

GRUPO



Reportes Técnicos

1. NUEVOS PRODUCTOS A MEDIDA PARA USO VIAL 2. HORMIGON DURABLE Y AGUA



Nuevos productos a medida para uso vial

Por Ing. Carlos P. Coutsiers

- ► 1. Introducción.
- ▶ 2. Ligantes: productos a medida para usos especiales.

1. INTRODUCCION

Cuando en la actualidad hablamos de bases y sub-bases con la aplicación de ligantes, nos estamos refiriendo a dos productos claramente diferenciados: cal o cemento.

Las excelentes propiedades de la cal para cambiar las características químicas y mecánicas de los suelos hace que sea un producto muy difundido en las aplicaciones mencionadas. Sólo limitadas por su bajo valor soporte entregado.

En el caso del uso del cemento, brinda excelentes condiciones de resistencia, pero el escaso tiempo disponible de trabajo es un serio limitante al momento de su aplicación. Por otra parte la fuerte microfisuración que se produce en la estructura cuando es necesario el uso de altos tenores, dificulta su aplicación en pavimentos flexibles debido al efecto de la fisuración refleja. La re-utilización de bases y carpetas de rodamiento deterioradas mediante la disgregación del mismo y la incorporación de ligantes cementicios, conocida como técnica de reciclado, es de uso habitual y la aplicación de cementos de uso corriente presenta la misma problemáti-

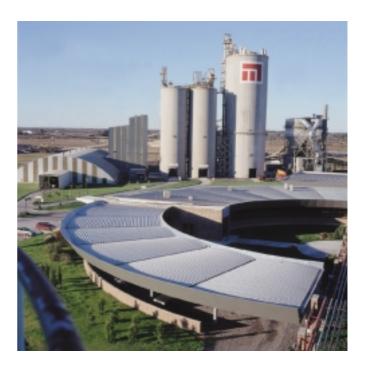
Esta situación actual de la técnica nos conlleva a la necesidad de buscar sistemas constructivos y productos que nos permitan optimizar los procesos neutralizando los mencionados aspectos negativos y potenciando los positivos.

ca ya mencionada.



2. LIGANTES: PRODUCTOS A MEDIDA PARA USOS ESPECIALES

Los Ligantes son productos compuestos por una mezcla de clinker, yeso y altos porcentajes de componentes minerales, que brindan al producto características especiales para su aplicación en obras viales y otros usos especiales.





- ▼ Nuevos productos a medida para uso vial
 - ► 3. Aplicaciones
 - 4. Sub-bases y bases de pavimentos
 - 5. ¿Qué es una mezcla suelo-ligante?



3. APLICACIONES

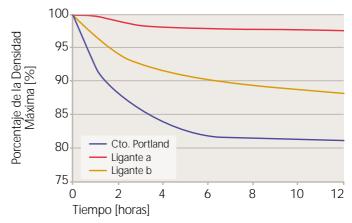
La amplia gama de utilización de los Ligantes puede resumirse en tres grandes áreas:

- Tratamiento de suelos.
- Sub-bases y bases de pavimentos.
- Reciclados de bases y pavimentos deteriorados.

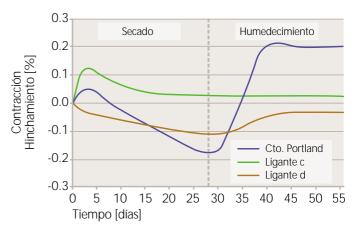
En el tratamiento de suelos, bases y reciclado de pavimentos, reemplaza al cemento y/o a la cal, disponiendo de una gama de Ligantes que se ajustan a las características del suelo a utilizar. El reciclado con cemento es una práctica habitual en EEUU y Europa, presentando interesantes ventajas de tipo técnico económicas.



• Aumento sensible del tiempo de trabajo, permitiendo mayor tiempo de manipuleo con menor pérdida compactabilidad y resistencia.



• Estabilidad volumétrica de la estructura (sub-base o base), mejorando el comportamiento frente a la fisuración por retracción.



4. SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTOS

En esta aplicación el Ligante Minetti tiene ventajas en relación a los materiales tradicionales.

Otorga la capacidad portante requerida y brinda adicionalmente:

5. ¿QUE ES UNA MEZCLA SUELO-LIGANTE?

Es una simple mezcla de suelo pulverizado, cantidades medidas de Ligantes y agua, compactada a alta densidad.

