

Reducción de la contracción en el concreto

Contracción por secado. Métodos de medición de la contracción por secado. Aditivos y humedad. Uso de materiales alternativos. Bases de datos en contracción.

Contracción por secado

Referencia

Ricardo Alatorre Beltrán (Concrea Ingenieros, México). *Concreto de Contracción Compensada*. Presentado en: World of Concrete México 2006. IMCYC.

Durante muchos años, **todo concreto se contrae**. La mayor parte de la contracción se observa en los primeros 90 días. El comportamiento de un piso de concreto ante la contracción, depende las restricciones que se le ha impuesto al mismo, siendo el agrietamiento y el alabeo, los efectos más indeseables.



Causas del agrietamiento

Se distinguen las siguientes:

El secado superficial rápido, correspondiente a una contracción plástica inicial.

Los apoyos no uniformes.

Las esquinas entrantes. U otra geometría irregular.

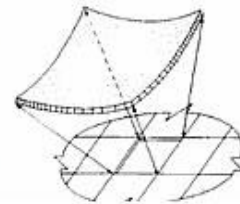
Los excesos de carga.

Diseño inadecuado de juntas.

Otras restricciones impuestas a la contracción

por secado.

Alabeo y despostillado de juntas



El despostillado de juntas es atribuido a las siguientes razones.

La necesidad de una mayor separación de las juntas por alta contracción por secado en el concreto.

Los alabeos excesivos.

Transferencia irregular

de la carga en el piso.

De otra parte, en un concreto convencional, se reduce el alabeo al disminuir el espaciamento de juntas. También se consigue, al controlar la distribución homogénea de humedad en el piso. Igualmente, por incluir refuerzo lo más arriba posible. Y también por el empleo de **concreto de baja contracción al secado**, o del **concreto de contracción compensada**.

Concreto convencional y concreto de contracción compensada

El siguiente cuadro resume las diferencias de comportamiento respecto a la contracción, entre un concreto convencional y otro de contracción compensada, a partir de las 24 horas.

Comparación respecto a la contracción por secado		
Tiempo	Concreto convencional	Concreto de contracción compensada
1 a 7 días	Empieza la contracción por secado formándose grietas por debajo de los cortes para juntas (a aproximadamente cada 4 m de longitud)	Al comienzo, el concreto de este tipo se expande en una cantidad ligeramente superior al potencial de contracción por secado en un concreto convencional.
30 a 90 días	Continúa aumentando la contracción por secado. Los cortes de las juntas se abren más (de 3 mm al comienzo hasta 6 a 10 mm). Empieza a presentarse el fenómeno del alabeo del piso.	El piso presenta contracción por secado, pero debido a la expansión inicial, no evidencia grietas ni alabeo. No se necesita de cortes para juntas.

La ettringita

La **compensación de la contracción** se consigue por el uso de **cementos expansivos**. A su vez, esto se logra por la introducción de aluminio y la correspondiente formación de ettringita (sulfo aluminato de calcio o sal de Candlot), la misma que debe ser controlada pues produce daño en exceso.

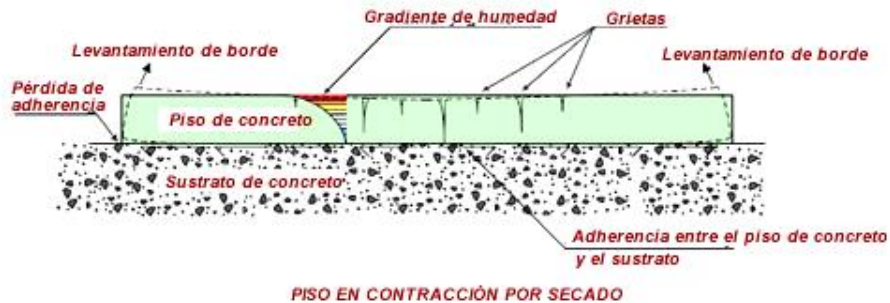
Métodos de medición de la contracción por secado

Referencia

Jonas Carlsward. *Shrinkage cracking of steel fibre reinforced self compacting concrete overlays. Test Methods and theoretical modeling*. Doctoral Thesis. Lulea Tekniska Universitet. Sweden. 2006.

Las grietas o el despostillado en pisos que cubren sustratos de concreto son de especial preocupación al aparecer en estacionamientos, puentes, almacenes, o acabados en general. Las formas como se presentan, están relacionadas con las diferentes deformaciones entre el sustrato y el piso, originados por la contracción por secado, las variaciones de temperatura, los asentamientos, o las cargas externas.

