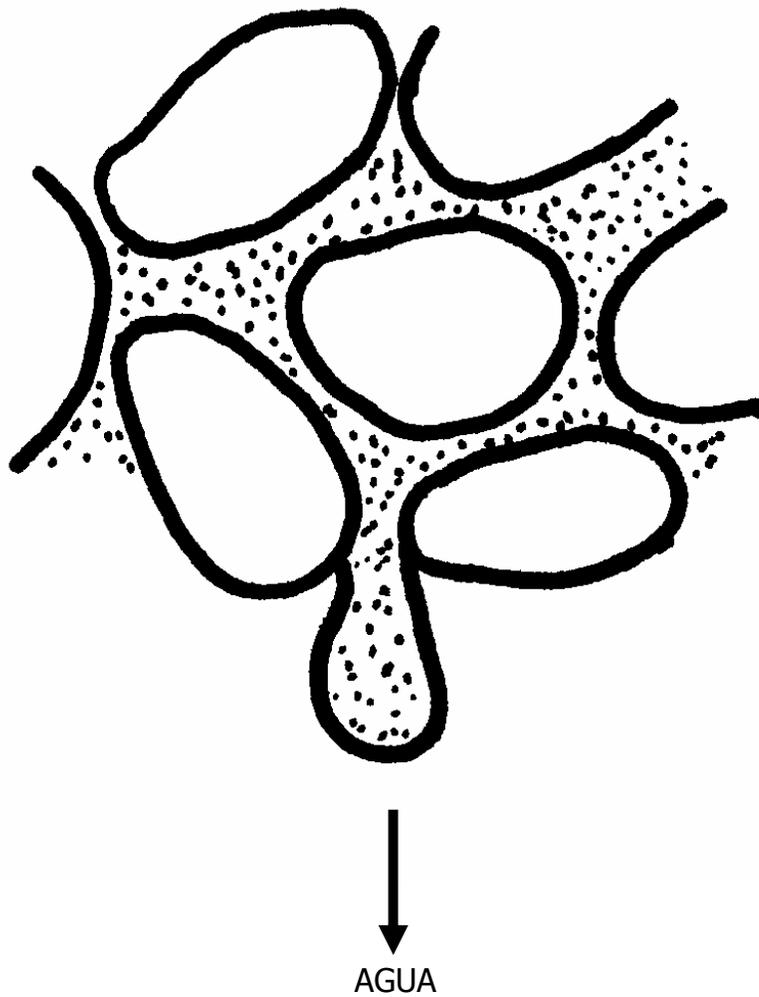
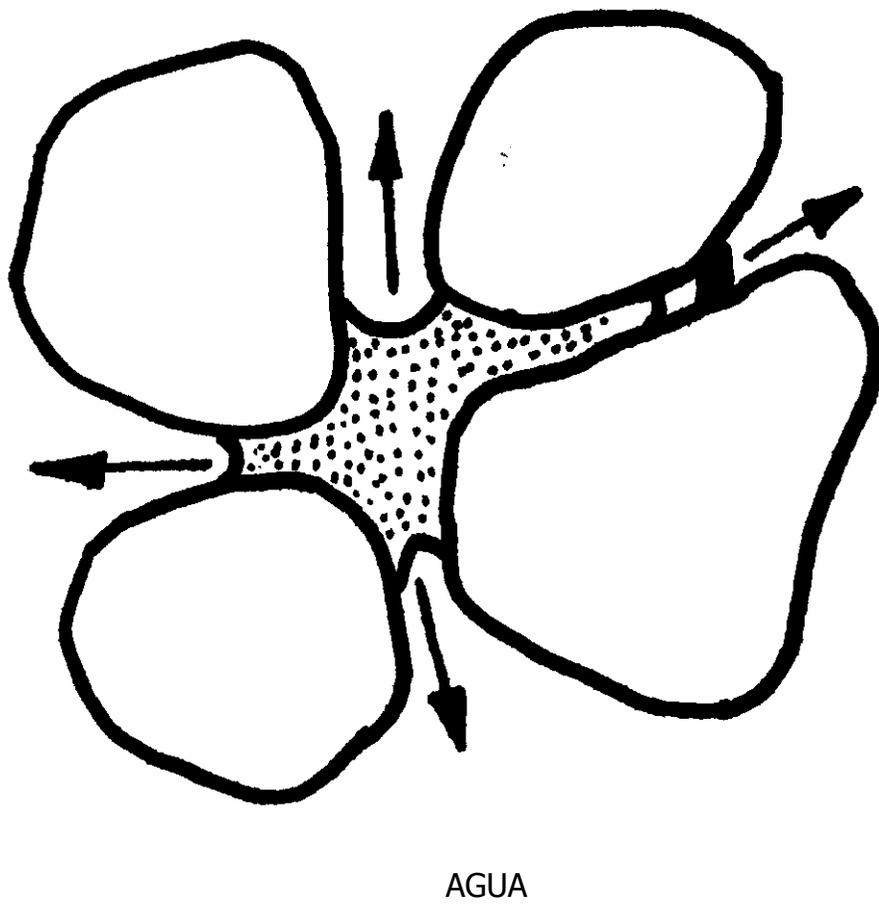




FIGURA 3. FUERZAS CAPILARES.





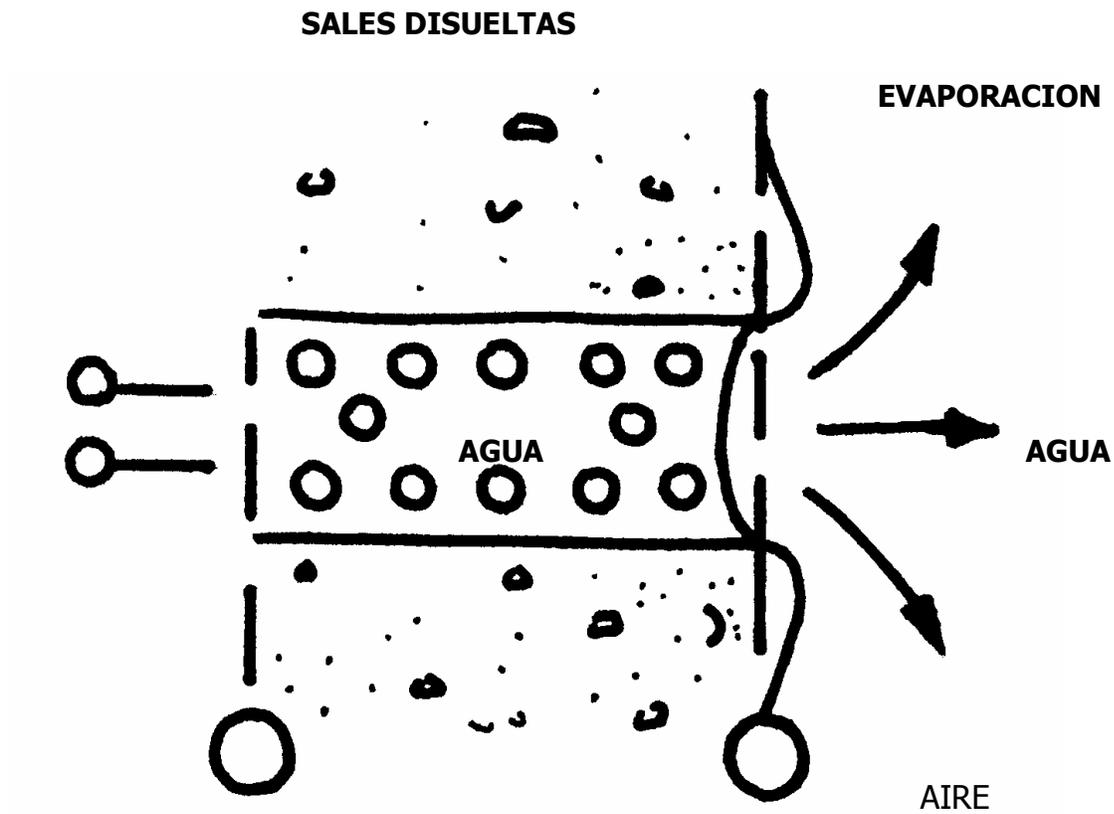
Los movimientos debidos a las presiones exteriores se efectúan en sentido paralelo a la presión; aquéllos provocados por las fuerzas debidas a la gravedad se efectúan en dirección vertical y las resultantes de las fuerzas capilares pueden ocurrir en cualquier dirección.

A los movimientos del agua bajo forma líquida, hay que asociar los movimientos en la fase vapor, es decir, la evaporación. Veamos cómo interfieren estos diversos fenómenos.

Consideremos esquemáticamente (figura 4) un poro como un capilar cilíndrico y supongamos una concentración uniforme de agua con sales disueltas en una profundidad suficiente grande a partir de la superficie de evaporación, de tal manera que el agua que entra por 1 tenga la misma composición que aquélla comprendida entre 1 y 2. La cantidad de sales disueltas que se deposita en al superficie deposita en al superficie de separación aire-agua (y que denominaremos "frente de evaporación") es, por lo tanto, igual a la concentración multiplicada por el flujo de vapor a la salida del capilar. De donde se puede formular una primera regla: la cantidad de sustancias disueltas que se deposita a nivel del frente de evaporación es proporcional al flujo de vapor.



FIGURA 4





A continuación trataremos de situar la posición de este frente de evaporación. Bajo un régimen estable y permanente, se sitúa donde el flujo de evaporación. Bajo un régimen estable y permanente, se sitúa donde el flujo de evaporación pueda estar compensado exactamente por el flujo de transmisión de agua bajo forma líquida. El flujo de vapor que pasa a través de una superficie se da conforme a la ley del FICK (6), la cual, en ciertos casos sencillos, permite un cálculo exacto. Esto no es posible cuando se trata del concreto, por lo que debemos recordar unos cuantos hechos que deben observarse normalmente:

El flujo del vapor aumenta a consecuencia de:

- ❖ La superficie de evaporación.
- ❖ La ventilación de la superficie.
- ❖ La temperatura.
- ❖ Y disminuye con la humedad relativa del ambiente.

La transmisión del agua líquida en el concreto puede hacerse conforme a dos procesos:

- ❖ Por permeabilidad bajo la influencia de las fuerzas de la gravedad o de una presión hidrostática.
- ❖ Por capilaridad bajo la influencia de las fuerzas capilares por lo general preponderantes respecto a las precedentes. La velocidad de desplazamiento del agua bajo la influencia de estas fuerzas diversas puede expresarse a las formas siguiente

$$V = A r^2 + B$$



Ecuación donde A y B representan las constantes dependientes del material y r el radio de los capilares.

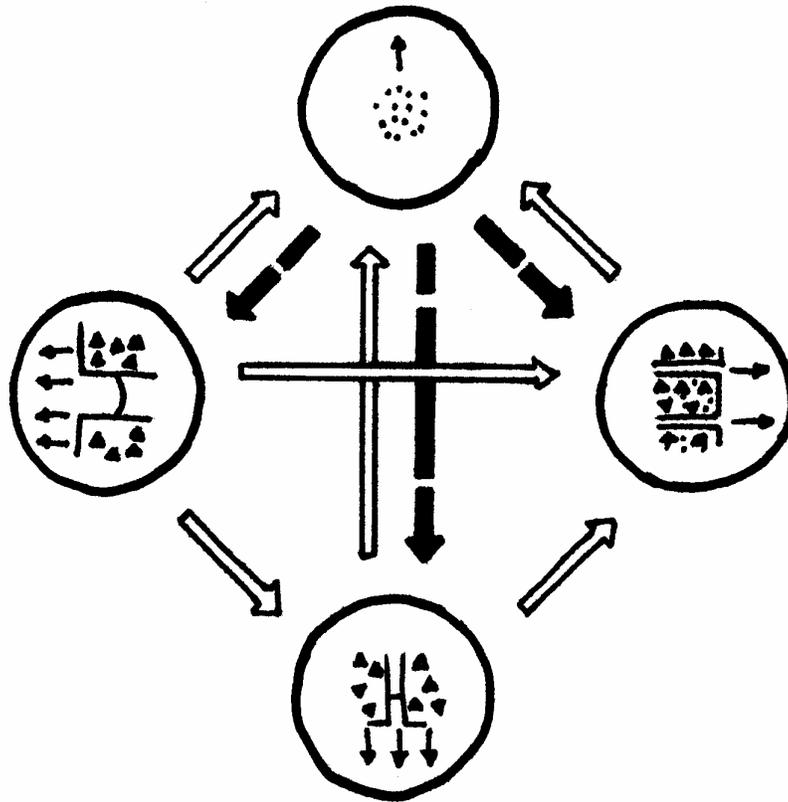
Por consiguiente, la velocidad del agua es menor a los pequeños capilares.