Cumplido el proceso de hidratación del Ligante, la mezcla se convierte en una estructura con un valor soporte acorde con las necesidades mas exigentes de una base.

Se utiliza, principalmente, como base de pavimentos -asfálticos o de hormigón- en caminos, pistas de aeropuertos y aplicaciones similares.

- ▶ 6. ¿Qué materiales necesita en suelo-ligante?
- ▶ 7. Selección del ligante

Las mezclas suelo-ligante permiten una excelente relación entre el nivel de solución técnica y los costos de su aplicación, por lo que se convierte en una alternativa de fácil acceso.





6. ¿QUE MATERIALES NECESITA UN SUELO-LIGANTE?

1. Suelo

Esta palabra tiene el mismo significado que en el caso del suelo-cemento, es decir cualquier combinación de grava, arena, limo y arcilla, e incluye materiales tales como escorias, toscas, etc.

2. Ligante Minetti

La cantidad y tipo de Ligante, el agua a añadir y la densidad a la cual la mezcla debe compactarse, se determina por ensayos de laboratorio.

3. Agua

El agua sirve a dos propósitos, ayuda a obtener máxima compactación -densidad-, lubricando las partículas de suelo, y es necesaria para la hidratación del Ligante Minetti, que endurece y liga el suelo en una masa sólida.

Su ventaja: bajo costo

- Se logra usando materiales locales.
- El suelo representa la mayor parte del volumen de la mezcla y se encuentra en el lugar de la obra o en los alrededores.
- El agua debe cumplir idénticas condiciones que la usada en hormigones y será transportada por cortas distancias.
- Y el Ligante Minetti se dosifica en porcentajes que varían generalmente de un 3% hasta un 10% en función del suelo y las propiedades requeridas.

7. SELECCION DEL LIGANTE

Según el tipo de suelo y los requerimientos estructurales se seleccionará el ligante adecuado.

Ensayos previos necesarios

Como primer paso, se determinará para el suelo a emplear:

- Su clasificación de acuerdo al Sistema HRB
- Densidad máxima y humedad óptima de la mezcla suelo-ligante.

Basándose en los resultados obtenidos en el análisis granulométrico y en el ensayo de com-

pactación, se fijan los porcentajes de Ligantes con los que se ejecutarán los ensayos de compresión simple, a 7, 28 y 56 días.

Al especificar las condiciones a cumplir por la mezcla suelo-ligante, se debe tener presente el importante crecimiento de la resistencia más allá de los 7 días.

6.00 Resistencia a Compresión [MPa] 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 Cto. Portland Ligante 0.00 0 7 14 21 28 35 42 49 56 Edad [días]



Clasificación del suelo

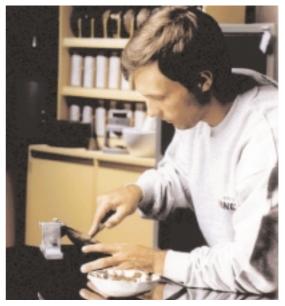
Los suelos se clasifican en siete grupos básicos, según Highway Research Board (H.R.B.), desde el A-1 al A-7, en orden decreciente frente a sus condiciones de capacidad portante y de estabillidad en servicio.

A estos siete tipos básicos, a su vez se los caracteriza con el Indice de Grupo.

El aumento del Indice de Grupo, refleja los efectos combinados de los crecimientos del Límite Líquido e Indice de Plasticidad, y el decrecimiento de los materiales gruesos en detrimento de la capacidad portante.

En función de los requerimientos estructurales se determinará el porcentaje de ligante a utilizar.







- ▶ 8. Clasificación HRB
- 9. Determinación de espesores para vases de suelo ligante

8. CLASIFICACION HRB

	Materiales granulares (Pasante tamiz N° 200 menor o igual a 35%)			Materiales limosos y arcillosos (Pasante tamiz № 200 mayor a 35%)					
Grupos	A1	А3	A2	A 4	A 5	A6	A7		
Porcentaje que pasa tamiz									
N° 10 (2.00 mm) N° 40 (0.425 mm) N° 200 (0.075 mm)	- máx. 50 máx. 25	- mín. 51 mín. 10	- - máx. 35	- - mín. 36	- - mín. 36	- - mín. 36	- - mín. 36		
Características del material pasante tamiz N° 40 (0.425 mm)									
Límite líquido (LL) Indice plástico (IP)	- máx. 6	- no plástico	-	máx. 40 máx. 10	mín. 41 máx. 10	máx. 40 mín. 11	mín. 41 mín. 11		
Indice de grupo	0	0	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20		
Tipo de material	Fragmentos de piedra grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas	Suelos	limosos	Suelos a	arcillosos		

Cálculo del índice de grupo

IG = (PT200 - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (PT200 - 15) (IP - 10)

El índice de grupo permite caracterizar suelos que tienen el mismo comportamiento dentro de un mismo grupo.



