

Cemento

Hormigón durable a ciclos de Hielo y Deshielo

1. [Introducción](#)
2. [¿Qué es el agua de amasado?](#)
3. [¿Qué rol cumple el agua de amasado en el hormigón?](#)
4. [¿Qué requisitos de calidad debe cumplir el agua de amasado?](#)
5. [¿Existe algún criterio para evaluar la aptitud del agua no potable o de fuente desconocida, cuando no es posible contar con análisis completos de laboratorio?](#)
6. [¿Cómo influye la cantidad de agua en la resistencia del hormigón? ¿Qué es la relación Agua/Cemento?](#)
7. [¿Cómo se explica que la resistencia del hormigón dependa principalmente de la relación Agua/Cemento y no de la cantidad de cemento?](#)
8. [¿Qué cantidad de agua de amasado debe usarse para la confección de las mezclas?](#)
9. [¿Qué relación tiene la cantidad de agua de amasado con el asentamiento de cono?](#)
10. [¿Existe una relación directa entre el asentamiento de cono y la resistencia del hormigón?](#)
11. [¿Influye una mayor cantidad de agua de amasado en otras propiedades del hormigón?](#)
12. [¿Existen algunas reglas prácticas a considerar con el agua de amasado?](#)
13. [Anexo 1.- Ejemplo práctico: Pérdida de resistencia a compresión por inclusión adicional de agua de amasado.](#)
14. [Anexo 2.- Resumen requisitos NCh1498.](#)

1.- Introducción.

El presente WebTip pretende mostrar en forma sencilla y clara la importancia de la cantidad y calidad del agua en la confección del hormigón. Por simplificación utilizaremos en este documento el término hormigón para referirnos a cualquier mezcla constituida por cemento, áridos, agua y aditivos (como hormigón, mortero y lechadas).

[Volver](#)

2.-¿Qué es el agua de amasado?

El agua de amasado o agua libre es el agua contenida en el hormigón fresco, descontada el agua absorbida por los áridos.

[Volver](#)

3.- ¿Qué rol cumple el agua de amasado en el hormigón?

El agua de amasado cumple dos roles fundamentales:

1. Hidratar al cemento para formar una pasta que pueda fraguar y posteriormente endurecer, convirtiéndose en el cementante requerido para unir las partículas de áridos. En forma sencilla, podemos considerar al cemento como un pegamento en polvo que requiere agua de mezcla para ser usado. La cantidad de agua necesaria para activar químicamente al cemento es aproximadamente un 28 % de su peso. Es decir, se necesitan como mínimo unos 28 litros de agua para hidratar por completo 100 kg de cemento. Sin embargo, si usamos esta cantidad de agua, la mezcla resultaría extremadamente seca y no manejable en obra (trabajable).
2. Otorgar trabajabilidad o fluidez a la mezcla de hormigón para que pueda ser utilizado en obra. La cantidad de agua necesaria para esta función es adicional a la requerida para combinarse químicamente con el cemento.

[Volver](#)

4.-¿Qué requisitos de calidad debe cumplir el agua de amasado?

Los requisitos de calidad o composición química que debe cumplir el agua de amasado se establecen en la norma chilena NCh1498. En resumen, esta norma especifica requisitos a los valores de pH, sólidos en suspensión, sólidos disueltos, materia orgánica, cloruros y sulfatos solubles presentes en el agua de amasado; establece que el agua potable será

siempre apta para la confección de hormigones; no permite el uso de agua que contenga azúcares (sacarosa, glucosa o similares) y acepta el uso de agua de mar solamente en hormigones simples (sin armaduras) de grado inferior a H15 (ver [Anexo 2](#)). Nuestra experiencia, basada en el análisis y uso exitoso de agua proveniente de diversos ríos, pozos y napas a lo largo de todo el país, muestra que rara vez la composición química del agua ocasiona problemas en el hormigón. Sin embargo, cuando el agua no sea potable o de fuente desconocida, debe verificarse su aptitud antes de utilizarla en la confección de hormigones.

[Volver](#)

5.- ¿Existe algún criterio para evaluar la aptitud del agua no potable o de fuente desconocida, cuando no es posible contar con análisis completos de laboratorio?

Sí. En el caso de duda acerca de la aptitud del agua para fabricar hormigones y no sea posible contar con análisis completos de laboratorio, el agua puede ser aceptada si al menos dos muestras de hormigón confeccionadas con dicha agua reportan resistencias a compresión a 7 y 28 días superiores al 90% de la resistencia obtenida en muestras confeccionadas con agua potable (muestras patrón). Las muestras deben ser fabricadas, curadas y ensayadas en iguales condiciones, y usando los mismos materiales exceptuando el agua. En ciertas ocasiones, bastará la aceptación o rechazo con los datos obtenidos a 7 días.