Por último, debemos señalar que en una red de capilares interconectados, el agua que se encuentra dentro de ellos se desplaza únicamente desde los capilares grandes hacia los más pequeños: el drenado de una clase dada de capilares no puede efectuarse sino mediante aquéllos de dimensiones inferiores.

Las consideraciones anteriores pueden resumirse conforme al esquema siguiente:



FIGURA 5. MUESTRA COMO SE EFECTUA EL SECADO.



DRENADO DEL AGUA POR CAPILARIDAD

DIFUSIÓN DE LA CAL

EVAPORACIÓN

POROS DE GEL

MICROPOROS INTERMEDIOS

CAPILARES

MACROPOROS



- En los poros grandes donde el flujo de vapor es elevado, el frente de evaporación se sitúa rápidamente bajo la superficie, ya que el agua que se evapora no puede ser renovada por drenaje capilar. Por el contrario, estos mismos poros alimentan a los capilares del tamaño inferior. Como consecuencia, y aun cuando el flujo de vapor sea importante en estas zonas, las sales se depositan principalmente en el interior del concreto.
- El frente de evaporación de los capilares de tamaño inferior se sitúa en la superficie del concreto mientras un poco de agua permanecerá dentro de los capilares más grandes y mientras que esta agua pueda desplazarse a una velocidad suficiente. Es obvio que los últimos capilares en quedar vacíos son los poros de gel. Sin embargo, como la cantidad de sal que se deposita en la superficie es proporcional al flujo de vapor, puede suponerse que la mayor cantidad de sales se deposita a nivel de los capilares de dimensiones intermedias. En el extremo de salida de los poros de gel, la evaporación es efectivamente muy lenta, dado que se reduce la superficie de evaporación y disminuye la presión del vapor.

Puede entonces admitirse la hipótesis de un cierto tipo de capilares que propician la formación de eflorescencias, hipótesis que se confirma mediante la prueba de envejecimiento acelerado.

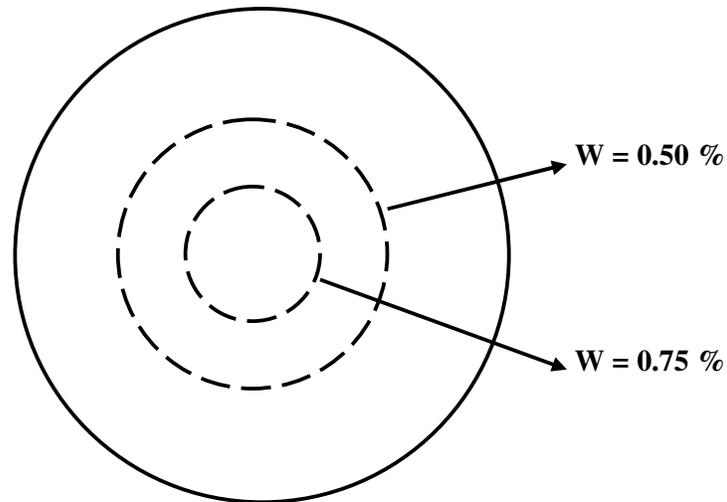
Hasta ahora nos hemos ocupado de lo que ocurre a escala microscópica. Si consideramos estos mismos fenómenos a escala macroscópica, será entonces posible formular algunas reglas suplementarias.



Cuando se habla del secado de un elemento de concreto, se tiene la costumbre de definir las curvas de distribución de la humedad en el interior del material. Así por ejemplo, para un elemento cilíndrico en un tiempo t dado, los puntos de igual contenido de agua se sitúan sobre curvas concéntricas, cuando la evaporación puede efectuarse a través de toda la superficie lateral (figura 6).



FIGURA 6.



$$W = \frac{\text{humedad al tiempo } t}{\text{humedad a la saturación}}$$

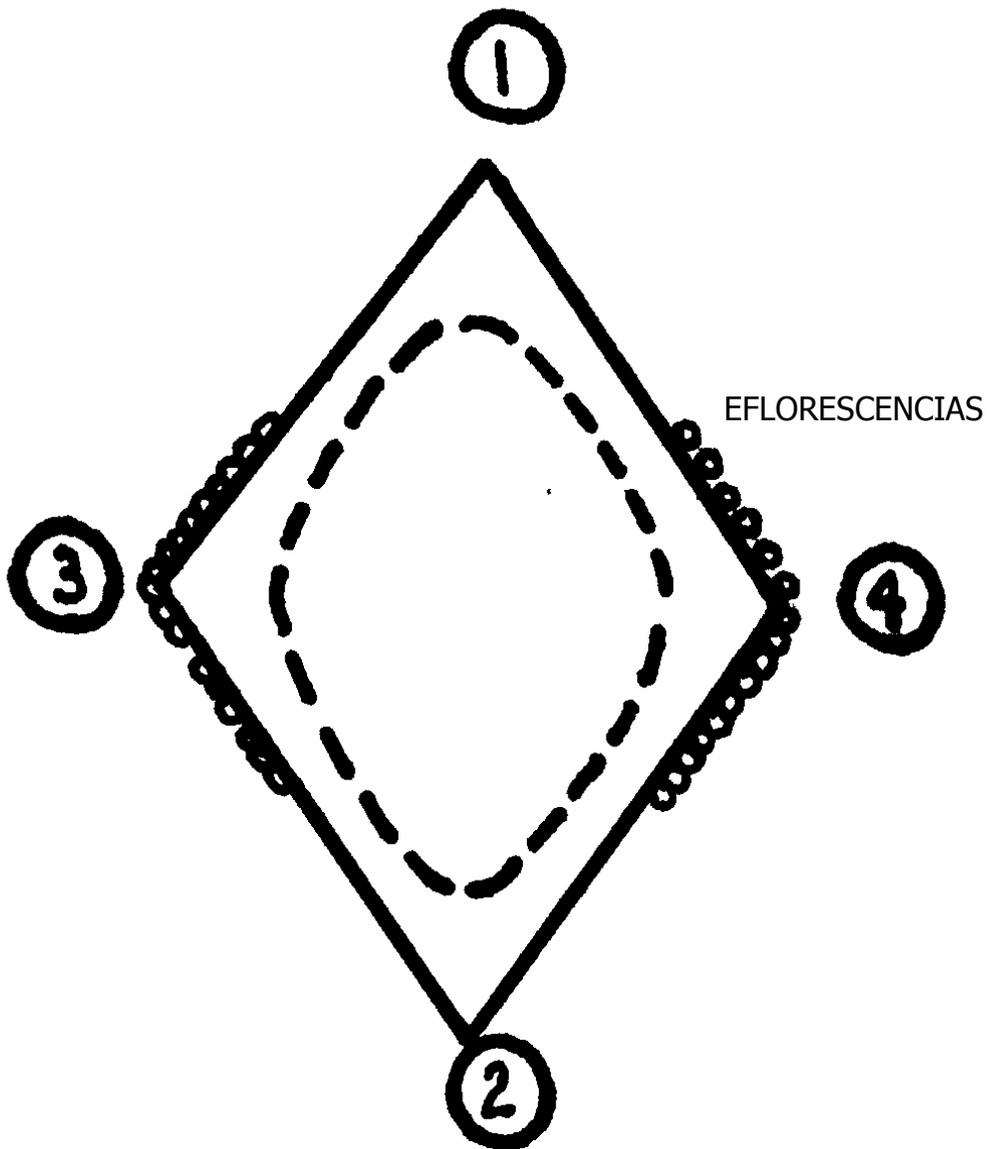


No obstante, esta descripción esquemática del secado es insuficiente para el caso que nos interesa, por lo que vamos a precisarla. Cuando se define una curva del secado de esta manera, es necesario considerar que dicha curva representa un promedio. A lo largo de una línea dada, ciertos poros están secos, otros, saturados de agua y otros más, parcialmente llenos. La suma de estas humedades elementales es la que permite definir una línea a lo largo de la cual, a escala macroscópica, el concreto tiene una humedad dada.

En párrafos anteriores se ha dicho que la formación de las eflorescencias esta estrechamente relacionada con dos procesos: la evaporación y el drenaje interno. Ahora consideramos, por ejemplo, un elemento de concreto cuya sección tiene un rombo.



FIGURA 7.





Si admitimos que la evaporación se efectúa de manera uniforme a través de toda la superficie exterior, las curvas de humedad igual tienen aproximadamente la forma de un óvalo, cuyos extremos se secan con mayor rapidez que el resto. En efecto, es fácil suponer que en las zonas 1 y 2 los capilares no serán alimentados con la suficiente rapidez, sino por los poros alejados de esas zonas. Pronto el flujo de drenado será insuficiente para compensar el flujo de evaporación y el frente de evaporación se desplazará al interior del material. No ocurre lo mismo con las zonas 3 y 4, donde capilares de dimensiones idénticas a las de las zonas 1 y 2 serán alimentados de manera suficiente para que el frente de evaporación se sitúe en la superficie durante más tiempo. Como consecuencia en estas zonas se formarán depósitos de cal más importantes y habrá mayor riesgo de que existan eflorescencias.

Si el elemento considerado termina en punta de diamante, puede ocurrir la formación de eflorescencias.

Por lo tanto, la forma de un elemento puede desempeñar un papel importante en el proceso de aparición de eflorescencias.

Todavía podemos citar un ejemplo más. En este caso las eflorescencias están ligadas a la "geometría interna" del elemento. Se trata de losas recubrimiento para pisos de doble capa sobre los cuales, en el curso del almacenamiento, aparecen eflorescencias. Estas losas se presentan como puede apreciarse en las figuras 8 y 9.



FIGURA 8.