9. DETERMINACIÓN DE ESPESORES PARA BASES DE SUELO LIGANTE

Cuando se utiliza suelo-ligante en paquetes estructurales la resistencia se define con el porcentaje de ligante a utilizar en la mezcla, resultando un comportamiento similar a un suelo-cemento.

En cuyo caso si satisface las exigencias de los ensayos de durabilidad (congelamiento y deshielo, humedecimiento y secado) se puede utilizar para el diseño de espesores el método semiempírico para suelo-cemento de la Portland Cement Association.

Este método debidamente corroborado a través de resultados obtenidos a lo largo de muchos años, facilita obtener con gran celeridad el espesor requerido.

Nuestra Area de Servicios Técnicos cuenta con un programa de cálculo de espesores y costos asociados, con la ayuda del cual, se puede detectar la sensibilidad de variación de los costos frente a cada uno de los datos de ingreso, para una evaluación preliminar de la viabilidad de la alternativa planteada.

El cuadro inferior muestra, para un caso hipotético, el resultado de una corrida del programa.

Cálo	culo de Espesores					
Localidad: Buenos Aires Tramo: Acceso Planta Campana						
	Datos					
Vida útil de la base proyecto Tasa anual de crecimiento tránsito Dosaje del Ligante en peso Índice de Grupo de mezcla suelo-ligant CBR de la sub-rasante Módulo reacción sub-rasante	Año % % re % kg/cn		10 2 8 4 15 6,412			
Tránsito medio	diario anual (dato	proyecto)				
Repeticiones						
Peso por eje	Ejes simples	Ejes tándem				
6.35 Tm 9.98 Tm 10.89 Tm 14.52 Tm	5,7 10,5 23,1	4,9				
6.35 Tm 9.98 Tm 10.89 Tm 14.52 Tm 18,14 Tm	5,7 10,5	·				
6.35 Tm 9.98 Tm 10.89 Tm 14.52 Tm	5,7 10,5 23,1	4,9	11.471			
6.35 Tm 9.98 Tm 10.89 Tm 14.52 Tm 18,14 Tm	5,7 10,5	4,9	11.471			

10. PROCESO CONSTRUCTIVO

Las mezclas de suelo-ligante pueden ser obtenidas "in situ" ó en premezcladora, sin necesidad de equipamiento adicional respecto de las soluciones tradicionales con cemento.

Premezcladora:

Los materiales componentes se dosifican en planta fija, logrando uniformidad de la mezcla y su correcta humectación.

A partir de su distribución en el sitio de obra, el procedimiento de compactación y curado es similar al utilizado en la mezcla "in situ".



Mezcla "in situ"

- 1. Escarificación de la zona a tratar, en la profundidad y el ancho necesarios para satisfacer lo requerido en las especificaciones.
- 2. Compactación de la subrasante.
- 3. Pulverización del material escarificado.
- 4. Distribución y mezcla del Ligante Minetti.
- 5. Adición del agua necesaria hasta lograr la humedad óptima y homogeneización de toda la mezcla.
- 6. Compactación.
- 7. **Perfilado** conforme al perfil transversal especificado.
- 8. Curado



En caso de disponer de un equipo reclamador o "Pulvimixer", los puntos 3 y 4 se simplifican permitiendo una reducción en los tiempos de trabajo.

Escarificado

Antes de comenzar el escarificado deberá controlarse prolijamente la rasante -perfiles longitudinales y transversales-.

Luego se realiza el escarificado en la profundidad prevista, lo que permitirá la remoción del material, conformando la "caja". Realizado ésto se compacta la subrasante.

En algunos casos, la operación anterior puede ser modificada cuando en lugar de utilizar el suelo de la subrasante, se utiliza suelo seleccionado de algún yacimiento cercano a la obra. En estas circunstancias puede ser conveniente el uso de una planta premezcladora.

Pulverización del material escarificado

La pulverización del suelo es una operación que puede llevarse a cabo con distintos implementos: motoniveladora, rastra de discos, etc.; según sean sus características, su contenido de humedad y la compactación que tenía antes del escarificado.

