

Revista Ingeniería de Construcción

Director Alfredo Serpell, Ph. D.

Editor Mauricio López, Ph.D.

Comité Editor Luis Fernando Alarcón, Ph. D., Académico Escuela de Ingeniería UC
Fernando Echeverría, Ingeniero Civil, Gerente General de Echeverría e Izquierdo Ingeniería y Construcción S. A.
Montserrat Palmer, Arquitecta, Directora Ediciones ARQ, Escuela de Arquitectura UC
Jaime Muñoz, Periodista, Jefe de Comunicaciones y Extensión, Escuela de Ingeniería, UC
Carlos Aguilar, Ph. D. Jefe de Estudios, Constructora Socovesa S.A.
Marcelo Bustos, Ph. D. Académico, Universidad Nacional de San Juan, Argentina

Javier Castro, M. Sc., Académico Escuela de Ingeniería UC
Sven Diethelm, Ingeniero Civil, Gerente GEPUC, UC
Felipe Halles, M. Sc., Sub Gerente CIIV, Dictuc S.A.
Patricia Martínez, Ph. D., Académico, Universidad de Valparaíso
Cristián Masana, M. Sc. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile
Leonardo Rischmoller, Ph. D., Académico, Universidad de Talca
Alfredo Sarmiento, M. Sc., Asesor en Calidad
Fernando Yáñez, Ph. D., Director IDIEM, Universidad de Chile

Colaboradores Adam Slapkus, M. Sc., Uzun & Case Engineers, Atlanta, Estados Unidos
Andrés Torres, Ph. D., Universidad Marista de Querétano, México
Andrés Vargas, Jefe de Laboratorio de Materiales, Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile
Carlos Videla, Ph. D. Académico, Pontificia Universidad Católica de Chile
Domingo Carreira, Ph. D. Académico Illinois Institute of Technology in Chicago, Estados Unidos
Eddy Rojas, Ph. D., University of Washington, Estados Unidos
Eugenio Pellicer, Ph. D. Universidad Politécnica de Valencia, España
Facundo Almeraya, Ph.D., Grupo de Corrosión del CIMAV, México
Gabriel Garcia, Graduate Research Assistant, University of Illinois at Urbana-Champaign, Estados Unidos
Guillermo Narsilio, Ph. D., The University of Melbourne, Australia
Héctor Carrillo, Ingeniero Civil, BITUMIX Constructora de Pavimentos Asfálticos
Hernán Santa María, Ph. D. Pontificia Universidad Católica de Chile
José Luis Almazan, Ph. D. Pontificia Universidad Católica de Chile
Leonardo Dueñas, Ph.D. Georgia Institute of Technology, Estados Unidos
Luis Pinilla, Académico, Pontificia Universidad Católica de Chile
Rafael Dowling, M.Sc., Gestión de Calidad y Desarrollo, BITUMIX CVV Ltda.
Rodrigo Rivas, M. Sc., Incolur Limitada, Santiago, Chile
Sergio Luis González, UENF-Campos dos Goytacazes, Brasil
Ximena Ferrada, Estudiante de Doctorado, Pontificia Universidad Católica de Chile

Fundada el año 1986, la Revista Ingeniería de Construcción (RIC) es una revista cuatrimestral del Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Su propósito fundamental es promover el progreso y desarrollo de la ingeniería y gestión de la construcción, proporcionando un foro internacional de discusión y difusión de nuevos conocimientos y resultados de investigación, con particular énfasis en el medio Ibero-Latinoamericano. RIC es una revista orientada tanto a académicos como a profesionales. La revista publica artículos originales e inéditos, tanto en idioma español como inglés, en todos los tópicos relevantes de la ingeniería y gestión de la construcción, tales como: materiales de construcción; tecnologías, métodos y procesos de la construcción; gestión de la construcción y sus recursos; gestión empresarial en la construcción; construcción sustentable y rehabilitación de materiales y estructuras y otros tópicos de interés. La revista incluye artículos que informen resultados de investigación así como de aplicaciones y casos de la práctica. Las opiniones expresadas en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción o del Editor. Invitamos a investigadores, académicos y profesionales interesados, a contribuir con artículos para ser publicados en la revista o a enviar discusiones sobre los artículos ya publicados. La guía con las instrucciones para la preparación de artículos por los autores se entrega en la cara interior de la contratapa.

Revisión por pares: todos los artículos presentados para publicación son evaluados en forma independiente por un comité de revisores.