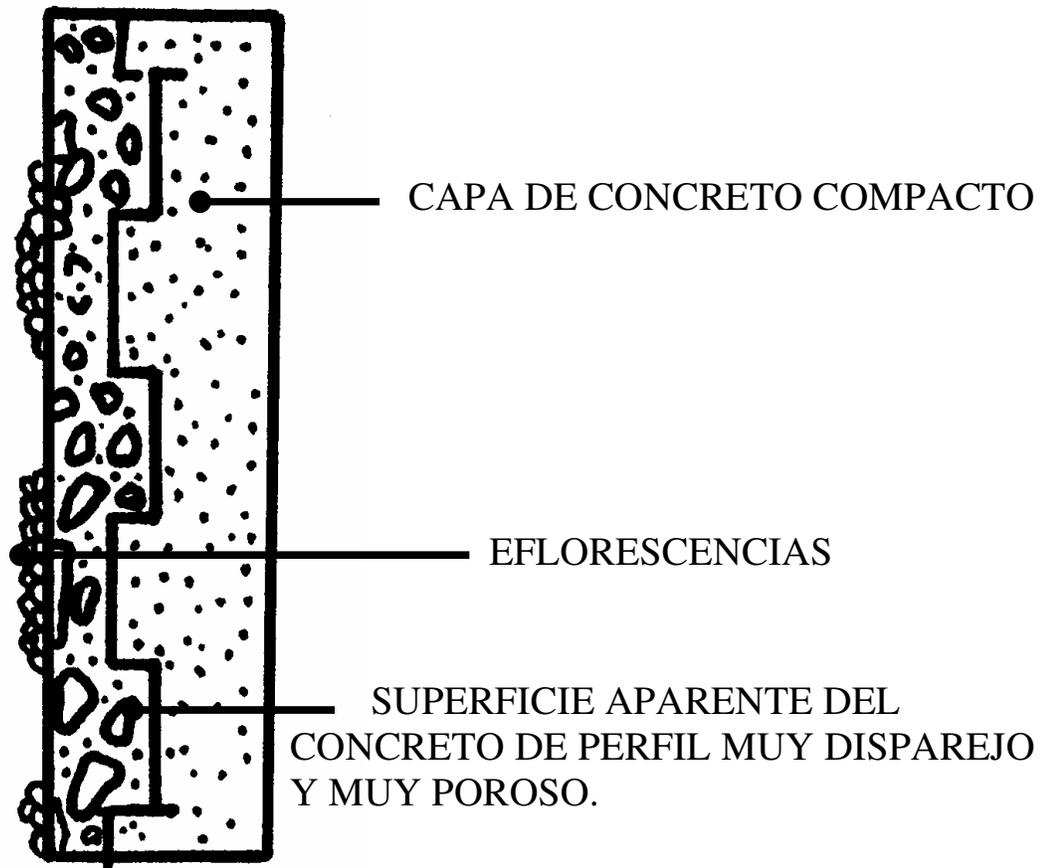
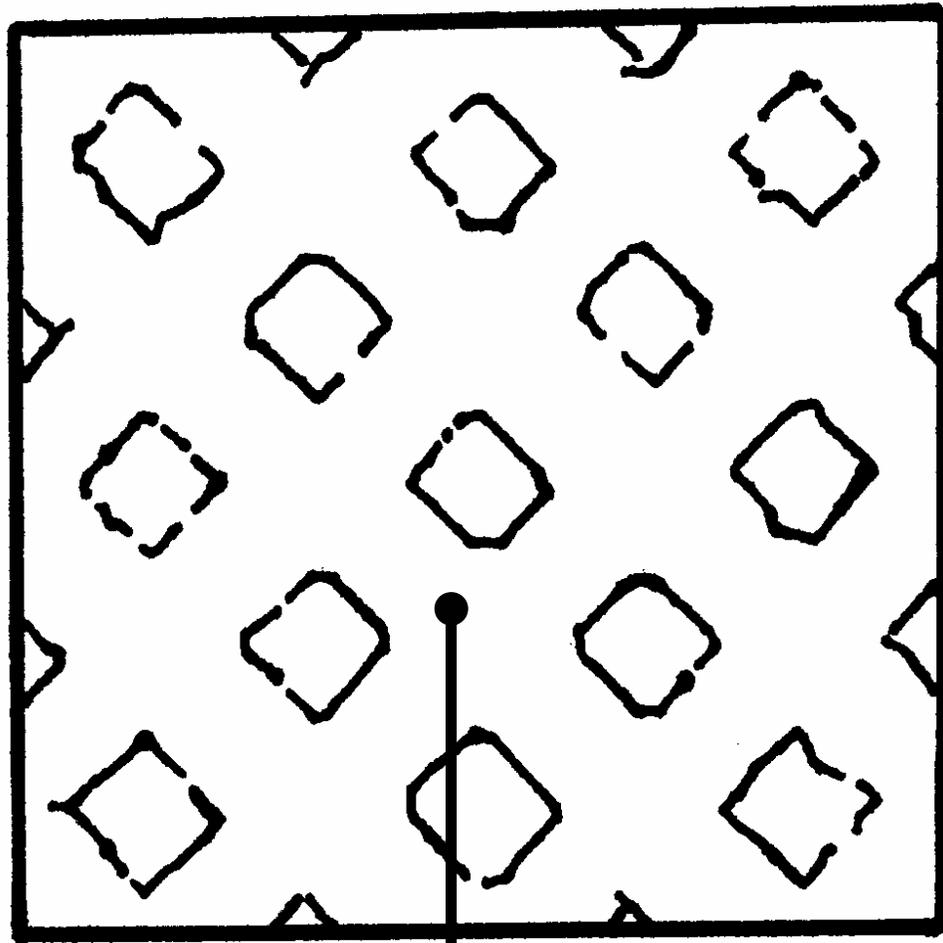




FIGURA 9.



EFLORESCENCIAS

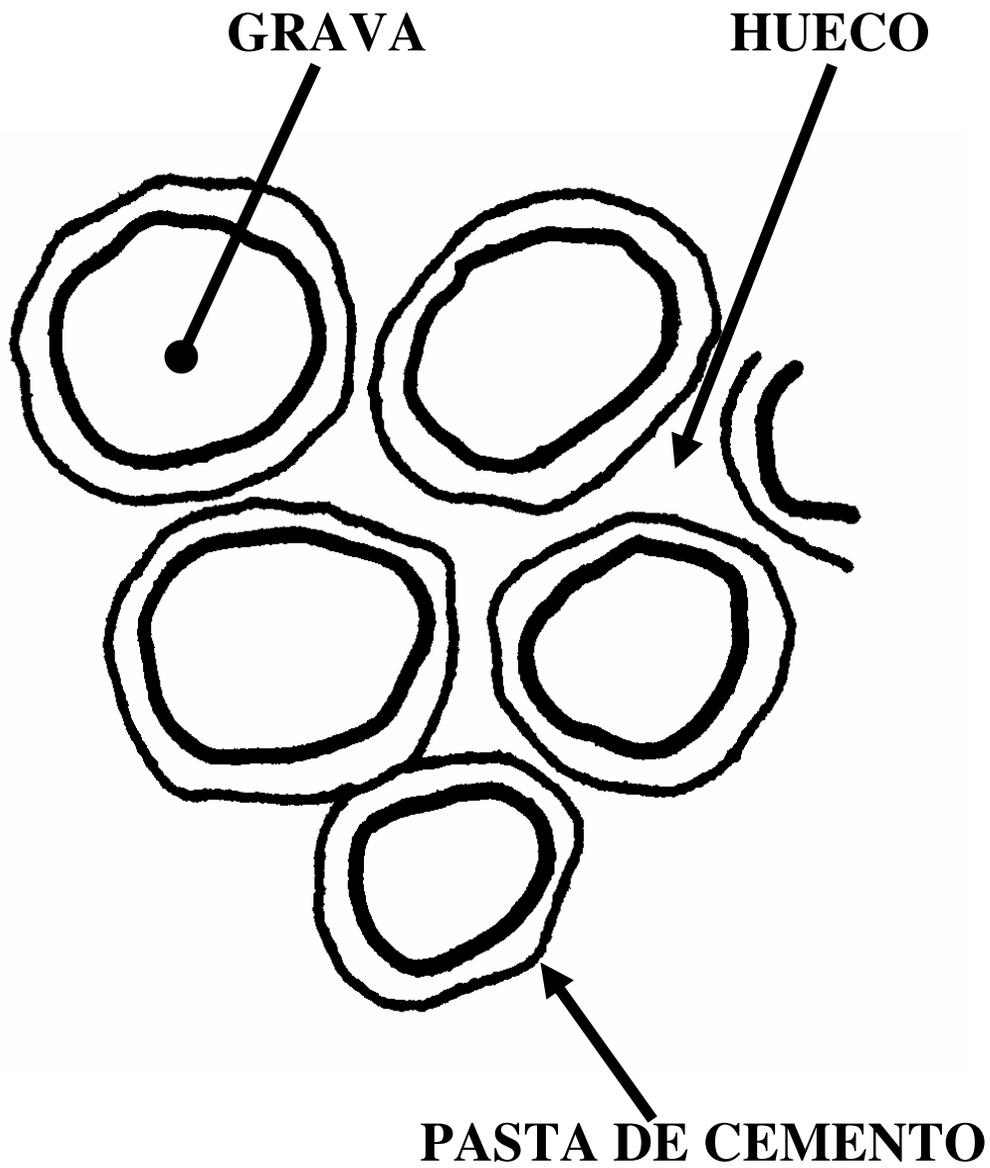


Debido al proceso especial que se requiere para la fabricación de estas losas, la cara aparente no tiene un espesor uniforme. En el frente de los voladizos, en la capa inferior a la cara aparente, puede constatarse la formación de eflorescencias muy pronunciadas.

Aquí todavía el fenómeno se explica por la acción conjunta de la evaporación y del drenado. La cara aparente hecha de un concreto muy poco homogéneo figura (10) y que se aproxima al concreto cavernoso, está constituida de grava recubierta de pasta de cemento. Los huecos entre los agregados de grandes dimensiones facilitan la evaporación y la pasta de cemento que recubre al agregado desempeña el papel de vehículo de la cal debajo de la capa exterior, lugar donde el grosor de la superficie aparente es mínimo y que la evaporación relacionada con el drenado interno favorece la acumulación de sales solubles.



FIGURA 10.





Para concluir este capítulo, debemos recordar algunas reglas sencillas que permiten explicar la formación de eflorescencias.

1. La pasta de cemento constituye un "deposito de reserva" de cal siempre disponible y abundante.
2. El drenado de agua por capilaridad se efectúa desde los poros grandes hacia los más pequeños.
3. Las eflorescencias se forman donde el frente de evaporación permanece durante más tiempo en la superficie del concreto.
4. Las eflorescencias son tanto más abundantes si el flujo de evaporación es grande, a condición de que el flujo de "drenado interno" llegue a compensarlo.

En efecto, se trata de reglas que permiten explicar, en la mayoría de los casos, la formación de las eflorescencias, pero su aparente sencillez no debe hacernos olvidar los muy numerosos parámetros que dichas reglas reúnen, es decir:

1. La concentración de cal en el agua contenida en el concreto depende a la vez:
 - ❖ Del contenido de álcalis y de sulfatos de cemento.
 - ❖ De la edad del concreto y de su carbonatación
 - ❖ Del tiempo de absorción de agua por el concreto.
 - ❖ De la temperatura del agua.
2. Los fenómenos de capilaridad dependen de la textura del concreto, es decir:
 - ❖ Del tamaño de los poros, de su distribución y de su interconexión.
 - ❖ De la forma de los poros y, en particular, de su irregularidad.



-
- ❖ Del grado de compactación del concreto, es decir, de variables tales como el contenido de cemento, la relación agua/cemento, la granulometría de los componentes, los medios de colocación, etc.

3. La evaporación y la posición del frente de evaporación depende de:

- ❖ La humedad ambiente y la temperatura de conservación
- ❖ La ventilación.
- ❖ La velocidad de drenado en los capilares.
- ❖ La forma del elemento.

4. La cantidad de agua susceptible de evaporarse depende de:

- ❖ El grado de humedad del concreto.
- ❖ La edad del concreto (y su grado de hidratación) etc.



4.-EJEMPLOS DE DIVERSOS TIPOS DE EFLORESCENCIAS.

4.1.-EFLORESCENCIAS Y VARIACIONES DE COLOR EN EL CONCRETO RECIEN COLADO.

Frecuentemente pueden constatarse diferencias de color entre elementos de concreto aparente, cuyas condiciones de fabricación parecen ser idénticas salvo en lo referente al momento de desmoldeo. Por ejemplo, en la planta de prefabricación, algunas veces pueden observarse diferencias importantes entre los productos desmoldeados por la mañana y aquellos desmoldeados en la tarde. Esto se explica fácilmente si se tienen en cuenta las observaciones siguientes:

- i. El concreto fresco, el agua de mezclado que todavía no ha reaccionado con el cemento es agua parcialmente libre. Esto depende del contenido de agua de la mezcla, ya que una parte del agua (aún si ésta todavía no está químicamente ligada con el cemento, es decir, incorporada en el gel de cemento) desarrolla junto con los granos de cemento y los finos, algunas uniones que hacen que esta agua ya no sea enteramente "libre" y la cual, por lo demás está saturada de cal.
- ii. El concreto fresco es muy poroso porque los cristales de gel todavía no han llenado por completo los espacios entre los granos de cemento, de donde resulta que el flujo de drenado por capilaridad



puede ser elevado y compensar eventualmente un flujo elevado de evaporación. Por consiguiente, si se cuele el concreto bajo condiciones tales que la evaporación del agua que contiene sea rápida, dicho concreto tendrá un color demasiado claro debido a una abundante acumulación de cal en la superficie.

Observaremos ahora que el fenómeno casi se invierte cuando se trata de un concreto ya fraguado, digamos un concreto colado hace algunos días. Para este tipo de concreto, el posible flujo de drenado es ya considerablemente reducido y no puede compensar un flujo elevado de evaporación. Por tanto, el frente de evaporación vendrá a situarse muy rápidamente por encima de la superficie del concreto y la cual no se acumulará en la superficie.

El problema más delicado consiste en determinar el valor del posible flujo de drenaje (tanto más cuando su variación es muy rápida a medida que envejece el concreto). Cuando este envejecimiento es muy rápido, se tiene interés especial en impedir la evaporación. Por el contrario, cuando es muy lento, es importante evitar que el concreto se conserve dentro de una atmósfera húmeda. El problema se complica todavía más debido al hecho de que las heterogeneidades en la textura porosa del concreto implican contrastes locales de color.

De lo anteriormente expuesto puede concluirse que es necesario vigilar con atención especial las condiciones de almacenamiento del concreto aparente, principalmente



durante las primeras horas del desmoldeado y, en seguida, durante los días posteriores al almacenamiento.

4.2.-EFLORESCENCIAS QUE SE PRODUCEN DURANTE UN CURADO CON VAPOR HETEROGENEO.