· Humedad:

Es una condición importante para la facilidad y rapidez de la pulverización. Hay suelos arenosos que, por tener una pequeña cantidad de arcilla, se endurecen considerablemente cuando han perdido humedad; en estos casos el pulverizado se facilita humedeciéndolos un poco. Cuanto mayor sea el contenido de arcilla de un suelo, tanto mayor será la atención que debe prestarse al contenido de humedad del mismo en el momento de la pulverización.

• Pulverización:

La pulverización se simplifica cuando el suelo a emplear en la mezcla se extrae de préstamos y luego se transporta a la obra, pues en su estado natural los suelos siempre tienen una menor compactación que cuando han soportado la acción del tránsito en los caminos.







La granulometría del suelo desmenuzado debe responder aproximadamente a la siguiente exigencia: no menos del 80% del suelo pasará el tamiz N° 4 (4,76 mm)

Mezcla en seco del suelo y el Ligante

Después de extenderse el suelo con un espesor uniforme sobre el ancho de la calzada, conviene dejar un pequeño espacio entre la capa extendida y el borde de la caja a fin de evitar la incorporación de una mayor cantidad de suelo cuando se comienza el mezclado.

• Distribución del Ligante Minetti:

La práctica más corriente es colocar el contenido de las bolsas a una distancia longitudinal y transversal, que permita su incorporación al suelo en las cantidades necesarias.

Mezcla de materiales:

Esta operación puede hacerse con rastra de dientes flexibles, rastras de discos, motoniveladoras, etc., pudiendo complementarse entre sí el uso de estas herramientas.

• Tiempo de trabajo:

El tiempo máximo recomendable para que se completen las tareas de distribución, compactación y perfilado final, variará de acuerdo al tipo de ligante utilizado, siendo menor para aquellos ligantes más parecidos a un cemento de uso general y mayor para aquellos con mayores contenidos de componentes minerales.

Incorporación del agua a la mezcla

La cantidad de agua a incorporar a la mezcla debe ser tal que la humedad resultante sea la óptima, obtenida del ensayo de compactación. Por lo cual deberá tenerse en cuenta la humedad natural del suelo y las pérdidas por evaporación durante el manipuleo. Estas últimas pueden estimarse en un 1%.

• Riego:

Siempre conviene hacer los riegos de agua con distribuidores a presión y no a gravedad, pues se obtiene un riego más uniforme en toda la superficie. De esta manera también se pueden efectuar pequeños riegos adicionales cuando







sea necesario corregir ligeramente el contenido de humedad de la mezcla.

Teniendo en cuenta que la homogeneización y mezcla de suelo puede hacerse fácilmente cuando el suelo se encuentre con cierta humedad, resulta a veces conveniente y económico regar el suelo pulverizado, sin ligante, y dejarlo en reposo durante una noche para permitir obtener una buena uniformidad de la humedad en toda la masa del suelo. Tan pronto se efectúa el riego es conveniente comenzar a uniformar la humedad con el empleo de rastras u otras herramientas.

Compactación y perfilado

En la mayoría de los casos se realiza con rodillos "pata de cabra", hasta que las salientes del rodillo ya no penetran más de 3 ó 4 cm.

El espesor suelto del material sin compactar se perfila con la motoniveladora y luego se compacta con un rodillo neumático múltiple, continuándose las pasadas y alternando con perfilados ligeros de motoniveladora.

Para el planchado final se aconseja el uso de rodillos tándem, que producen presiones uniformes en ambas ruedas.

Curado

Es muy importante, ya que evita la rápida evaporación y pérdidas de humedad de la superficie durante el período de hidratación, asegurando la calidad del suelo-ligante.

Recomendamos realizar el curado mediante un riego asfáltico.

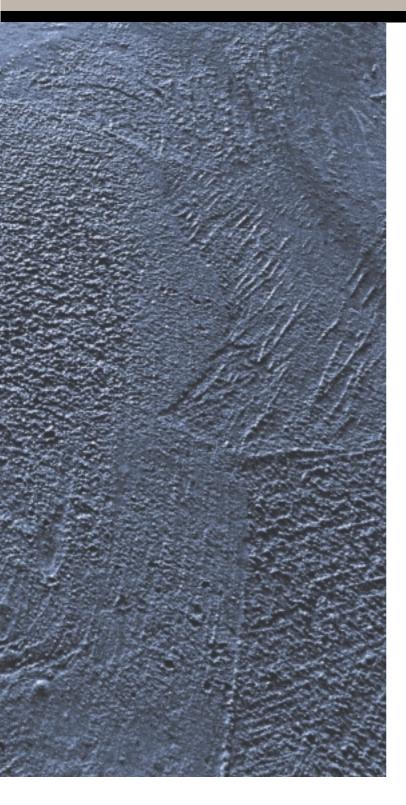
En el caso de utilizar el riego directo de agua, se debe tomar la precaución de mantener la superficie húmeda durante no menos de 7 días.