Procedimiento:

1. Recepción del trabajo
2. Revisión de formato - Coordinadora
 - a) No : Se devuelve paper con observaciones correspondientes
 - b) Sí : Revisión de estándares Editor - envío a revisoresSe reciben opiniones de los revisores
3. Editor revisa opiniones y decide
 - a) Rechazo: Carta y hoja observaciones
 - b) Aceptación sujeto a corrección: Carta, observaciones
 - c) Aceptación sin corrección: Carta
4. Si se envió a corrección y se recibe paper corregido, se envía a revisión rápida por un especialista del área.
5. Aceptación del paper: Formato y edición
6. Envío a revisión final por autores
7. A impresión

Correspondencia: incluyendo el envío de artículos para publicación, debe ser dirigida a: Editor Revista Ingeniería de Construcción, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860, Casilla 306, Santiago, Chile. E-mail: ric@ing.puc.cl, Fono: (562) 354-4244; Fax: (562) 354-4806, www.ing.puc.cl/ric

Información de Suscripción Anual

El costo de la suscripción anual es de 20.000 pesos chilenos dentro de Chile, o US\$ 90 al extranjero. Suscripción especial para estudiantes de 15.000 pesos chilenos dentro de Chile o US\$ 70 al extranjero.

Puntos de Venta de la Revista

Ediciones U.C. Librería Centro de Extensión U.C, Avda. B. O'Higgins 390, Librería Campus San Joaquín, Vicuña Mackenna 4860, Santiago Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Vicuña Mackenna 4860, Edificio San Agustín 3er. Piso, Santiago.

Página Web www.ing.puc.cl/ric

Abstracting and indexing Esta Revista recibe apoyo del Fondo de Publicaciones Periódicas de la Vicerrectoría de Comunicaciones y Asuntos Públicos de la Pontificia Universidad Católica de Chile y es Indexada en PERIODICA, Chemical Abstracts, Actualidad Iberoamericana, Redalyc, y es respaldada por el CIB.

AVISO GERDAU AZA



El Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, publica en agosto de 1986 la Revista Ingeniería de construcción (edición N°1) RIC, ocasión en la que se dió la inscripción ISSN-0716-2952. Su Director era el señor Gregorio Azocar y su Editor el señor Alfredo Serpell. Su propósito fundamental es promover el progreso y el desarrollo de la Ingeniería y Gestión de la Construcción, proporcionando un foro internacional de discusión de nuevos conocimientos y resultados de investigación, con particular énfasis en el medio Ibero - Latinoamericano

PROGRAMAS ACADÉMICOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

NIVEL DE PREGRADO Y PROFESIONAL

- Licenciado en Ciencias de la Ingeniería
- Ingeniero Civil con Diploma en Ingeniería y Gestión de la Construcción
- Ingeniero Civil con Diploma en Diseño y Construcción de Obras (en conjunto con el Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica)



NIVEL DE POSTGRADO

- Magister en Ciencias de la Ingeniería
- Doctor en Ciencias de la Ingeniería
- Magister en Administración de la Construcción (MAC)
- Magister en Ingeniería



Entre otras, destacan las siguientes áreas de postgrado:

- Materiales de Ingeniería
- Tecnologías de Construcción
- Tecnologías de Información en la Construcción
- Vivienda y Habitabilidad
- Gestión de la Construcción
- Productividad y Calidad
- Administración de Proyectos
- Ingeniería de Caminos
- Gestión de Infraestructura



Para mayor Información

Fono: (56 - 2) 354 42 44

(56 - 2) 354 42 45

Fax: (56 - 2) 354 48 06

Casilla 306, Correo 22

Santiago, Chile

e-mail: digco@ing.puc.cl

www.ing.puc.cl/icc



La técnica del hormigón rodillado

Hernán Zabaleta G.

Jefe del Departamento de Ingeniería Civil, ENDESA, Santa Rosa 76, Oficina 1604, Santiago, Chile

RESUMEN: La técnica del hormigón rodillado se ha introducido últimamente en la construcción de obras de hormigón. En este trabajo se presenta una descripción general de esta técnica indicándose las características del hormigón rodillado y de sus materiales componentes, y la forma de empleo en obra. Finalmente se entregan algunas conclusiones respecto a la factibilidad de su empleo en nuestro país.

1- INTRODUCCION □

Desde hace aproximadamente diez años se ha introducido en la Construcción de obras de hormigón la técnica del hormigón rodillado, la cual, por razones de costo, está siendo empleada cada vez con mayor frecuencia, principalmente en obras masivas. Esta técnica consiste básicamente en el empleo de un hormigón de muy baja docilidad, colocado en obra mediante los procedimientos habituales utilizados en los rellenos de suelos compactados. □

Los primeros estudios del hormigón rodillado fueron presentados alrededor de 1970 en la Conferencia de Asilomar, en Estados Unidos. En esta presentación se hacía ver la factibilidad del empleo del hormigón rodillado para hormigones masivos de baja exigencia estructural. □