[Volver](#)

6.- ¿Cómo influye la cantidad de agua en la resistencia del hormigón? ¿Qué es la relación Agua/Cemento?

La investigación y la experiencia han demostrado que el factor de mayor importancia en la resistencia del hormigón es el cociente entre la cantidad de agua de amasado y la de cemento (Ley de Abrams, 1919). Este cociente se denomina relación Agua/Cemento (abreviada A/C) y se expresa como fracción en peso de los materiales. Para un tipo de cemento, a menor relación A/C mayor resistencia (ver Figura 1).

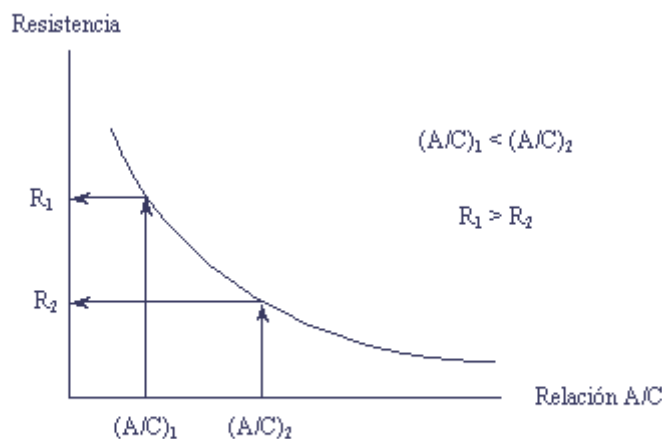


Fig. 1. Resistencia versus relación (A/C)

Además, se ha determinado que la resistencia del hormigón sigue dependiendo principalmente de la relación A/C incluso ante variaciones en sus componentes (proporción de áridos, dosis de cemento o agua), siempre que los áridos sean de calidad, la mezcla sea plástica, trabajable y no presente segregación.

De esta forma, si la dosis de cemento es constante, a mayor cantidad de agua la resistencia será menor.

[Volver](#)

7.- ¿Cómo se explica que la resistencia del hormigón dependa principalmente de la relación Agua/Cemento y no de la cantidad de cemento?

Explicaremos esto a través de un ejemplo muy sencillo. Consideremos el caso de dos mezclas constituidas solamente por cemento y agua. La primera se prepara usando 4 sacos

de cemento (170 kg) y la segunda 6 sacos (255 kg). Supongamos que en ambos casos el agua de amasado corresponde a un 50% del peso del cemento (relación Agua/Cemento igual a 0.50), es decir, 85 litros y 127.5 litros respectivamente.

De acuerdo a estas cantidades, la mezcla constituida por 6 sacos es más rica en cemento. Sin embargo, considerando el peso de los materiales (ver [Tabla No. 1](#)), fácilmente se puede verificar que con esta mezcla se ha fabricado un 50% más de pasta (mezcla de cemento y agua) que con la de 4 sacos. Por lo tanto, se puede concluir que en realidad ambas mezclas tienen exactamente la misma calidad de pasta, sólo que en un caso se ha producido mayor cantidad.

Tabla No. 1. Ejemplo mezclas igual relación A/C, diferente cantidad de cemento.

| Materiales | Mezcla 1 | Mezcla 2 |
|-------------------------------------|------------------|------------------|
| Cemento | 4 sacos (170 kg) | 6 sacos (255 kg) |
| Agua | 85 litros | 127.5 litros |
| Relación A/C | 0.50 | 0.50 |
| Volumen de pasta producida (aprox.) | 150 litros | 225 litros |

Finalicemos nuestro ejemplo agregando los áridos necesarios en cada caso para completar un metro cúbico de hormigón. Dado que en la primera mezcla hemos fabricado menor cantidad de pasta, necesitaremos mayor cantidad de áridos para obtener igual volumen. Sin embargo, en la práctica las cantidades de agregados no diferirán mayormente. Dado que en la mayoría de los hormigones la resistencia depende principalmente de la calidad de la pasta, podemos concluir que hormigones de igual relación A/C, aún teniendo dosis distintas de cemento, tendrán resistencias muy similares.

[Volver](#)

8.-¿Qué cantidad de agua de amasado debe usarse para la confección de las mezclas?