Hormigón durable y agua

- Introducción
- Se necesita agua para que el cemento reaccione (hidratación)

Introducción

Históricamente, el hombre ha modificado las propiedades de los recursos naturales para producir materiales cada vez más eficientes y fáciles de manejar. En el ámbito de la construcción, el uso de aglomerantes para unir partículas de diversos tamaños no permaneció ajeno a los procesos evolutivos. Existen numerosas evidencias que muestran que ciertas civilizaciones antiguas aprovechaban las propiedades hidráulicas de los cementos naturales decenas de siglos atrás. Actualmente utilizamos tanto cementos artificiales como naturales y aditivos que permiten modificar determinadas propiedades, pero aún hoy el agua es el componente esencial para:

- dar cohesión a partículas que secas se mantendrían separadas.
- lubricar el conjunto de partículas, dándole movilidad y plasticidad.
- disolver compuestos sólidos para permitir la formación de nuevos productos que proporcionan rigidez y resistencia mecánica.

En nuestros días se sabe con precisión que el agua afecta de manera contradictoria a diferentes propiedades del hormigón. Su abundancia favorece el desarrollo de las reacciones de hidratación del cemento y dentro de ciertos límites contribuye a una mayor movilidad del material

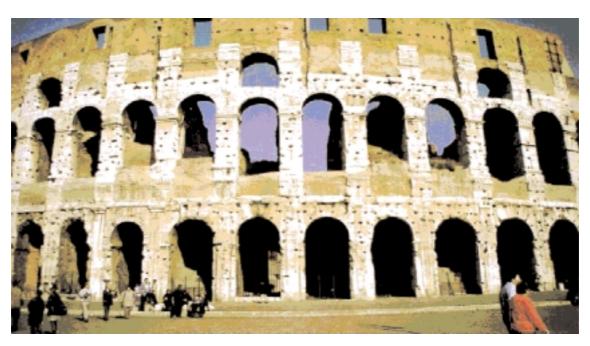
en estado fresco. Por otro lado, el agua en exceso afecta negativamente a la resistencia mecánica, la estabilidad volumétrica y la permeabilidad entre otras propiedades del estado endurecido. Finalmente será el agua del medio ambiente, la que influirá sobre la vida en servicio del hormigón, dependiendo en gran medida de cómo se haya administrado el agua de mezclado y curado durante sus primeras semanas de "vida".

Existe entonces un equilibrio de "pérdidas" y "ganancias" procedentes del uso del agua, que se debe conservar durante el proceso constructivo de una estructura de hormigón para que el resultado final sea satisfactorio.

• Se necesita agua para que el cemento reaccione (hidratación)...

El hormigón fresco es una dispersión saturada de sólidos en agua en la que los granos de piedra, arena y cemento, se mantienen suspendidos gracias a un complejo sistema de fuerzas. Este sistema incluye fuerzas de gravedad, viscosas, de atracción, de repulsión, y de contacto entre partículas, y también es influido por las fuerzas que se le aplican desde el exterior.

Inicialmente, el espacio entre cada partícula sólida es ocupado por agua y burbujas de aire. A medida que transcurre el tiempo el cemento



- Se necesita agua para que el cemento reaccione (hidratación)
- ► Se necesita agua para "mover" el hormigón

reacciona con el agua (hidratación) y los productos de esta reacción comienzan a depositarse sobre los granos y en los espacios que originalmente ocupaban el agua y el aire. Este proceso crea vínculos entre partículas a la vez que va estrechando los espacios vacíos. Así se produce la rigidización del conjunto y se origina una red de capilares conectados que va refinándose progresivamente llegando incluso a bloquearse (figura 2).