Al momento de examinar los resultados experimentales, Veremos que el color de los productos convenientemente curados con vapor es homogéneo, siempre y cuando la temperatura de mantenimiento isotérmico y la humedad relativa sean constantes. Por curado conveniente con vapor entendemos aquí un curado con vapor en el cual la homogeneidad de temperatura y de humedad relativa es satisfactoria en todo el recinto. Este curado con vapor tampoco debe conducir a condensaciones locales o, peor todavía, a filtraciones sobre los elementos tratados.

El primer caso corre el riesgo de provocar, por ejemplo, una diferencia de color entre productos situados en puntos muy distintos dentro del recinto, dado que esto quedan entonces sometidos a condiciones térmicas y de humedad variables. En el segundo caso, se corre el riesgo de provocar en un mismo producto contrastes muy marcados entre las zonas sometidas a condensaciones o a filtraciones y las que no lo están. En efecto, en caso de filtración, el agua arrastra una cierta cantidad de cal soluble de la superficie y permite que aparezca, una zona más oscura en la parte superior del camino del agua.



4.3.-EFLORESCENCIAS QUE SE PRODUCEN DURANTE EL ALMACENAMIENTO.

Con frecuencia se puede constatar que durante el almacenamiento aparecen eflorescencias más o menos abundantes sobre productos muy diversos. Si distinguimos este caso del anterior, se debe a dos razones principales: en primer lugar, porque el concreto evoluciona muy rápidamente durante los días inmediatamente después de colado y posteriormente con rapidez cada vez menor. En segundo lugar, porque el agua que sirve de vehículo a la sal tiene distinto origen según se trata de un concreto fresco o de un concreto con varias semanas de colado. De hecho, en el primer caso se trata esencialmente del excedente de agua de la mezcla interna mientras que el segundo caso, se trata, por lo general, de agua externa.

Como la cantidad de agua libre y, por lo tanto evaporable, es muy poca, los razonamientos que pueden hacerse casi no tienen nada que ver con la edad del concreto y son válidos tanto para un concreto de quince días de colado como para uno de quince meses, por ejemplo.

Algunas cifras permitirán situar mejor la jerarquía de los parámetros que se discuten:

Al cabo de 15 días aproximadamente, un concreto colado en una atmósfera seca (50% de humedad relativa, por ejemplo) ha perdido casi la mitad de agua que perderá al cabo de un año. En otras palabras, la rapidez de evaporación se reduce considerablemente con el tiempo. Esto puede atribuirse a dos causas principales:

En primer lugar, la evaporación del agua disminuye cada vez más en la superficie del concreto y, para alcanzar la atmósfera, el vapor de agua debe desplazarse por difusión



del interior del sistema poroso, lo cual reduce considerablemente su rapidez de desplazamiento.

En segundo lugar, la carbonatación de la cal se efectúa durante todo el proceso de secado, con el consiguiente taponamiento o contracción de los capilares.

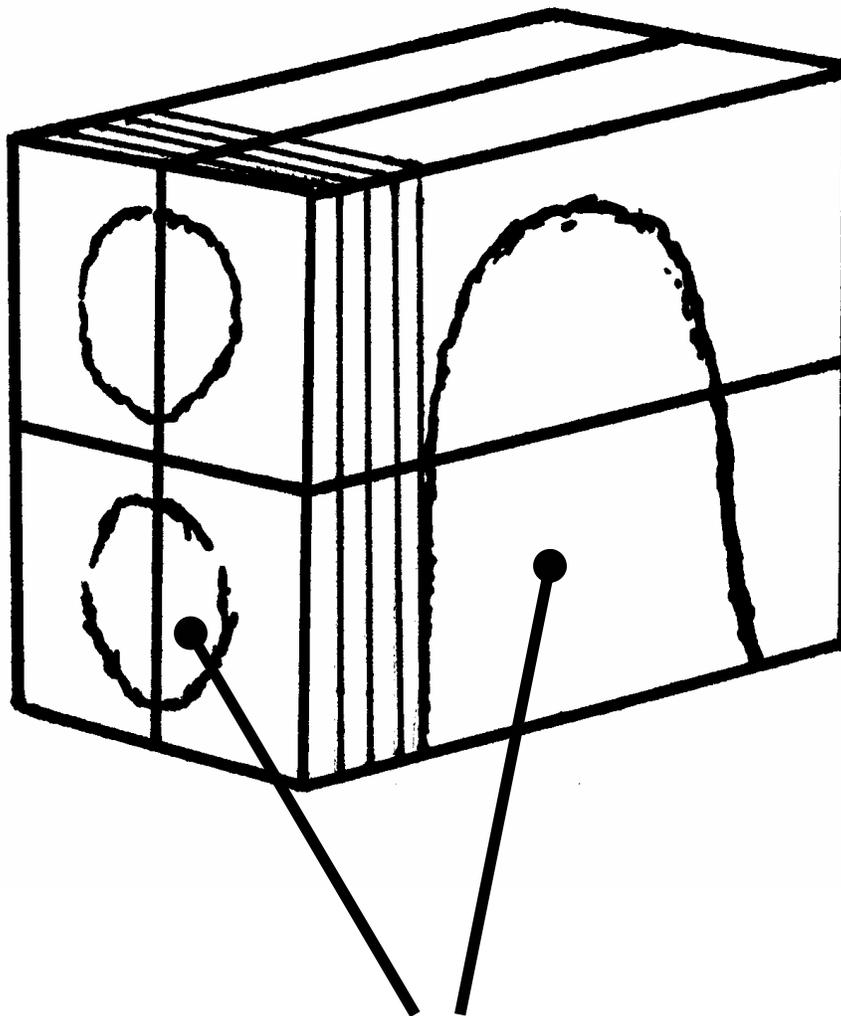
Por lo tanto, puede admitirse que a partir de este momento el agua de mezcla no ligada no producirá más variaciones de color debido a los depósitos de cal en la superficie. El agua susceptible de servir de vehículo a la cal y de depositarla en la superficie deberá, entonces, provenir del exterior.

Ciertas condiciones de almacenamiento reúnen todos los factores que favorecen la formación de eflorescencias: se trata de aquéllas en las cuales los elementos de concreto se encuentran apilados unos sobre otros, sin ventilación posible y expuestos a la intemperie. En este caso, la lluvia penetra fácilmente por los huecos entre las distintas piezas, tiene tiempo de impregnar el concreto y como la evaporación es muy lenta, se forman depósitos abundantes de cal sobre la superficie.

La figura 11 ilustra este caso. Se trata aquí de losas para recubrimientos de piso agrupadas en paquetes flejados, colocados unos sobre otros. Puede observarse la presencia de eflorescencias cuya forma corresponde a aquellas zonas en las cuales la evaporación es muy lenta, es decir, especialmente en las partes centrales del paralelepípedo.



FIGURA 11.



EFLORESCENCIAS

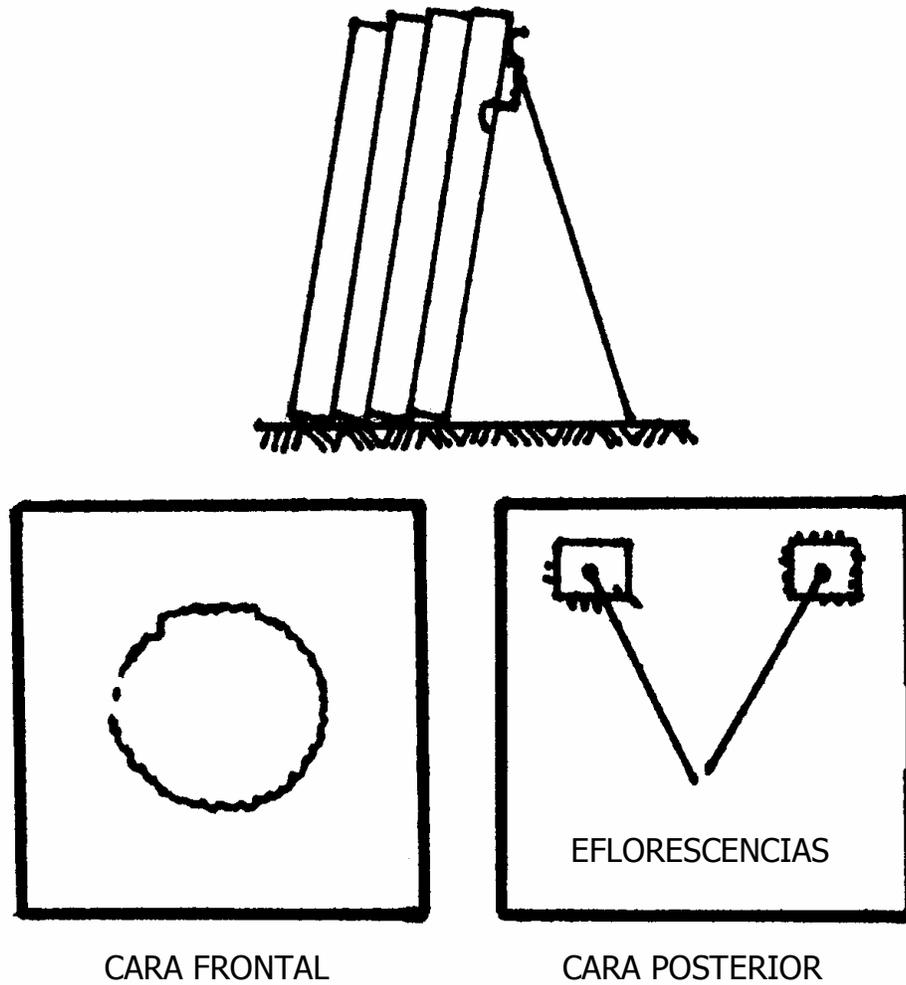


La figura 12 muestra igualmente cómo todo contacto entre concretos o con las calzas de dimensiones importantes provoca diferencias en la evaporación y, por consiguiente, de drenado interno. Es decir, se crean zonas particulares donde los movimientos del agua y del vapor son diferentes y donde las sales solubles permanecen en solución, dispuestas a desplazarse hacia las partes expuestas a una evaporación más intensa.

Durante el almacenamiento se producen diferencias de color que subsisten, al menos parcialmente, para siempre. Alrededor de las partes oscuras que corresponden a la zona de contacto y, por lo tanto, a la evaporación más contrarrestada, las eflorescencias se manifiestan con particular intensidad.



FIGURA 12.



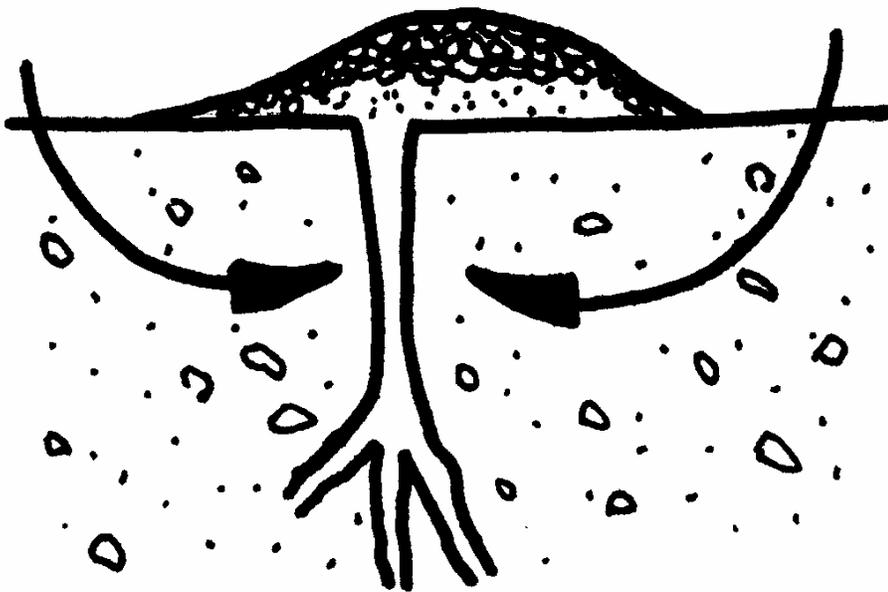


En igual forma, las microfisuras de origen diverso como por ejemplo, los choques o gradientes de temperatura y sobre todo, la contracción por secado, favorecen especialmente a la formación de eflorescencias. En tal caso, la microfisura figura 13, esta alimentada a todo lo largo y a todo lo ancho, a la vez por el drenado interno y por el agua de absorción externa, de donde se deriva el drenado de una cantidad importante de sales solubles que se acumulan en el lado superior de los bordes de la microfisura y que señala su presencia.