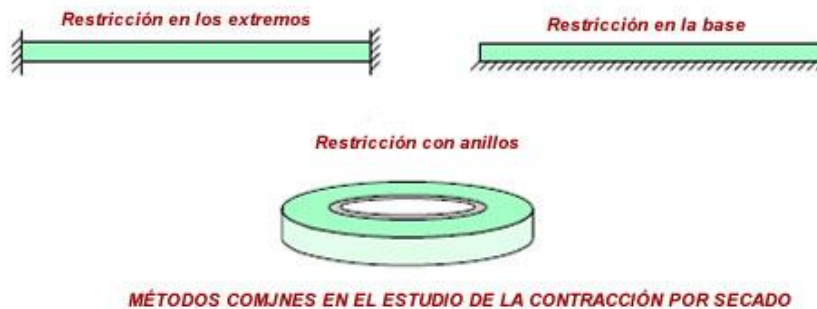
Los movimientos de contracción por secado en el piso causan esfuerzos de tensión por las restricciones impuestas por el sustrato. Al alcanzar estos esfuerzos la resistencia del material del piso, aparecerán y se propagarán las grietas. También estas restricciones inducen alabeos (levantamientos en los bordes).



Una medida alternativa para minimizar el riesgo de agrietamiento y alabeo es la introducción de **aditivos para reducir la contracción** (*shrinkage reducing admixture, SRA*), una técnica probada en los últimos 15 años y que proporciona un método reconocido como aceptable para este control.

Métodos para medir la contracción por secado

La tesis señala en tres, los métodos más comunes para estudiar el agrietamiento producido por la contracción del concreto, los mismos que dependen del tipo de restricción al que es sometido la muestra.



- El **método de la restricción en los extremos** resulta apropiado para una evaluación directa de los efectos del tipo de refuerzo en el agrietamiento del concreto.
- La **restricción en la base** reproduce las condiciones reales de un piso sobre un sustrato. Sin embargo, resulta difícil controlar las condiciones de adherencia de la cual van a depender las grietas.
- **La prueba del doble anillo** (el exterior puede ser de concreto) es, debido a su simplicidad, el más divulgado de los métodos de prueba. El grado de restricciones está bien definido. Sin embargo, es un método discutido cuando se le quiere usar para indagar sobre la influencia de la fibra de refuerzo en el agrietamiento.

Aditivos y humedad

Referencia

Jason Weiss (Purdue University, Indiana), Pietro Lura (Swiss Federal Laboratories of Materials Testing and Research, Switzerland), Farshad Rajabipour (University of Hawaii, Hawaii), and Gaurav Sant (Purdue University, Indiana). *Performance of Shrinkage-Reducing Admixtures at different Humidities and at Early Ages*. ACI Materials journal. Vol 105, N° 5, September-October 2008.

Los **aditivos para reducir la contracción** (SRA, por las siglas en inglés) tienen el propósito de disminuir el riesgo del agrietamiento por contracción por secado en el concreto. Pese a su difusión, pocas investigaciones se han efectuado para estudiar la influencia de la humedad ambiental, a un nivel diferente del 50%. En este artículo se trata de la contracción inicial o rápida, de la contracción de largo plazo, y del desarrollo de los esfuerzos residuales tanto de una pasta de cemento normal y de una pasta con 5% de aditivo en un amplio rango de humedad. Los resultados indican que las pastas conteniendo el aditivo muestran una expansión a edades tempranas. En adición, los resultados refuerzan la idea de que los poros más pequeños están vacíos tras el secado de especímenes conteniendo el aditivo.

Introducción

El uso de aditivos para reducir la contracción ha sido descrito desde hace 25 años, reportándose por ejemplo: (1) reducciones de 50 a 60% en 28 días y 40 a 50% a las 12 semanas, (2) las reducciones de largo plazo fueron de 50 a 60% al usar el aditivo. Incluso se han desarrollado expresiones empíricas para la **reducción de la contracción como función de la concentración del aditivo**.

También las **deformaciones internas** en edades tempranas se reducen por el uso del aditivo. Estas deformaciones por contracción son importantes al estar también asociadas al riesgo de agrietamiento.

Los estándares indican que las mediciones deben efectuarse a condiciones de temperatura y humedad fijas, y a partir de las 24 horas. En este estudio, la respuesta de contracción es monitoreada desde los 30 minutos y a varios niveles de humedad (de 30 a 95%). Los resultados facilitan la comprensión de la evolución de contracciones y desarrollo de esfuerzos en mezclas con aditivos.