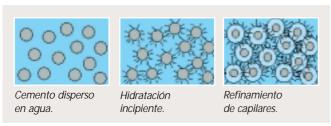


Fig. 2 Etapas en la hidratación del cemento (esquema)

Para que la hidratación progrese satisfactoriamente es imprescindible la existencia de suficiente cantidad de agua, razón por la cual se debe evitar su evaporación. Para que el cemento se hidrate completamente, la relación agua/cemento de la pasta de cemento debe ser entre 0.35 y 0.40. Este valor puede diferir para el caso de un hormigón, sin embargo el concepto de que el agua favorece la hidratación mientras su exceso deja huecos vacíos capilares es válido tanto para la pasta de cemento como para el hormigón (figura 3). Estos vacíos tendrán un gran impacto sobre la resistencia mecánica y durabilidad del hormigón.

Un elevado contenido de agua contribuye a una mejor hidratación del cemento pero genera un gran volumen de espacios vacíos que será mayor en la medida que se incorpora mas cantidad de agua.

• Se necesita agua para "mover" el hormigón...

El agua cumple la función de mantener un estado de equilibrio entre las fuerzas atractivas y separadoras que actúan sobre las partículas que componen el hormigón fresco, por lo tanto el agua afecta la trabajabilidad de las mezclas.

A medida que se incorpora agua en una mezcla, la humectación creciente de las partículas da lugar a un efecto lubricante favorable que, simultáneamente, provee cohesión y movilidad. En determinado momento, el incremento del contenido de agua favorece el predominio de las fuerzas separadoras, entonces líquidos y sólidos tienden a separarse entre sí. Las mezclas pierden cohesión y las partículas más pesadas tienden a decantar, mientras que los líquidos y las partículas más livianas son expulsados hacia arriba. Por lo tanto, existe un punto en el cual el aumento del contendido de agua comienza a ser desfavorable.

La trabajabilidad en sí es un concepto cualitativo que considera tanto propiedades de las mezclas como factores ajenos a ellas. Una mezcla de hormigón sin aditivos, muy plástica puede necesitar unos 170 a 200 litros de agua por metro cúbico para ser trabajada con métodos convencionales de elaboración, transporte, colocación y compactación. Probablemente la misma mezcla no resulte trabajable si se la transporta con cintas inclinadas, se coloca en moldes de pequeños espesores y se compacta por vibración y prensado enérgicos. La trabajabilidad refiere entonces a la facilidad con que se puede transportar, colocar, compactar y terminar el hormigón sin afectar su homogeneidad, lo que también involucra a los recursos empleados en dichas tareas. (figura 4)

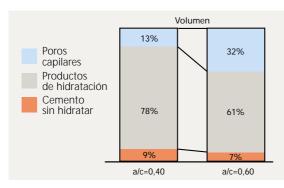
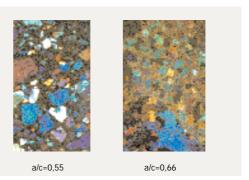


Fig. 3 Porosidad de la pasta de cemento y del hormigón.

izq. Volumen de poros en pastas de cemento con relaciones agua/cemento de 0.40 y 0.60, cuando se ha hidratado el 80% del cemento



der. Matriz más compacta (a/c=0,55) y más porosa (a/c=0,66).Hormigones observados en microscopio con luz polarizada.

▼ Hormigón durable y agua

- Se necesita agua para "mover" el hormigón
- El agua afecta la Resistencia mecánica y la Permeabilidad









Figura 4: Hormigones Trabajables: diferentes mezclas para diferentes medios de colocación, compactación y teminación. Arriba: Mezcla autocompactante - Colocada por bombeo desde el fondo de los encofrados. Abajo: Mezcla de consistencia rígida - Colocada con equipo de alta energía de compactación.

En la actualidad se pueden lograr mezclas de gran movilidad aún utilizando contenidos de agua muy bajos, relaciones agua/cemento del orden de 0,30 y recurriendo al uso de aditivos superplastificantes. Sin embargo, aún se produce un importante volumen de hormigones fluidos en los que se utilizan contenidos de agua excesivos. Por tal motivo son numerosos los casos en que la cantidad de agua excede a las necesidades de hidratación del cemento originando hormigones muy porosos. Este tipo de situaciones debe ser a evitada.

Las condiciones de trabajabilidad deben ser alcanzadas utilizando la menor cantidad de agua posible.

El agua afecta la resistencia mecánica y la permeabilidad...

Se ha mencionado que el contenido relativo de agua afecta la porosidad capilar de la pasta de cemento y del hormigón. En general la resistencia mecánica de los materiales es fuertemente afectada por la presencia de discontinuidades que exceden de un determinado tamaño. Discontinuidades como los poros capilares (0.01 a 10 µm) tienen un fuerte efecto sobre la resistencia y la permeabilidad. La figura 5 muestra que un elevado contenido de poros capilares se corresponde con una baja resistencia mecánica y una alta permeabilidad en la pasta de cemento endurecida.