FIGURA 13.

MICROFISURAS





4.4.-EFLORESCENCIAS ESTRECHAMENTE RELACIONADAS CON LAS CONDICIONES TERMICAS Y DE HUMEDAD.

La influencia de las condiciones térmicas y de humedad sobre la formación de las eflorescencias tiene lugar tanto durante el almacenamiento como durante la utilización. De cualquier forma, sus efectos son considerablemente más perceptibles si el concreto está recién colado.

La temperatura y la humedad relativa del medio de conservación determinan con exactitud la velocidad de evaporación. Estos dos parámetros actúan entonces directamente sobre el desplazamiento del agua contenida en los poros hacia el exterior en la fase vapor y, además, sobre la cantidad de sales solubles susceptibles de ser depositadas en la superficie. Si la estación del año es tal que favorece la multiplicación de los ciclos de condensación – evaporación, asistimos a un bombeo real de la cal contenida en los poros, hacia la superficie. En estas condiciones, la eventualidad de una condensación que ocasione una filtración constituye un riesgo peligroso. Las estaciones frescas y húmedas, como otoño e invierno, reúnen, por lo tanto, las condiciones más desfavorables. En la medida de lo posible, durante estos periodos y sobre todo si el concreto está recién colado, se recomienda proteger a los productos de fabricación reciente, de tal manera que el medio ambiente limite la multiplicación de estos ciclos. El colado bajo techo responde parcialmente a esta preocupación.



4.5.-RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Las pruebas efectuadas en el CERIB sobre las eflorescencias han sido ya objeto de diversas publicaciones, por lo que se considera suficiente recordar aquí, en forma breve, algunos de los resultados más interesantes obtenidos con las muestras de mortero elaboradas con cemento tipo CPA 400.

El método de estudio seguido se basa esencialmente en las mediciones de color efectuadas sobre muestras de mortero coloreado. El aparato utilizado, un fotocolorímetro con filtro, permite determinar cuantitativamente, mediante medidas ópticas, el color o la variación de color de un objeto, es decir, su espectro electromagnético de reemisión en el campo visible. El criterio adoptado es la luminiscencia y del objeto estudiado, que es una medida directamente accesible. Haciendo un esquema, puede considerarse que este valor representa la blancura de la muestra. El valor 100 se obtiene como un blanco perfecto y el valor 0 con un cuerpo negro. Respecto al mortero coloreado adoptado, el color será tanto más deslavado – es decir, más cercano al blanco- cuanto el valor Y sea más elevado. Por el contrario, el color será tanto más oscuro – es decir, en este caso, cercano al rojo puro - cuanto el valor de la Y sea menor.



5.-PROBLEMAS DE EFLORESCENCIA EN EL CONCRETO.

5.1.-CAUSAS.

La eflorescencia ocurre las sustancias químicas en el concreto endurecido salen a la superficie debido a la humedad. El Hidróxido de Calcio, contenido en el cemento Pórtland hidratado, es la fuente más común de la eflorescencia. El hidróxido de Calcio es un compuesto químico soluble en agua, pero después de salir a la superficie, reacciona con Dióxido de Carbono, formando así el Carbonato de Calcio, el cual no es soluble en agua y se hace más difícil de remover.

Otras fuentes menos comunes de eflorescencia son las sales marinas o los sulfatos, que son añadidos al concreto junto con los agregados o con el agua de la mezcla. Dependiendo de su composición, estas sales pueden o no formar depósitos en la superficie del concreto. En algunos casos, la lluvia lava estos depósitos y dejan de ser una molestia.

Para que se produzca el efecto de eflorescencia, el agua debe moverse a través del concreto, este movimiento puede darse como resultado de presiones hidráulicas dentro de los elementos de concreto o por la evaporación de la humedad. Los movimientos de agua que terminan como eflorescencia, ocurren usualmente en grietas, juntas u otras aberturas en los elementos de concreto. En casos de concreto extremadamente permeable, los movimientos de la humedad se dan a través del concreto.



La eflorescencia es considerada un fenómeno inofensivo para las estructuras, no las daña pero sí afecta la apariencia de las mismas.

Las sales en estado sólido no atacan el concreto, pero cuando se encuentran en solución pueden reaccionar con la pasta de cemento endurecida. Por ejemplo, algunas arcillas contienen álcalis, magnesio y sulfato de calcio y el agua subterránea de ese tipo de arcillas es, en realidad, una solución de sulfato; en consecuencia puede atacar el cemento, puesto que el sulfato reacciona con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y con los hidratos de aluminato de calcio.

La eflorescencia resulta, cuando las sales solubles en las unidades de mampostería o en el mortero se lixivisan (se separan las sustancias solubles de las insolubles), hacia la superficie. El agua que penetra la mampostería disuelve las sales.

Más tarde, cuando los muros se secan, la solución salina emigra a la superficie, y el agua se evapora; depositando la sal sobre la superficie de la mampostería.

Para que tenga lugar la eflorescencia, deben existir tres condiciones simultáneamente:

- ❖ Estar presentes sales solubles dentro del conjunto de mampostería.
- ❖ El agua debe ponerse en contacto con las sales para formar la solución.
- ❖ La solución salina debe emigrar a la superficie, donde el agua puede evaporarse.



En las condiciones convencionales de mampostería expuestas al clima, es imposible eliminar sales, evitar la penetración del agua, o construir muros sin ninguna vía para la emigración acuífera. Lo práctico puede hacerse a partir del minimizar la extensión de estos tres factores contribuyentes.

Las sales solubles, pueden estar presentes en las unidades de mampostería o mortero; o pueden ser llevadas al muro por la lluvia o el agua del suelo. Debido a que la eflorescencia blanca, aparece en la superficie de las unidades de mampostería, usualmente se culpabiliza a los ladrillos. Pero esto no es el caso. Aunque virtualmente los ladrillos de de arcilla contienen algunas sales, su potencial de eflorescencia es pequeño. En todas partes pueden conseguirse fácilmente ladrillos relativamente libres de impurezas.

Las unidades de absorción densa o moderada, causan menos problemas. Los investigadores difieren en su opinión sobre la mampostería de concreto. Algunos dicen que tienen menor potencial de eflorescencia que los productos de arcilla. Otros argumentan que tienen de dos a siete veces material soluble. Los morteros varían en cantidades de sales solubles que contienen, dependiendo del tipo de cemento usado. Aquellos con alto contenido de álcalis e impurezas de piedra caliza, son propensos a causar problemas. Para medir esto, algunas compañías desarrollan cementos con bajo contenido en álcalis, que no manchan, para uso en los morteros de mampostería.



La mampostería almacenada directamente en el suelo sin paletas puede absorber sales solubles del agua al suelo. En áreas industrializadas, la lluvia ácida puede contaminar la mampostería con sales solubles.

La humedad necesaria para producir la eflorescencia podría provenir del agua de lluvia que penetra la mampostería o del vapor de agua que se condensa dentro del conjunto. La lluvia y la nieve pueden entrar en los muros durante la construcción si las paredes incompletas, no son protegidas adecuadamente contra los cambios climatológicos.

5.2.-CUANDO HAY QUE PREOCUPARSE.

Toda mampostería de arcilla, concreto y piedra sufren de eflorescencia, pero es más notable en ladrillos y piedra de colores oscuros. La eflorescencia puede ocurrir en cualquier momento del año, pero es más común a finales de otoño, en invierno, y a principios de primavera, cuando las temperaturas son frías y la evaporación es lenta. Debido a que los muros de mampostería secan rápidamente en los meses calurosos de verano, generalmente no ocurre eflorescencia en el verano.

Son tantos los factores que contribuyen al problema que es imposible garantizar que una construcción no pueda sufrirlo. Un experto industrial recomienda que los contratistas prevengan a los propietarios de nuevas construcciones de mampostería acerca del peligro potencial de la eflorescencia. Dígales qué precauciones se tomaron para prevenirla y qué es lo que se puede hacerse para repararla si es que ella ocurre. Esto puede eliminar la llamada de un cliente enojado más tarde.



5.3.-LA FUNCIÓN DEL AGUA.

El agua actúa como solvente o medio para transportar las sales solubles a la superficie, facilitando también la solución y la cristalización. Pueden ocurrir movimientos de agua en el concreto debidos a:

- a) Presión hidrostática.
- b) Gravedad.
- c) Fuerzas capilares.

El agua también puede estar presente en forma de vapor, en cuyo caso se pierde por evaporación. Suponiendo que la concentración de sales disueltas en el agua, que se encuentra en los poros del concreto, sea uniforme, la cantidad de sustancias disueltas depositadas en la superficie será proporcional al flujo de vapor y líquido, siempre y cuando el "drenaje interno" sea capaz compensar el agua perdida por la evaporación.

Los estudios llevados a cabo demostraron que los capilares de tamaño intermedio, ubicados entre los poros de la pasta de cemento y los macroporos ($0.1 < \text{diámetro} < 1$ milímetro), es donde se deposita la mayor parte de la eflorescencia.

Se ha sugerido que el empleo de una relación agua/cemento baja minimiza la eflorescencia. Sin embargo se ha demostrado que, para poder formar una capa protectora de carbonato de calcio en la superficie, o justamente debajo de la misma (Véase Figura) se logra más fácilmente con relaciones de agua/cemento elevadas (0.7) que con relaciones bajas (0.4). El contenido de agua del concreto bien compactado no influye sobre el desarrollo de la eflorescencia. No obstante, la relación agua/cemento es importante, y junto con la graduación del agregado y el método de colado, influye



fuertemente sobre la textura del concreto, especialmente en el tamaño, la forma, la distribución y la interconexión de los poros.

FIGURA 14

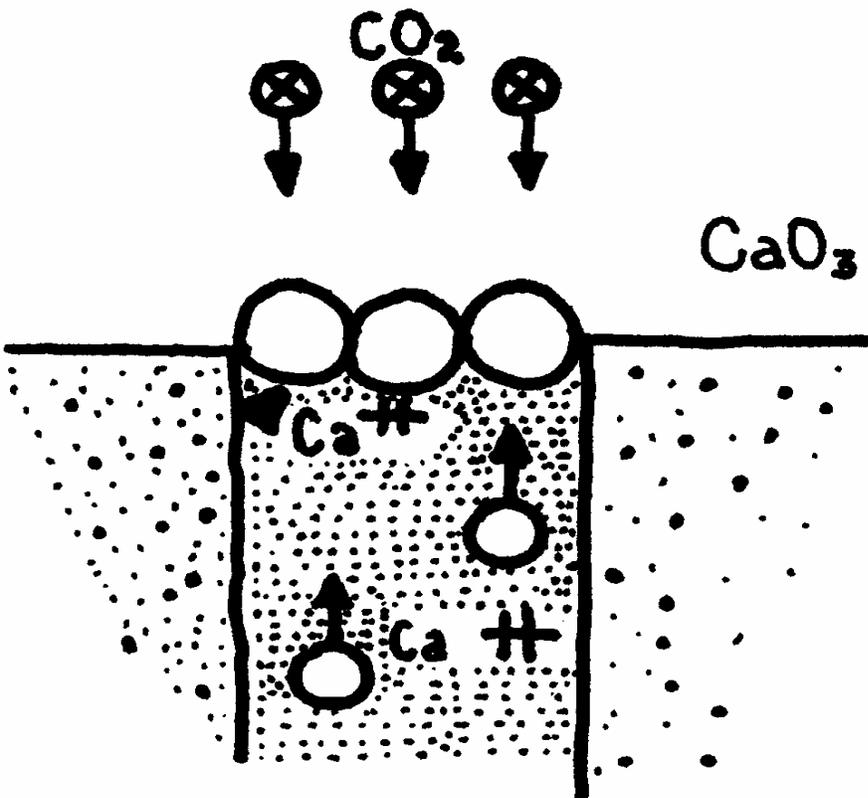


Fig. Carbonatación de solución de hidróxido de calcio en los poros, durante el almacenamiento controlado de productos de concreto, lo que da por resultado: obstrucción de los poros y minimización de la eflorescencia.



5.4.-EFLORESCENCIA DEBIDA A DIFUSIÓN DE HIDRÓXIDO DE CALCIO A TRAVÉS DEL CONCRETO.