Materiales y mezclas

Dos mezclas se consideraron en este estudio: una con pasta de cemento normal o convencional y con relación agua/cemento de 0.30, y en la otra, la pasta de cemento en donde el 5% de agua fue reemplazada con el aditivo (agua/cemento de 0.30 más 5% de aditivo). Se empleó un cemento portland ordinario tipo I.

El agua fue previamente hervida, y luego enfriada a ambiente cerrado. Los materiales secos fueron colocados en una cámara especial de mezclado. La cámara fue sellada, el aire fue evacuado desde la cámara usando una bomba al vacío, y la solución de agua y el aditivo fueron introducidos en la cámara bajo las mismas condiciones de evacuación. La cámara fue entonces colocada en un batidor comercial y batida por 5 minutos para uniformizar la mezcla y obtener una pasta de cemento consistente. Después de la mezcla, la cámara fue abierta y la pasta fue colocada en los moldes con el uso de vibración externa.

Los experimentos

Los experimentos fueron conducidos a una temperatura controlada de $23 \pm 1^\circ\text{C}$. Para medir la deformación lineal interna, la pasta fresca fue colocada en moldes tubulares corrugados de polietileno, de 400 mm de longitud por 30 mm de diámetro. Debido a su rigidez y forma, el molde transforma las deformaciones volumétricas en lineales al estar la pasta en estado fluido (la rigidez radial del molde es mayor que la longitudinal). La medición puede ser tomada a los 30 minutos después de agregarle agua.

Para la humedad relativa, aproximadamente 10 g de pasta fresca de cemento fue introducida en las cámara de dos estaciones higroscópicas con sensores de humedad relativa de alta precisión.

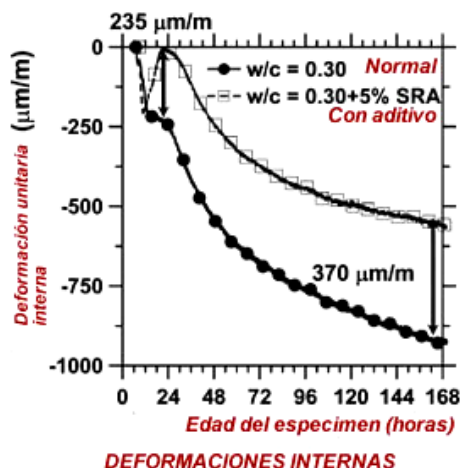
Para la medición de las contracciones, fueron preparados especímenes cilíndricos de 12.5 mm por 87 mm, embebiéndoles tornillos de acero en los extremos para controlar la medición. Al desmoldar, las muestras fueron selladas en bolsas de plástico durante 6 días. Las mediciones de contracción se realizaron a partir de séptimo día en temperatura controlada y variando la humedad relativa en 95, 91, 70, 50, y 30%.

El *invar* es una aleación de hierro y níquel, con algo de carbono y cromo. Posee un muy pequeño coeficiente de dilatación, por lo que resulta apropiado en equipos de medición. En esta investigación se empleó *un anillo doble* con este material (siendo los diámetros exterior e interior de 50.8 mm y 44.5 mm, respectivamente). La pasta de cemento fresco fue colocada al interior y vibrada por 30 segundos. La cámara fue condicionada a $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ y $87 \pm 1\%$ de humedad relativa. Después de los siete días se redujo la humedad a $50 \pm 1\%$. Se utiliza una expresión que relaciona la presión en el anillo interno, p_{INT} , con la deformación unitaria medida en el anillo interno, $\epsilon_{INVAR-INT}$, el módulo de elasticidad del invar, E_{INVAR} , el radio externo del anillo interno, R_{IC} , y el radio interno del anillo externo, R_{II-INT} , en la forma:

$$p_{INT} = \epsilon_{INVAR-INT} E_{INVAR} \left[\frac{R_{IC}^2 - R_{II-INT}^2}{2R_{IC}^2} \right]$$

El empleo de strain-gauges en ambos anillos, permite ampliar los cálculos.