Si bien los poros se cierran progresivamente con el avance en la hidratación del cemento, llegando incluso a bloquearse, se ha establecido que con relaciones agua/cemento superiores a 0,58 el bloqueo de capilares en la pasta es imposible. Esto implica que queda un importante sistema conectado de poros que explica el brusco aumento de la permeabilidad que se observa en la figura cuando la porosidad de la pasta excede al 25%.

- El agua afecta la Resistencia mecánica y la Permeabilidad
- ► El agua afecta la estabilidad dimensional

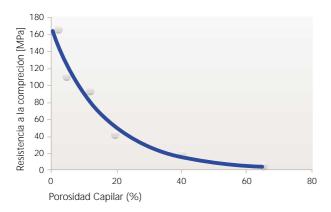
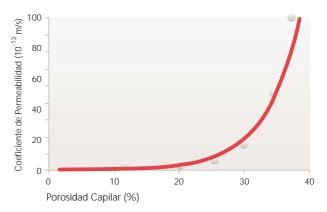


Figura 5: Izq: Resistencia a compresión de la pasta de cemento en función de la porosidad según Verbeck.



Der: Permeabilidad de la pasta de cemento en función de la porosidad según Neville.

La presencia de agregados en el hormigón tiene efectos sobre la resistencia mecánica y los mecanismos de transporte de fluidos, de todos modos los efectos generales del agua sobre la resistencia y la permeabilidad son válidos tanto para la pasta como para el hormigón.

Dos importantes conceptos derivan de estas observaciones. Primero, como la permeabilidad del hormigón gobierna el ingreso de sustancias agresivas, el aumento del contenido de agua de mezclado conduce a hormigones menos durables. Segundo, las mayores resistencias mecánicas están estrechamente vinculadas con las permeabilidades más bajas y viceversa. Por esta razón los reglamentos y recomendaciones de construcción actuales tienden a relacionar la aptitud durable del hormigón con una magnitud práctica de manejo confiable a escala de obra como es la resistencia a compresión.

El incremento del contenido de agua de una mezcla conduce a hormigones con menores resistencias mecánicas y durabilidad.

El agua afecta la estabilidad dimensional...

La contracción y el creep son fenómenos que involucran deformaciones relacionadas con la pérdida de agua en el hormigón. El fenómeno de contracción se vincula con deformaciones que pueden ocurrir en el hormigón fresco o endurecido debido, a la evaporación del agua, mientras que el creep incluye también a los

efectos que tienen las cargas aplicadas en el largo plazo.

Las piezas de hormigón más delgadas tienen mayor superficie expuesta al medio ambiente, por lo que pierden humedad con mayor facilidad, y resultan ser más sensibles a los cambios dimensionales. (Figura 6).

Algunas consecuencias de los cambios dimensionales no previstos pueden ser fisuración del hormigón fresco o endurecido, deformación

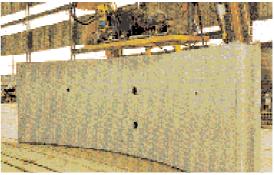




Figura 6: Estructuras y componentes de hormigón con gran superfice expuesta (arriba) lámina premoldeada en estado endurecido, (abajo) pavimento de hormigón recién colocado.

- El agua afecta la estabilidad dimensional
- Curado: evitar la pérdida de agua para permitir la hidratci;on

excesiva, aumentos en la curvatura de elementos esbeltos sometidos a cargas, y pérdidas de esfuerzos de tensado en hormigones pretensados.

La pasta de cemento es la parte deformable de los hormigones con agregados de peso normal, mientras que los agregados restringen las deformaciones. En consecuencia un elevado volumen de pasta de cemento disminuye la estabilidad dimensional. El aumento del contenido de agua incrementa el volumen de pasta en el hormigón dando hormigones dimensionalmente menos estables (figura 7). Adicionalmente, el aumento del contenido de agua produce una pasta de menor calidad con mayor tendencia a la fisuración por contracción y a las deformaciones por creep.

Los cambios dimensionales no previstos pueden afectar tanto la aptitud para resistir esfuerzos como producir fisuras que permitan el ingreso de sustancias agresivas. Por lo tanto un hormigón mecánicamente apto y durable debe ser estable en sus dimensiones.