Como regla general, la cantidad de agua de amasado debe ser siempre la menor compatible con la obtención de un buen mezclado (hormigón homogéneo) y con la aptitud para ser manejado en obra, esto es, transportado, depositado y compactado. Lo anterior se debe a que un hormigón confeccionado con la menor cantidad de agua tendrá:

1. El menor costo. El hormigón alcanzará su resistencia especificada con una menor dosis de cemento, dado que en general la resistencia está determinada por una relación fija A/C.
2. El menor riesgo de fisuración por retracción plástica, ya que existirá menos agua evaporable.
3. La mayor densidad (menos porosidad) y por ello será potencialmente un hormigón más resistente y durable.

En una obra normalmente el constructor sabe que el hormigón fabricado con la menor cantidad de agua será en definitiva más barato y de mejor calidad. A su vez, el personal que confecciona el hormigón sabe que exceder la cantidad de agua de diseño durante su fabricación puede comprometer su resistencia. Sin embargo, la cuadrilla de hormigonado habitualmente exigirá mezclas más fluidas, para así facilitar su colocación y compactación. Esta situación, que se da en todo tipo de obras, obliga a compatibilizar previamente (durante el diseño) las demandas de trabajabilidad del hormigón, considerando los requerimientos de todos los involucrados.

[Volver](#)

9.-¿Qué relación tiene la cantidad de agua de amasado con el asentamiento de cono?

Tienen una relación directa: a mayor cantidad de agua de amasado mayor asentamiento de cono (o simplemente cono). En general, para un cono dado la cantidad de agua de amasado en un hormigón dependerá principalmente del tamaño máximo de sus áridos. Otros factores que influyen en menor medida son el contenido de cemento y la temperatura del hormigón.

[Volver](#)

10.-¿Existe una relación directa entre el asentamiento de cono y la resistencia del hormigón?

No. La resistencia mecánica del hormigón depende principalmente de la relación Agua/Cemento y no de su trabajabilidad.

Sin embargo, debemos aclarar este punto, ya que es uno de los mitos más generalizados en la práctica del hormigón. La confusión proviene de prácticas realizadas durante muchos años, en que el asentamiento de cono usual para la mayoría de los hormigones era de unos 6 cm. Evidentemente si a un hormigón diseñado para poseer una resistencia especificada y asentamiento de cono 6 cm posteriormente se le agrega agua para aumentar su trabajabilidad, en definitiva lo que se está haciendo es aumentar su relación A/C, por lo que su resistencia disminuirá. Por ello, aún es posible encontrar personas reacias a usar hormigones de cono mayor que 6 cm, ya que se obtendrán menores resistencias. Sin embargo, un hormigón diseñado con asentamiento de cono superior al de cono 6 cm, pero menor relación A/C, alcanzará resistencias superiores.

La tendencia actual es utilizar hormigones de asentamientos de cono mayores que el histórico cono 6 cm. Esto ha sido posible técnica y económicamente debido al gran avance en la tecnología de aditivos. Hoy en día es común el uso de hormigones con asentamiento de cono de 10 a 15 cm en obras de edificación, no necesariamente colocados con bomba. En otros casos, como elementos esbeltos, gran densidad de armaduras o algunos prefabricados estructurales, es común el uso de hormigones con asentamiento superior a 20 cm.

En resumen, cuando se tiene claridad de la trabajabilidad requerida para una aplicación en particular, cualquiera que ésta sea, el hormigón puede ser diseñado para cumplir con la resistencia especificada sin comprometer su calidad.

[Volver](#)

11.- ¿Influye una mayor cantidad de agua de amasado en otras propiedades del hormigón?

Sí. Además de influir directamente en la resistencia mecánica del hormigón a través de la relación A/C, la cantidad de agua de amasado afecta otras características como potencialidad de fisuración plástica, retracción del largo plazo, densidad, permeabilidad y en un concepto más amplio, la durabilidad del hormigón.

En general, a mayor cantidad de agua de amasado se obtendrán hormigones de mayor probabilidad de fisuración, retracción, de menor densidad, mayor permeabilidad y menor durabilidad. Sin embargo, la influencia cuantitativa del exceso de agua en estas características no es tan clara como en el caso de la resistencia, ya que además dependen de otros factores como las condiciones y efectividad del sistema de curado, la temperatura ambiente, la composición del hormigón, la calidad de los áridos, etc.

[Volver](#)

12.-¿Existen algunas reglas prácticas a considerar con el agua de amasado?