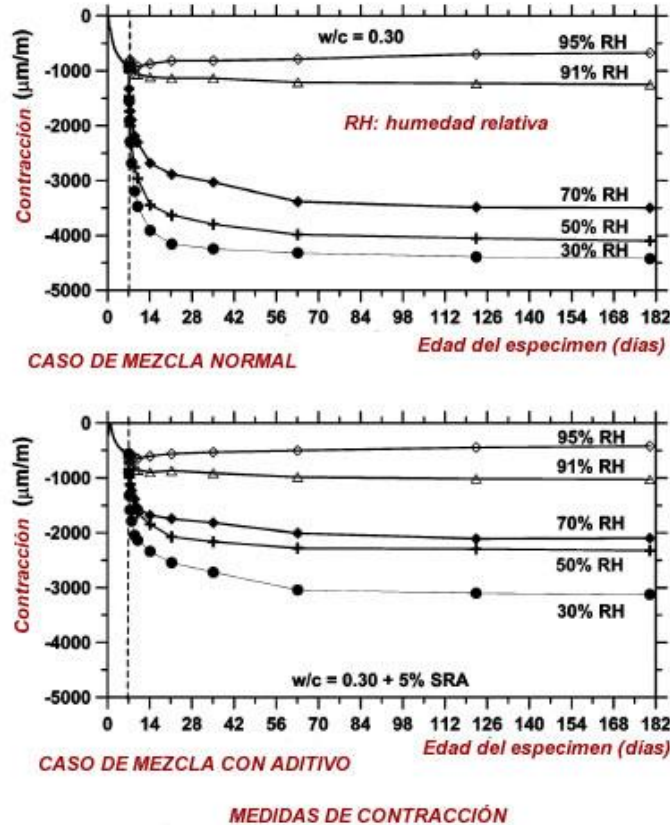
Resultados



♦ De las deformaciones internas iniciales

Se miden a edades tempranas como se señaló. En este caso, para los primeros 7 días. La mezcla normal sin aditivo muestra un desarrollo estable a unas cuantas horas de haber sido preparado. Durante el mismo periodo, la mezcla con aditivo muestra una expansión de aproximadamente $235 \mu\text{m/m}$.

◆ De contracción por secado



Los resultados indican que el uso del aditivo es más efectivo en reducir la contracción a valores menores de humedad relativa.

La figura ilustra la respuesta de contracción de los especímenes almacenados a diferentes niveles de humedad relativa. Para niveles altos (95 y 91%) la contracción con aditivo es del orden de 240 $\mu\text{m}/\text{m}$ menos que en los especímenes sin aditivo. Para niveles menores de humedad relativa (70, 50, y 30%) la contracción con aditivo muestra 1300 a 1800 $\mu\text{m}/\text{m}$ menos que aquella para especímenes de concreto normal o convencional.

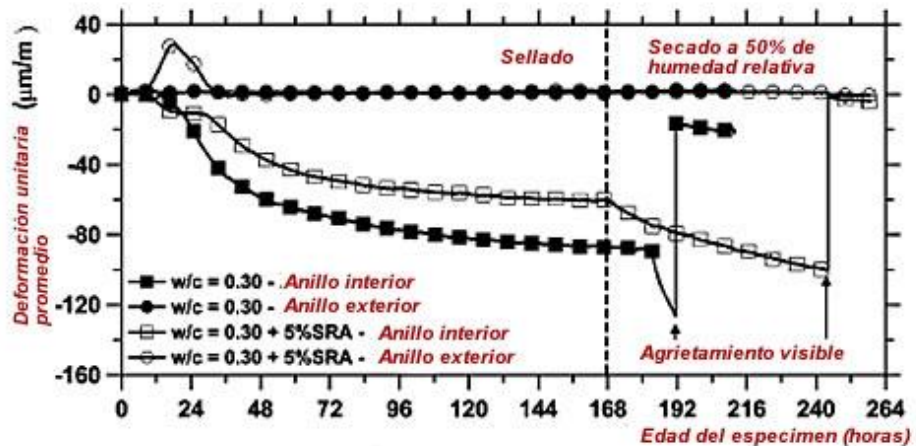
◆ Medidas en el sistema de anillo doble

Especímenes sin aditivo

Muestran muy escasa deformación en el anillo exterior (en consistencia con la observación de que la mezcla normal no experimenta ninguna expansión). El anillo interior comienza a desarrollar deformaciones a las 8 horas, y se incrementa recién a las 14 horas. Después de 7.5 días, el anillo fue expuesto a 50% de humedad ocurriendo su agrietamiento después de las 10 horas.