En un hormigón correctamente proporcionado, el aumento del contenido de agua disminuye la estabilidad de sus dimensiones.

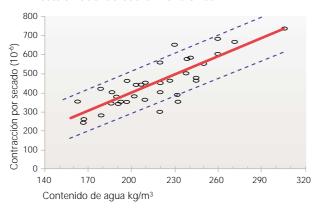


Figura 7: Efecto del agua sobre la magnitud de la contracción del hormigón según Shacklock y Keene.

Curado: evitar la pérdida de agua para permitir la hidratación...

Una pasta de cemento portland normal con una relación agua/cemento entre 0.45 - 0.50 puede bloquear sus capilares en 7a14 días de hidratación ininterrumpida. Estos valores son muy similares a los que se sugieren para la duración mínima del curado húmedo del hormigón en condiciones normales. Sin embargo la necesidad

de curado también depende de las características del hormigón y del medio ambiente. Por ejemplo, el tiempo de curado puede diferir si se trata de un hormigón elaborado con cemento portland normal, de alta resistencia inicial ó de alto horno, o bien si las mezclas contienen aditivos que pueden alterar la velocidad de hidratación del cemento. Pero también pueden ser distintas las necesidades de curado para un mismo hormigón si el mismo es colocado en tiempo cálido ó en tiempo frío.

Para evitar interrumpir la hidratación mientras el hormigón desarrolla sus aptitudes mecánicas y durables debe asegurarse la existencia de una suficiente cantidad de agua. Este objetivo se logra protegiendo al hormigón de la evaporación, aportando agua desde el exterior ó combinando ambas medidas (figura 8).





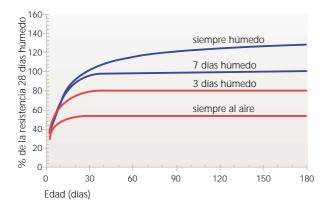
Figura 8: Métodos de Curado. Arriba: cobertura con telas absorbentes, membrana impermeable y riego. Abajo: por inundación.

Evitar la pérdida de agua, no solo permite el normal desarrollo de la hidratación del cemento sino que además, colabora a evitar la fisuración por cambios dimensionales durante las primeras edades del hormigón.

El aporte de abundante agua de curado tiene sólo efectos beneficiosos que se manifiestan en el desarrollo de resistencia mecánica y de resistencia al ingreso de sustancias nocivas. (figura 9)

▼ Hormigón durable y agua

- Curado: evitar la pérdida de agua para permitir la hidratci;on
- El agua del medio ambiente, principal agente de deterioro del hormigón



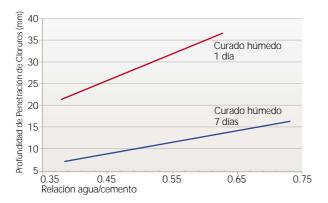


Figura 9: Arriba: Efecto del curado sobre la resistencia mecánica de hormigón según Price.

Abajo: Efecto del curado sobre la penetración de cloruros en el hormigón según González y otros.

El agua del medio ambiente, principal agente de deterioro del hormigón...

Excepto casos muy particulares, los mecanismos de agresión al hormigón tienen al agua ya sea como vehículo de sustancias agresivas o como agente destructivo.

La corrosión de armaduras del hormigón es imposible si el agua como electrolito, o bien su "movilidad" es insuficiente para desarrollar las reacciones electroquímicas de corrosión. Los sulfatos del medio ambiente no son nocivos si no existe agua para disolverlos y transportarlos hacia el interior del hormigón y sin agua tampoco hay posibilidad de ataque ácido. Sin aporte de agua no existe reacción expansiva entre álcalis y sílice reactiva, las arcillas expansivas no ocasionan expansión, y no existe riesgo de deterioro por congelamiento y deshielo.

La principal barrera contra el ingreso de aguas agresivas es un hormigón compacto, y volumétricamente estable, en el que el agua ha sido correctamente administrada desde la elaboración, hasta el curado" (figura 10)



Figura 10: Aporte de agua y vida en servicio en una estructura de hormigón

Administrar racionalmente el agua en una estructura de hormigón es sencillo y económico, y en la mayoría de los casos involucra los mismos recursos que se utilizan cuando se la administra de manera descuidada. Depende entonces de tomar conciencia de que unos pocos días de manejo racional del agua se convierten en años en términos de vida útil para una estructura. En esencia es una decisión de ganar o perder dinero.