Como se señaló anteriormente, la eflorescencia debida a la carbonatación de hidróxido de calcio, es la que causa mayores problemas; normalmente el agua contenida dentro del concreto está saturada de hidróxido de calcio, puesto que la pasta de cemento constituye un depósito con suministro abundante y permanente. El hidróxido de calcio en solución, que se encuentra en los poros, puede emigrar hacia la superpie sin que existan movimientos de agua. Siendo probable que se produzca a unos pocos milímetros debajo de la superficie; una vez ya en contacto con el bióxido de carbono atmosférico, reacciona para formar carbonato de calcio, que se precipita en la superficie o debajo de la misma, continuando el proceso hasta que los poros queden obstruidos.

Cuando el concreto se encuentra en la etapa intermedia de saturación y secado total, la carbonatación del hidróxido de calcio ocurre con mayor rapidez.

5.5.-EFLORESCENCIA EN PRODUCTOS DE CONCRETO.

La eflorescencia o florecimiento de la caliza es un fenómeno transitorio del cemento Pórtland. Su efecto consiste en blanquear el color del concreto.

La eflorescencia es también conocida como florecimiento de caliza.

El resultado de estos depósitos más claros es que el color de la superficie se aclara. Mientras más grueso el depósito, más claro se vuelve el color de la superficie.



Excepto en casos muy severos, el fenómeno desaparece completamente cuando se mojan los adoquines y reaparece cuando se secan.

5.6.-OCURRENCIA.

La eflorescencia es un fenómeno natural, temporal, que ocurre a una extensa variedad de los objetos o productos que contiene ligantes de cemento. El mortero es particularmente propenso a la eflorescencia y puede contaminar otros productos. Se forma por las sales solubles del cemento que migran a la superficie, donde reaccionan con la atmósfera y producen una película blanca (de carbonato de calcio) conocida como eflorescencia. Los cristales individuales son muy pequeños y no se fijan firmemente a la superficie. La pequeñez de los cristales mojados junto con sus propiedades ópticas hacen que se vuelvan invisibles cuando están mojados. Cuando los cristales se secan, se vuelven visibles otra vez.

Los productos se vuelven más susceptibles a la eflorescencia bajo condiciones húmedas y esto ayuda a la migración de las sales solubles a la superficie del producto.

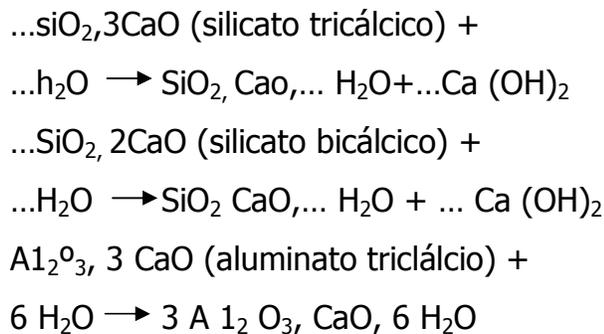
La eflorescencia no tiene ningún efecto en la integridad estructural de los productos de concreto.



5.7.-ORIGEN DE LA CAL.

Básicamente, el cemento está formado por una mezcla de silicatos y aluminatos anhidros de calcio susceptible de reaccionar con el agua. Mediante la hidratación se produce una cristalización en forma de agujas más o menos entrelazadas, lo que asegura la cohesión de la pasta.

Por ejemplo las principales reacciones químicas que se desarrollan en un cemento Pórtland en vías de hidratación pueden expresarse como sigue:



Es obvio que según estas reacciones, una cierta cantidad de cal queda liberada por fuerza, dada la hidratación del cemento. La opinión – frecuentemente sostenida – que trata de un contenido de cal libre demasiado elevado y por consiguiente, de una mala composición del cemento, así como de una calidad incorrecta, es absolutamente errónea. Para un cemento Pórtland, esta cal de hidrólisis representa aproximadamente el 30% de la masa total de los hidratos formados. Si puede considerarse que los silicatos y los aluminatos hidratados son totalmente insolubles, no puede decirse lo mismo de cal, cuya solubilidad puede alcanzar 1.2 g/l en agua a 20° C. de donde se puede concluir



que el agua contenida en lo en los poros del cemento endurecido puede estar cargada de cierta cantidad de cal.

Sin embargo, conviene señalar a continuación, que el cemento contiene muchos otros compuestos además de los señalados en el párrafo anterior. En particular, la presencia de álcalis (sosa y potasa) siempre presentes en los cemento, modificada considerablemente la cantidad de cal que puede disolverse en el agua. Un estudio efectuado sobre la composición química del agua contenida en le cemento hidratado comprueba que el contenido de cal depende del equilibrio de solubilidad entre las numerosas sales, más o menos solubles, contenidas en el cemento. De esta manera, si aumenta la cantidad de álcalis, disminuye la cantidad de cal susceptible de pasar en solución.

5.8.-EFLORESCENCIA DEBIDA A LA CAL.

El agua excedente que no esté ligada física o químicamente en la pasta de cemento endurecida, puede difundirse a través del sistema de poros capilares del concreto. De esta manera puede llevar consigo el hidróxido de calcio hasta la superficie, donde la acción del bióxido de carbono atmosférico convierte el hidróxido en carbonato de calcio CaCO_3 , que permanece como eflorescencia sobre la superficie del concreto, mientras el agua se evapora. Como lo ha demostrado la experiencia, la eflorescencia puede afectar virtualmente a todos los concretos, independientemente del tipo y cantidad de cemento que contenga, de la naturaleza y composición química del agregado, de la clase de



resistencia del mismo concreto, y de la naturaleza y marca de cualquiera de los aditivos que son incorporados a la mezcla.

5.9.-DEPOSITO DE CAL.

Los depósitos de cal pueden presentarse en condiciones en que el agua estancada está en contacto con una superficie de concreto durante un lapso considerable de tiempo. En estos casos, "extraña" (agua interna) y su acción, es el factor reactivo. Esta acción del agua externa, que puede ser causada por aspersión del concreto en el curado, por condensación debida a que la temperatura cae por abajo del punto de rocío, o por lluvias, puede dar origen a los depósitos de cal, especialmente sobre la superficie de un concreto recién colado. Este efecto de lixiviación depende esencialmente de lo que dure la acción del agua, de la temperatura y del grado de hidratación de la pasta de cemento endurecida. Mientras más dure esta acción y más bajo sea el grado de hidratación, más probable será que los depósitos de cal sobre la superficie del concreto sean más pronunciados. Las observaciones en la práctica demuestran que en particular el concreto recién colado expuesto a condiciones ambientales frías húmedas, corre más riesgo de sufrir estos defectos.

5.10.-EFECTOS DECOLORANTES DE LA CAL.

A veces se observan áreas de color claro semejantes a cortinas o banderolas en las superficies verticales o inclinadas de concreto (fachadas, barandales de balcones, muros de retención, etc.). Estas manchas surgen por las recolecciones de agua de lluvia en superficies horizontales adyacentes, en las que se disuelve el hidróxido de calcio del



concreto. Cuando esta agua se desborda y corre sobre las caras verticales o inclinadas, deja sobre ellas una película de cal al evaporarse el agua. En las caras de concretos recién colados, el proceso de evaporación y secado extrae más cantidad de hidróxido de calcio del concreto. Como resultado, se forman parches de color claro, cuyo tamaño e intensidad depende de la frecuencia de la lluvia y del secado subsecuente, así como del tamaño de la superficie de concreto de la cual se disuelve la cal. En este caso, por lo tanto, se traslapan dos procesos diferentes: el transporte de cal desde las superficies horizontales hasta áreas situadas más abajo en la estructura y la formación de depósitos de cal como consecuencia del secado de las áreas que resultan afectadas.

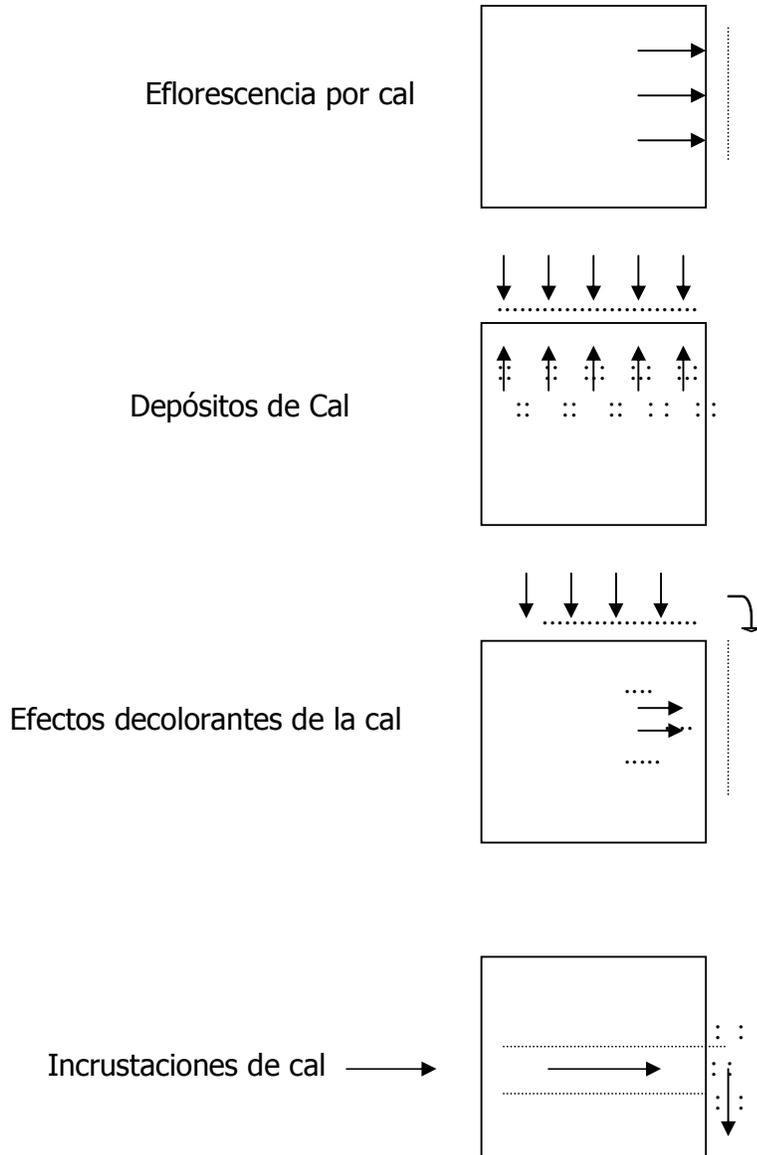
5.11.-INCRUSTACIONES DE CAL.

En cualquier lugar en que el concreto sea localmente permeable al agua (en grietas, juntas de construcción defectuosas, o en grava depositada sobre superficies verticales o inclinadas de concreto) cuando ocurre filtración o flujo de agua a través del concreto en estas partes de la estructura, puede ocurrir saturación del agua dentro del concreto con hidróxido de calcio; de manera que se forman gradualmente capas de cal en los sitios en que el agua emerge del concreto. Puesto que el concreto en si mismo no sufre carbonatación en su interior, el proceso de disolución y de precipitación concentrada puede continuar casi indefinidamente. Por otro lado, este mismo proceso ocurre en cuevas de piedra caliza, en las que puede dar lugar a la formación de estalactitas y estalagmitas de formas caprichosas. La figura muestra los procesos descritos.



FIGURA 15. DIVERSAS CLASES DE EFLORESCENCIA DEBIDA A LA CAL.

|





5.12.-FACTORES QUE AFECTAN LOS ORÍGENES DE LA EFLORESCENCIA.

Muchos de los factores que afectan la formación de eflorescencia sobre las superficies de concreto, tienen interacción entre si. A continuación, examinaremos cuáles de estas interacciones son particularmente de mayor importancia durante el proceso.

5.13.-COMPOSICIÓN DEL CONCRETO.

Como ya se ha mencionado antes, la cantidad o tipo de cemento en la mezcla de concreto no influye en la tendencia de concreto a desarrollar eflorescencias. El cemento Pórtland consta aproximadamente en sus dos terceras partes, de silicato tricálcio C_3S^2 . Cuando tiene lugar una hidratación completa, hasta de 30% del peso de este cemento se convierte en hidróxido de calcio. Así pues, en concretos con un contenido de cemento de 300 kg por m^3 , pueden formarse aproximadamente unos 100 kg de $Ca(OH)_2$. la misma cantidad de cemento Pórtland de altos hornos que contiene no menos de 15% de clinker y no más de 85% de escoria de altos hornos, produce "solo" 15 kg de $Ca(OH)_2$ en un metro cúbico de concreto. Por otra parte, 1 litro de agua puede disolver hasta 1.3 g de $Ca(OH)_2$ de saturación; por lo tanto, si un metro cúbico de concreto fresco contiene 170 litros de agua, unos 200 g de $Ca(OH)_2$ pasarán a ser solución durante la hidratación, y se formará un medio elevadamente alcalino. Estas cifras muestran las cantidades de hidróxido de calcio disponibles en el concreto especialmente para proteger el acero de refuerzo contra la corrosión, lo que desde luego, es una función importante. Ahora, si el agua excedente no requerida para la hidratación, se dirige hacia la superficie del concreto y ahí se evapora, llevará muy poca cantidad de cal a la superficie.