Sí. Es importante tener presente que agregar 3 litros adicionales de agua por metro cúbico de mezcla causará que el hormigón:

- 1. Disminuya su resistencia a compresión en unos 7 kg/cm² (vea ejemplo del [Anexo 1](#)).**
- 2. Disminuya su densidad en unos 5 kg/m³.**
- 3. Aumente su asentamiento de cono en alrededor de 1 cm**

[Volver](#)

Anexo 1.- Ejemplo práctico: Pérdida de resistencia a compresión por inclusión adicional de agua de amasado.

A continuación presentamos un ejemplo, con valores reales de obra, para mostrar cómo la adición de agua por sobre la de diseño degrada la resistencia a compresión del hormigón. En la primera fila de la [Tabla No. 2](#) se encuentra el hormigón original o de diseño, que contiene 20 litros de agua por saco de cemento, un asentamiento de cono de 7 cm y posee

una relación A/C de 0.47, que define una resistencia potencial de 100%. En las filas siguientes se muestra cómo la adición de agua a este hormigón original hace que su resistencia disminuya.

Tabla No. 2. Ejemplo pérdida de resistencia a compresión por adición de agua por sobre la de diseño.

| Cemento usado Por carga | Agua agregada por saco (litros) | Cono medido (cm) | Relación A/C | Resistencia relativa a 28 días | Pérdida de resistencia |
|----------------------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 1 saco (42.5 kg) | 20 > | 7.0 | 0.47 | 100% | - |
| | 21 | 8.0 | 0.49 | 94% | 6% |
| | 22 | 10.0 | 0.52 | 85% | 15% |
| | 24 | 13.0 | 0.56 | 75% | 25% |

Conclusiones:

1.- Agregar sólo 1 litro de agua por saco disminuye la resistencia al menos en un 6%. Esto significa que si queremos recuperar la resistencia inicial (recuperar relación A/C de 0.47), tendremos que agregar 2.1 kg adicionales de cemento (un 5% más). Esto por supuesto aumentará los costos de producción. Cuando se agregan 4 litros de agua, la recuperación de resistencia se traduce en un 20% adicional de cemento.

2.- El ejemplo muestra que la dosis de agua adicional se relaciona directamente con el asentamiento de cono, y éste a su vez con la resistencia. Sin embargo, esto no siempre sucede. Un ejemplo típico es la continuidad en el uso de una arena que ha aumentado su finura en forma notoria. Una arena más fina demandará en el hormigón más agua para obtener igual trabajabilidad. Si se agrega esta agua adicional sin aumentar la cantidad de cemento la relación A/C aumentará, con la consecuente pérdida de resistencia. Así, la resistencia puede caer hasta un 30% sin que nadie lo note, ya que el hormigón mantendrá su cono e incluso su aspecto.

3.- Se debe tener presente que aún si el asentamiento de cono se relacionara directamente con la resistencia, este método no sería efectivo en control de la mezcla. Esto debido a que las mediciones de cono no se realizan en forma continua, y entre una y otra medición se pueden elaborar muchas amasadas con cantidades de agua no cuantificada.

[Volver](#)

Anexo 2.- Resumen requisitos NCh1498. Tabla No. 3 Requisitos químicos básicos según NCh1498.

| Requisito químico | Unidad | Valor Límite | Norma ensayo |
|---|----------|--------------|----------------|
| Valor de pH | - | 6 a 9.2 | NCh143 |
| Sólidos en suspensión | mg/litro | £ 2 000 | NCh416 |
| Sólidos disueltos | mg/litro | £ 15 000 | NCh416 |
| Materia orgánica (como oxígeno consumido) | mg/litro | £ 5 | NCh148 Anexo B |

Tabla No. 4 Requisitos químicos complementarios según NCh1498.

| Requisito químico | Unidad | Valor Límite | Norma ensayo |
|--|--|--------------|----------------------------------|
| Cloruros a) Hormigón armado b) Hormigón pretensado | -kg Cl ⁻ /m ³ hormigón | 1.20 | NCh148 Anexo C NCh148 Anexo C |
| | kg Cl ⁻ /m ³ hormigón | 0.25 | |
| Sulfatos solubles en agua Para todo hormigón | kg SO ₄ ⁻² /m ³ hormigón | 0.60 | NCh420 |

Notas:

- a) Puede emplearse agua de calidad y origen desconocido, siempre que se cumplan los requisitos de la [Tabla No. 2](#). Si el contenido de sólidos disueltos resulta mayor que 5 000 mg/L, el agua además debe cumplir con la [Tabla No. 2](#).
- b) El contenido de ion cloruro (Cl^-) y ion sulfato (SO_4^{-2}) se refiere al total aportado por todos los ingredientes en la masa de hormigón (agua, áridos y aditivos).

[Volver](#)