Especímenes con aditivo

Registraron contracciones tempranas (a las 8 horas) tanto en el anillo interior como en el exterior. Como era esperado, el anillo externo desarrolló deformaciones por efecto de la expansión de la pasta. Adicionalmente, el anillo interior mostró deformaciones debido a la restricción impuesta por el anillo exterior.



CONTRACCIÓN PROMEDIO EN EL SISTEMA DE ANILLO DOBLE

Uso de materiales alternativos

Referencia

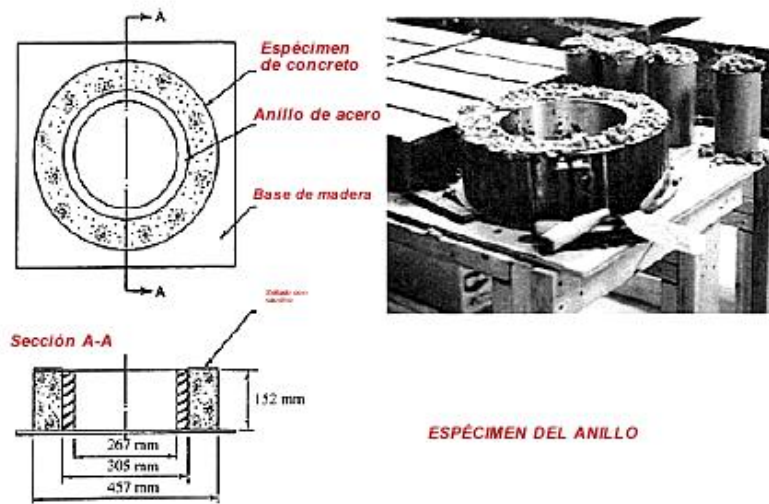
Michael D. Brown, Cuyler A. Smith, J. Greg Sellers, Kevin J. Folliard, and John E. Breen (University of Texas at Austin). *Use of Alternative Materials to Reduce Shrinkage Cracking in Bridge Decks*. ACI Materials Journal. November - December 2007.

El estudio refiere una encuesta de 1996 que indica que más de 100 mil puentes en Estados Unidos, han sufrido de grietas transversales tempranas, típicas de contracción por secado. El artículo discute varios métodos destinados a determinar la resistencia del material al agrietamiento por contracción. Entre los relacionados con los materiales están: **el uso de fibras, concretos de contracción compensada, aditivos para reducir la contracción, y concreto extensible**. Tanto en pequeñas muestras como en especímenes a mayor escala, fue comprobado que varias de las mezclas alternativas son apropiadas para reducir el agrietamiento con contracción por secado.

Las pruebas de laboratorio

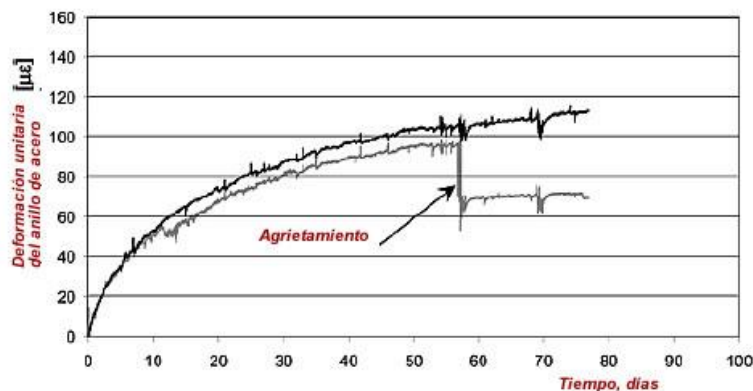
Entre las pruebas realizadas en este estudio, están las siguientes: resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, contracción libre, y permeabilidad rápida. Estas pruebas ayudan a entender y predecir cualitativamente el comportamiento global de la contracción por secado. Así, un concreto con alta resistencia a la compresión a menudo contiene más cemento que aquel de una mezcla normal. Se conoce que las mezclas con alto contenido de cemento, exacerbaban la contracción por secado. También se sabe que el agrietamiento es función de la resistencia a tensión del concreto y del esfuerzo aplicado (este último es debido a la restricción impuesta al espécimen y a su módulo de elasticidad).

En el estudio se empleó el método de prueba del anillo. Consiste en vaciar concreto alrededor de un anillo de acero, curar el espécimen por 24 horas, y colocarlo en un ambiente de temperatura controlada, 23°C, con humedad relativa del 50%. A medida que el concreto se contrae, es sometido a altos niveles de restricción proporcionados por el anillo interior de acero.