El peor efecto que pueden causar estas cantidades de cal son variaciones menores en el color gris general del concreto. Las cantidades de cal depositadas en forma visible sobre la superficie, tienen que ser considerablemente mayores: de 2 a 3 mg/cm² (20 a 30 g/cm²) cuando las condiciones climáticas son normales.

El tipo de agregado empleado en el concreto no afecta la eflorescencia debida a la cal. De la misma manera, tampoco produce consecuencias el agua empleada en la mezcla del concreto.

5.14.-LA TEMPERATURA Y LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS.

El hidróxido de calcio se forma durante el período de hidratación del cemento. Las temperaturas bajas incrementan la solubilidad pero retardan la velocidad de fraguado del concreto. Con el tiempo usual de descimbrado del concreto en obra, hay suficiente hidróxido de calcio en la pasta de cemento en proceso de endurecimiento, para que el agua de los poros capilares y/o el agua de la superficie que penetre desde el exterior, funcione como agente solvente y de transporte. En el caso de un cambio súbito del clima, puede precipitarse agua por condensación sobre el concreto a consecuencia del cambio en la humedad relativa de la atmósfera. Bajo estas condiciones, el concreto recién colado corre más riesgo de tener eflorescencias. El mismo efecto puede ocurrir cuando se colocan elementos prefabricados en ambientes húmedos y calientes para tratamiento térmico y curado. Si la superficie del concreto está más fría que su interior, el gradiente de temperatura provocará el transporte de agua de los capilares directamente hacia las superficies exteriores.



De lo anterior se deriva que los elementos de concreto masivo tienen más riesgo particularmente durante el período de evolución de la hidratación. Por el contrario, cuando la superficie del concreto está más caliente que el aire ambiental, la zona de secado generalmente estará situada en las capas de concreto cercanas a la superficie, por lo que entonces, no se presentará el fenómeno de la eflorescencia en la superficie.

5.15.-CIMBRAS.

La condición química y ciertamente también la condición física, de la superficie de contacto de la cimbra con el concreto en proceso de hidratación, es un factor importante que determina si se presentará eflorescencia o no, en el caso de ingreso subsecuente de humedad. Al respecto, debe considerarse en primer lugar la cimbra de madera con tablonces labrados o sin labrar. Es bien sabido que, a no ser que se aplique un tratamiento preliminar adecuado, las cimbras de tablonces contienen constituyentes hidratocarbonosos que pueden afectar adversamente el endurecimiento de la superficie de concreto, en mayor o menor grado.

La cantidad de estos constituyentes tiende a variar de uno a otro tablón, dependiendo de la época del año en que se taló el árbol, el tiempo de exposición a la intemperie hasta el momento de emplearlo, así como de la parte transversal del tronco del cual se aserraron los tablonces. Al ser descimbrado con estos tablonces, el concreto colado mostrará variaciones de color, con unas áreas más oscuras que otras. Para evitar esto los tablonces nuevos, labrados o sin labrar, deben ser tratados artificialmente recubriéndolos con una lechada de cemento. Con el uso repetido de los tablonces, la cantidad de sustancias hidratocarbonosas y de otras emitidas por la madera sobre la



superficie hidratante del concreto decrece rápidamente. Las nuevas cimbras de madera de superficie tratada contienen resinas fenólicas, que del mismo modo pueden reaccionar con los álcalis contenidos en la pasta de cemento.

Las cimbras metálicas son las que tienen menos probabilidad de producir alguna interacción química con el concreto colado. Pero de cualquier forma, la condición de la superficie del concreto, particularmente lo liso o lo rugoso de ésta, ejerce cierta influencia sobre los tonos claros u oscuros de color, que además son afectados por la cantidad de cal que se deposita sobre la superficie. Las cantidades moderadas de cal serán prácticamente invisibles sobre una superficie de concreto, grabada o texturizada, en tanto que destacarán sobre una superficie lisa.

5.16.-AGENTES UTILIZADOS EN EL DESCIMBRADO.

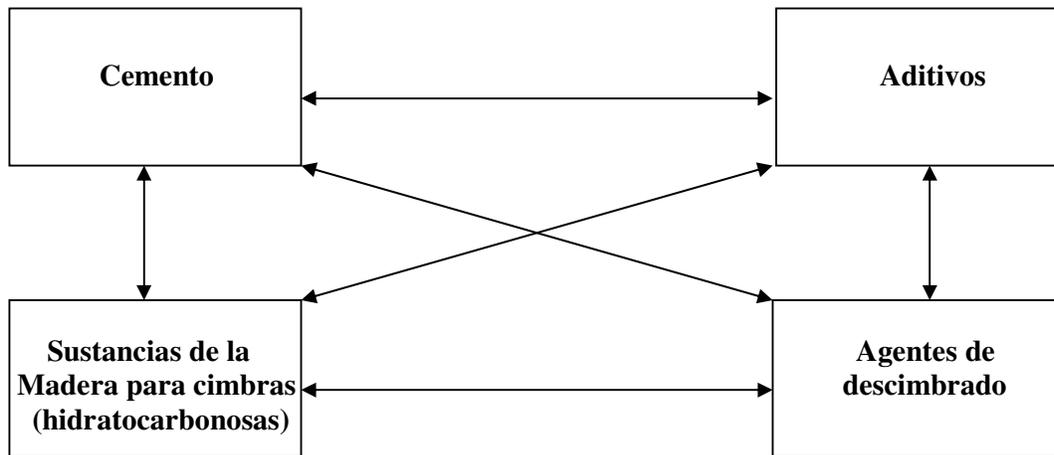
Debe establecerse la diferencia entre ácidos grasos saturados y ácidos grasos no saturados. Los primeros son químicamente inactivos; interponen una capa de grasa entre la cara de la cimbra y el concreto fresco colado en ella; el efecto de eliminación de adherencia, o de partición, es de carácter físico. En el caso de los ácidos grasos no saturados, ocurren reacciones químicas con los álcalis de la pasta de cemento. Se forman partículas pequeñas que no se endurecen y que, actuando como una fina capa de "polvo", separan la cimbra del concreto en endurecimiento. Después del retiro de las cimbras, estas partículas son responsables del empolvado de la superficie del concreto. Los ácidos grasos no saturados también pueden reaccionar con las sustancias contenidas en las cimbras de madera y en las de plástico, así como con los aditivos para concreto. De esta manera, crean adicionalmente condiciones que favorecen el empolvamiento. Los aceites minerales puros y sus diluciones, pasta, ceras o emulsiones



oleosas para moldes, no contienen sustancias químicamente activas que se comporten de esta forma.

Es necesario asegurarse de que los agentes para descimbrar sean aplicados en capas lo mas delgadas posible.

FIGURA 16. DIVERSAS INTERACCIONES SOBRE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO.





5.17.-MOMENTO DE RETIRAR LAS CIMBRAS.

El descimbrado temprano del concreto, es decir cuando tiene poco tiempo de colado y aún no alcanza una etapa muy avanzada de hidratación, conteniendo todavía mucha agua libre y numerosas porosidades, incrementa la tendencia a la eflorescencia. Una vez inclinada la operación de descimbrado, debe llevarse a cabo rápidamente y sin interrupciones, pues de lo contrario, se corre el riesgo de que la humedad relativa del aire que queda en el espacio entre la cimbra y el concreto, se vuelva muy elevada como resultado de la evaporación del agua excedente y de la posible formación de agua de condensación sobre la superpie del concreto, en los casos en que baja la temperatura, por ejemplo, durante la noche.

5.18.-FILTRACIÓN DE AGUA, CURADO Y EDAD DEL CONCRETO.

Como se mencionó antes, el agua estancada puede causar lixiviación y depósitos de cal, especialmente en la superficie de concretos recién colados. A principios de los años sesenta, Walz y Bonzel, llevaron a cabo extensas pruebas en el Instituto de Investigaciones de la Industria del Cemento. Dichos estudios incluyeron las llamadas pruebas de estancamiento y de aspersion. Según los resultado de las pruebas, se observaron efectos pronunciados de lixiviación cuando se formaron charcos o estancamientos de agua sobre las superficies de concretos recién descimbrados. Dependiendo de la densidad y de la impermeabilidad del concreto, así como de las condiciones de almacenamiento, se aplicaron encharcamientos de agua a las superficies,



entre 2 y 6 días después del descimbrado, el resultado fue que no se manifestó virtualmente eflorescencia alguna en dichas superficies.

Las bajas temperaturas alentaron la tendencia a la lixiviación de la cal como consecuencia de la mayor solubilidad del hidróxido de calcio a dichas temperaturas. En la prueba de aspersion, no se observó decoloración apreciable por la cal en cubos de 3 días de colados, cuyas superficies se habían mantenido cubiertas y húmedas durante 1 día y después expuestas al aire en el laboratorio durante 2 días. Sin embargo, en estas pruebas se encontró que la eflorescencia puede presentarse aun en concretos muy densos y viejos, si su superficie no se ha secado ni ha sido carbonatada y si, en consecuencia, aún puede disolverse el hidróxido de calcio libre por medio de la filtración del agua desde el exterior hacia el interior del concreto. Las cantidades pequeñas de agua son significativamente más desfavorables que las grandes porque con lluvias fuertes y prologadas, por ejemplo, la concentración de hidróxido de calcio decrece muy rápidamente y el agua que contiene el hidróxido disuelto, es descargada rápidamente.

La tendencia del concreto a la eflorescencia decrece con el aumento de la edad y esta disminución es favorecida por la rapidez del secado y de la carbonatación de la superficie. Los concretos que, frecuentemente se saturan de agua, pueden continuar desarrollando eflorescencia durante años.



5.19.-POROSIDAD Y CAPILARIDAD.

Es bien sabido que aun los concretos bien diseñados y correctamente hechos, contienen sistemas capilares por medio de los cuales el agua no utilizada para una hidratación completa de la pasta de cemento, puede difundirse hacia la atmósfera. El tamaño de estos poros capilares tiene una importancia decisiva en la posibilidad de eflorescencia: mientras más fino y más ramificado sea el sistema de poros capilares, con más intensidad es retenida el agua que se difunde por fuerzas capilares y más seco tendrá que ser el aire para inducir al agua de los poros, a evaporarse.

Si los poros capilares del concreto endurecido pudieran limitarse al mínimo, se daría un paso importante hacia la solución del problema de la eflorescencia. El concreto que ya ha pasado por la hidratación tiene tan sólo un número relativamente pequeño de poros capilares, que además son finos, por lo que dicho concreto en general no se verá afectado por la eflorescencia.



6.-EXPOSICIÓN AL AGUA DE MAR.

El agua de mar contiene de manera natural elevadas concentraciones de sulfatos y de cloruros, por lo que representa un medio de contacto francamente agresivo para el concreto, ya que se debe cuidar la combinación de efectos de concentración elevada este tipo de sales en el medio.

6.1.-CARBONATACIÓN.

Los principales efectos de la carbonatación son la disminución del pH de la pasta de concreto, que como consecuencia genera una disminución de la protección que da la pasta a la corrosión del acero refuerzo. El principal promotor de la corrosión es el CO_2 que se encuentra presente en el ambiente de manera regular, cuando se combina con la temperatura, la humedad relativa y la permeabilidad del concreto.

Altas tasas de carbonatación ocurren cuando la humedad relativa se ubica entre 50 y 70%. Y cuando ésta tiene valores de $<25\%$, la carbonatación se considera insignificante. Se ha identificado que el agua contiene más de 20 ppm de CO_2 agresivo, lo cual puede favorecer la rápida carbonatación de la pasta de cemento Pórtland; por otra parte, se ha concluido que en aguas con libertad de movimiento con 10 ppm o menos de CO_2 agresivo, el riesgo de carbonatación resulta insignificante.



7.-SOLUCIONES.

7.1.-COMO EVITAR LA EFLORESCENCIA.

Sin tomar en cuenta la impureza de los materiales usados, la eflorescencia no es un fenómeno que tenga que ocurrir si se toman las precauciones debidas y se emplea mano de obra de primera calidad.

7.1.1.-PARA EVITAR LA EFLORESCENCIA, PARTICULARMENTE EN LAS REGIONES HÚMEDAS SIGA ESTOS PASOS:

- ❖ Use unidades de mampostería de absorción baja o moderada. La superficie del ladrillo puede calificarse como "sin eflorescencia" si se prueba de acuerdo a ASTM C 67.
- ❖ Use morteros de alto contenido de cemento.
- ❖ Almacene unidades de mampostería, sin contacto directo con el suelo y protéjalos con cubiertas impermeables.
- ❖ Cubra la hilada superior de los muros no acabados para resguardarlos del agua.
- ❖ Construya correctamente un vierteaguas en los parapetos.
- ❖ Instale goteras en las cornisas o en los miembros con proyección.



-
- ❖ Instale una lámina impermeabilizante a través del muro a nivel del suelo para evitar la ascensión capilar de la humedad desde el suelo.

 - ❖ Aplique impermeabilizante en los muros en los lugares en donde el agua pueda acumularse una vez que entra; construya tubos de drenaje en el revestimiento exterior del muro inmediatamente arriba del impermeabilizante. Asegúrese que las juntas de los impermeabilizantes, estén acopladas a tope y selladas, y de que las terminales estén volteadas hacia arriba y selladas.

 - ❖ Tape las juntas entre la mampostería y las aberturas de puertas y ventanas.

 - ❖ Construya juntas de mortero sólidas, apretadas, a prueba de rigores climatológicos; use juntas cóncavas o en forma de "V", en donde el muro de mampostería esté expuesta a la lluvia y a la congelación y el deshielo.

 - ❖ Selle las juntas agrietadas del mortero.

7.1.2.-COMO QUITAR LA EFLORESCENCIA.

La mayor parte de la eflorescencia en mampostería bien diseñada y construida es temporal. Debido a que las sales son solubles en agua, las manchas con frecuencia desaparecen con una lavada o con lluvia normal y exposición al clima. A medida que pasa el tiempo, hay cada vez menos eflorescencia, a menos que exista una fuente externa de sales.



Otras eflorescencias desaparecen con las lluvias intensas, y luego vuelven a aparecer después de varios años. Con el tiempo, la eflorescencia hace que el mortero se desintegre y que las unidades de mampostería se figuren dando como resultado escurrimientos y fugas en las paredes. Las sales alcalinas solubles, generalmente sulfatos de sodio y potasio, son las causas primarias de esta eflorescencia recurrente.

Se puede remover la mayor parte de la eflorescencia cepillando en seco y luego limpiando a chorros con agua limpia. Las acumulaciones fuertes y los depósitos obstinados de eflorescencia blanca pueden ser quitados con una solución de una parte de ácido muriático con doce partes de agua. Asegúrese de diluir la solución de ácido muriático que usted compre. Las soluciones fuertes de ácido pueden blanquear y desintegrar el concreto coloreado o los bloques de concreto de color. Para mampostería de concreto integralmente coloreada, quizá tenga que usar una solución más diluida de ácido, quizás sólo 2% de ácido.

Siempre pruebe la solución de ácido en una parte que no se note en el muro para asegurarse que no dañará la apariencia del mismo. Si incluso una solución débil decolora la mampostería quizá tenga que tratar la pared entera para evitar una apariencia moteada. No usar soluciones ácidas en ladrillos de arcilla de colores claros café, negro, crema o gris, que contengan agentes colorantes de manganeso; el ácido puede causar manchas verdes o cafés sobre este tipo de ladrillo. Del mismo modo, nunca aplique ácido a la eflorescencia verde; mejor póngase en contacto con el fabricante de ladrillos.

Antes de aplicar la solución de ácido, siempre sature primero el muro con agua, de modo que el ácido no penetre hondo dentro del muro y pueda dañarlo. Entonces aplique



en spray la solución ácida, espere cinco minutos y quite con una brocha la eflorescencia. Después, lave de nuevo la superficie con agua limpia para quitar el ácido. No use herramientas metálicas, brochas de alambre o contenedores metálicos de mezclado. Nunca olvide llevar guantes de hule, lentes y ropas protectoras.

Con frecuencia se recomienda, capas claras repelentes al agua como una solución a los problemas de eflorescencia. Sin embargo; si se aplica un repelente al agua de color claro a un muro que aún contiene humedad y sales, pueden resultar problemas. Aún más dañinos que la eflorescencia. En vez de emigrar hacia la superficie exterior, la mayor parte de las soluciones salinas se detienen en la parte profunda interior del repelente al agua. Entonces es el agua se vaporiza a través de la barrera como vapor y deposita sales dentro de la unidad de mampostería. Eventualmente, esta acumulación de sal puede ejercer una presión tremenda capaz de fisurar la cara de la unidad. En general, usted no debe usar repelentes al agua de color claro como una medida preventiva contra la eflorescencia.

7.1.3.-REMEDIOS.

Los elementos de concreto expuestos a la intemperie, (fachadas, muros de contención, etc.) muestran diferencias pronunciadas en cuanto a humedad o sequedad, después de la lluvia. Dichas diferencias, junto con las partículas finas de suciedad suspendidas en la atmósfera, a veces dan origen a rayas y manchas de suciedad o decoloración por la cal. Las superficies repelentes al agua y a la suciedad no presentan estos fenómenos. Esta repelencia se logra impregnando o sellando la superficie del concreto con tratamientos adecuados, como silanos, siloxanos y acrilatos disueltos sin pigmentación de color. El autor conoce un taller de prefabricados de concretos en Alemania, en el que, a los 4



días de edad de los elementos prefabricados posteriormente estarán expuestos a la intemperie, se les aplica un tratamiento de silano. Después, poco antes de enviarlos al cliente, estos componentes son impregnados de nuevo con un compuesto de silano, mediante un aspersor común del tipo empleado por los productores de fruta en sus árboles. Hasta ahora, invariablemente se ha logrado resultados favorables con este tratamiento hidrofóbico del concreto. Debe señalarse también, que la formación de eflorescencia y de manchas de suciedad en las superficies del concreto, también puede combatirse efectivamente mediante la descarga controlada del agua de lluvia, de los edificios y de otras estructuras.

Cuando los productos y elementos prefabricados de concreto son sometidos a tratamientos térmicos es aconsejable calentarlos lentamente para que no se forme condensación. Durante el almacenamiento de los elementos, debe asegurarse que no se encuentren apilados demasiado cerca entre sí y de que no entren en contacto directo con el agua. Es preferible almacenarlos donde el aire esté húmedo, o cubrirlos con hojas de plástico o con esterillas ligeramente húmedas. Si las superficies tienden a empolvarse, el remedio puede consistir en el empleo de un agente liberador diferente. En este caso los problemas residen en la interacción de sustancias activas presentes en la cimbra; en los aditivos del concreto; en los agentes liberadores, y en los efectos de la temperatura.

En el caso de variaciones de color de la superficie del concreto después del descimbrado, puede ser una buena idea no hacer nada al principio, ya que la experiencia ha demostrado que, como resultado de la exposición a la intemperie, las superficies de concreto generalmente adquieren un aspecto mas uniforme con el tiempo.



7.2.-ELIMINACIÓN DE LA EFLORESCENCIA Y DE LOS DEPÓSITOS DE CAL.

Estos defectos pueden eliminarse fácilmente por medios mecánicos, especialmente mediante cepillado cuando se aplica poco después de su formación. El uso del cepillo de alambre tiene la desventaja de su acción abrasiva, que deja partículas finas de acero sobre la superficie del concreto, las que subsecuentemente, pueden originar machas de oxidación. Un material abrasivo más adecuado es la espuma de vidrio, disponible comercialmente para estos fines. No obstante, las superficies de concreto de las que se ha eliminado la eflorescencia y los depósitos por este medio, tienden a desarrollar estos defectos una y otra vez. Obviamente, es costoso repetir el tratamiento mecánico de limpieza de tiempo en tiempo. Un enfoque más prometedor consiste en mojar completamente las superficies afectadas, dejando que el agua actúe sobre las superficies durante varias horas y después lavarlas con ácido fosfórico diluido (dilución 1:10 a 1:5). Finalmente, las superficies deben enjuagarse completamente con agua limpia, para que no quede rastro alguno del ácido sobre las capas de la superficie del concreto. Antes de aplicar este tratamiento, es conveniente efectuar algunas pruebas preliminares sobre una pequeña área seleccionada del elemento o de la estructura. A veces ocurre que partes de la superficie del concreto se desprenden por el tratamiento y entonces, las diferencias de textura, previamente ocultas, se hacen visibles y estéticamente objetables. Existe en el comercio una amplia gama de productos especiales para el tratamiento de las superficies del concreto. Por supuesto, estos productos deben aplicarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante o del proveedor. Siempre es aconsejable practicar pruebas preliminares en pequeñas áreas seleccionadas de la estructura.



7.3.-ELIMINACIÓN Y PREVENCIÓN DE INCRUSTACIONES DE CAL.

Para resolver estos problemas se deben tratar, en lo posible, las filtraciones o flujos de agua que los causan. A veces la manera más sencilla de hacerlo es cubriendo las partes porosas del concreto con resinas epóxicas. En algunos casos será suficiente con esperar sencillamente a que el concreto se "autocure". Cepillar la pasta de cemento dentro de las grietas continuas también puede ayudar a obtener el resultado deseado. Las incrustaciones que se adhieren tenazmente a la superficie del concreto tendrán que eliminarse por medios mecánicos; en algunos casos excepcionales será necesario utilizar cincel y martillo; dándole después a la superficie, el tratamiento con ácido ya descrito. En este contexto es apropiado mencionar la aplicación de chorro de arena. Se trata de un método drástico que elimina la pasta del cemento endurecida en la superficie del concreto por acción abrasiva, y deja expuestas las partículas de agregado, se produce así, una textura característica que difiere marcadamente de la superficie no tratada de las áreas circundantes. Esta técnica solo se utiliza en casos extremos y tiene que aplicarse a toda la superficie del concreto del elemento de que se trata, y no solamente a un área limitada.

Resumiendo, puede decirse que la eliminación de depósitos de cal probablemente sea laboriosa y difícil, además de que se corre el riesgo de no lograr un aspecto uniforme de la superficie del concreto tratada.

A fin de minimizar el potencial de la eflorescencia, las estructuras deben diseñarse para reducir al mínimo la entrada de humedad en el concreto. Por ejemplo, las partes superiores de los muros de mampostería de concreto deben cubrirse durante la construcción cuando haya posibilidad de lluvia. La parte posterior de los muros de



retención debe tener un sistema de drenaje para recoger el agua antes de que entre en los muros. Los muros deben también tener lloraderos para permitir que escape el agua. Y los pavimentos de concreto deben instalarse en capas base bien drenadas.



8.-CONCLUSIONES.

Una vez que se ha presentado la eflorescencia, es aconsejable no tomar acción inmediata, sino esperar hasta que el concreto se haya secado lo más posible. Con alguna frecuencia, la superficie del concreto finalmente adquiere un aspecto mas uniforme. Cuando por razones estéticas es esencial un tratamiento correctivo por ejemplo con concreto "arquitectónico" expuesto, será necesario tomar medidas radicales si el cepillado con cepillo de alambre no produce la mejoría deseada. Debe tenerse presente, sin embargo, que cualquier acción que se inicie, tiene el riesgo de causar un cambio adverso y no previsto en la textura de la superficie del concreto.

De manera general, es obvio que los parámetros que más influyen en la formación de eflorescencias y en las variaciones de color del concreto coloreado son simultáneamente la textura y las condiciones de temperatura y humedad de conservación que intervienen inmediatamente después de la fabricación. Respecto a la textura, no todas las clases de capilares desempeñan el mismo papel. Los capilares intermedios comprendidos entre los poros de la pasta de cemento y los macroporos parecen favorecer la formación de eflorescencia.



BIBLIOGRAFIA.

CONSIDERACIONES SOBRE LAS EFLORESCENCIAS DE LOS CONCRETOS APARENTES.

Dutruel,F.

EFLORESCENCIA EN EL CONCRETO.

Kennrly,R.

CAUSAS Y CORRECCIONES DE EFLORESCENCIA EN EL CONCRETO.

Deichsel,T.

ALTO A LA EFLORESCENCIA.

Beall,C.