ESPÉCIMEN DEL ANILLO

Los sensores de deformación, adheridos al interior del anillo, miden la deformación unitaria del mismo en función del tiempo. Así es posible determinar el tiempo que pasa antes de que el concreto se agriete. La figura muestra una relación de esfuerzo a través del tiempo, en dos especímenes, notándose el agrietamiento en uno de ellos a los 57 días (el otro no se agrietó a través de la prueba).

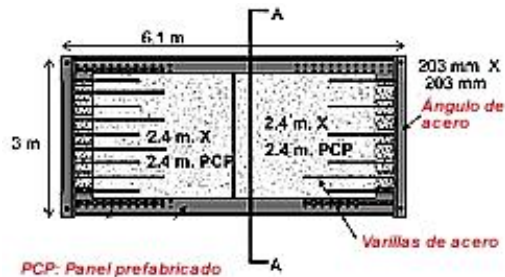


MUESTRAS DE RESULTADOS EN DOS ESPÉCIMENES EN LA PRUEBA DEL ANILLO

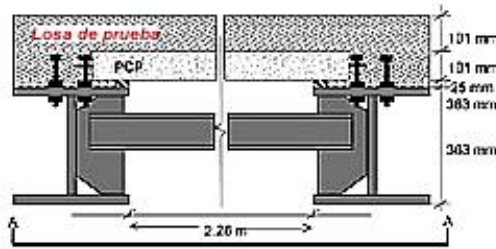
Prueba a gran escala

Se trata de losas de sección rectangular de aproximadamente 3 por 6.1 m, fuertemente restringidas en ambos extremos con el auxilio de barras de refuerzo corrugado y ángulos metálicos. Se espera así que la contracción por secado se desarrolle principalmente en el centro de la losa en donde existe la menor restricción longitudinal. Las losas de prueba fueron apoyadas en losas prefabricadas, de acabado rugoso para facilitar la adherencia.

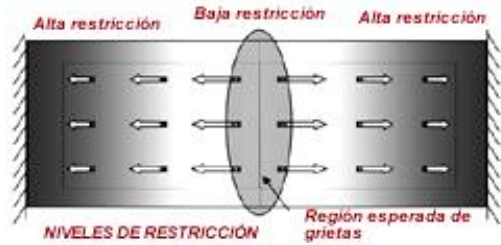
En opinión de los autores, las losas y su disposición a esta escala, representan mejor las condiciones reales, y brindaron información del agrietamiento, que ocurrió según lo esperado.



PCP: Panel prefabricado



COMPONENTES DE LA LOSA DE PRUEBA



AGRIETAMIENTO TÍPICO

Bases de datos en contracción

Referencia

Zdenek P. Bazant and Guang-Hua Li (Northwestern University, Illinois). *Comprehensive Database on Concrete Creep and Shrinkage*. ACI Materials Journal. November - December 2008.

Una base de datos fue creada en la Universidad de Northwestern en 1978, la misma que fue extendida según se presenta en este artículo, comprendiendo entonces 621 pruebas de creep y 490 pruebas de contracción. En esta versión ampliada, es posible la verificación y calibración de modelos de predicción, así como el mejor control de distribución y desviaciones estadísticas. La base de datos, con nombre UN-ITI, del Instituto Tecnológico de Infraestructura, puede ser descargada libremente del sitio <http://www.iti.northwestern.edu>.

Las tablas tienen el siguiente tipo de información, según columnas:

0. Identificación, como número del renglón.
1. Número de la prueba.
2. Nombre del experimentador, esto es, el autor (o autores) del artículo.
3. La relación agua/cemento, por peso.
4. La relación agregado/cemento por peso.
5. El contenido de cemento, sin aditivos, en kg/m^3 .
6. El tipo de cemento.
7. El contenido de dióxido de silicio en porcentaje por peso de cemento.
8. El contenido de cenizas en porcentaje, por peso de cemento.
9. El contenido de reductor de agua en porcentaje, por peso de cemento.
10. El contenido de retardador, en porcentaje por peso de cemento.
11. Contenido de agente de entrada de agua, en porcentaje por peso de cemento.
12. Resistencia promedio a la compresión del concreto a los 28 días, en MPA (para cilindros estándares, o pruebas convertidas de cubos).

El artículo recomienda recurrir también a *RILEM* (Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages), la

Unión Internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales de Construcción, Sistemas y Estructuras, cuyo principal propósito es promover la cooperación científica en el área de materiales de construcción y estructuras.