Las primeras experiencias para su uso en obra fueron efectuadas en 1973 para la presa Lost Creek, también en Estados Unidos. Sin embargo, su empleo masivo sólo se produjo en 1975 para las reparaciones efectuadas en la presa de Tarbela, en Pakistán, en la cual se utilizaron alrededor de 350.000 M³ de hormigón rodillado, obteniéndose rendimientos de colocación superiores a 400 m³/hora, a un promedio de 7600 m³/día. □

Posteriormente, se han efectuado diversas aplicaciones de esta técnica, tales como las siguientes:

- Construcción de una fundación de turbina para un reactor nuclear en la central Bellefonte, Estados Unidos, en 1976.
- Pavimentos para bodegas de almacenamiento en Brasil, en 1976.
- Construcción de la ataguía de la presa Okawa en Japón, en 1976.
- Construcción de un bloque del vertedero de la presa Chena en Estados Unidos.
- Construcción de una plataforma para acceso de equipos en la presa Itaipú en Brasil, en 1978.
- Construcción de la ataguía de la presa Guri en Venezuela, en 1980.

Estas aplicaciones culminan en las presas Shimajigawa en Japón y Willow Creek en Estados Unidos, las cuales puede considerarse que representan su extensión a obras de relativa exigencia estructural, en las que se desarrolla plenamente la tecnología respectiva.□

Dado que este procedimiento constructivo no ha sido aun empleado en nuestro país, en el presente artículo se hace una descripción general de él, basada en los antecedentes divulgados en distintos artículos e informes técnicos sobre la materia (1, 2,3), destinada a difundirlo entre los profesionales del diseño la construcción de obras de ingeniería y analizar las posibles condiciones de su empleo en Chile.

II- Descripción de la técnica del hormigón rodillado.□

En los párrafos que siguen se describen las características que presenta el hormigón rodillado tanto desde el punto de vista de las condiciones de sus materiales componentes, como de la forma de su empleo en obra, extrayendo algunas conclusiones respecto de la factibilidad de su empleo en nuestro país.

2.1 Características de los materiales.

A. Áridos.

Los áridos deben cumplir en general condiciones similares a las del hormigón convencional, aun cuando se acepta menos estrictez en las bandas granulométricas de referencia y un mayor porcentaje en el contenido de partículas de tamaño inferior a 0,075mm (malla #200 ASTM), siempre que estos finos no sean de naturaleza plástica.

Esta mayor liberalidad en las condiciones exigidas permite una simplificación de las instalaciones de selección y tratamiento de los áridos, pudiendo en algunos casos especiales visualizarse el empleo de áridos en su estado natural.

Dadas las condiciones indicadas, la buena calidad intrínseca y la relativa abundancia de los áridos de origen fluvial en nuestro país, este aspecto no presentaría dificultades de cumplimiento.

B. Cemento

El principal ámbito de uso del hormigón rodillado está actualmente en los hormigones masivos, no estructurales, de baja resistencia inicial. Esta circunstancia, unida al procedimiento de compactación, que se describirá posteriormente, favorece el empleo de cementos de grado corriente con agregado de tipo puzolánico o bien la adición directa de materiales de naturaleza cementicia, de bajo costo (principalmente puzolana).

Los cementos nacionales se adecuan favorablemente a las condiciones señaladas, existiendo además, importantes yacimientos puzolánicos en el país, por lo que este aspecto puede ser cubierto sin dificultades.



C. Aditivos

La aplicación del hormigón rodillado en obras de tipo masivo ha hecho necesario el empleo de aditivos de tipo plastificador y retardador de las mismas características que las de los empleados en los hormigones convencionales. No existe aún, en cambio, experiencia en la influencia del uso de aditivos incorporadores de aire para mejorar la resistencia del hormigón ante Ciclos de hielo-deshielo. Considerando que la tecnología de los aditivos ha sido bien desarrollada en nuestro país, este espacio también puede ser adecuadamente cubierto, existiendo limitaciones para el empleo del hormigón rodillado sólo en los sectores de temperaturas extremas, principalmente en la alta cordillera, sectores en los cuales sería necesario efectuar estudios cuidadosos antes de considerar su empleo.

Como conclusión general de lo expuesto, la aplicación del hormigón rodillado no presentaría dificultades en nuestro país desde el punto de vista de la calidad de los materiales componentes, debiendo estudiarse más a fondo su uso en zonas de bajas temperaturas ambientales.

2.2 Dosificación del Hormigón Rodillado.

El principio básico que debe cumplirse para estudiar la dosificación del hormigón rodillado consiste en obtener un hormigón de asentamiento de cono nulo, con el mínimo contenido de pasta de cemento, condición destinada a permitir su compactación con rodillos vibratorios en la forma que se indica posteriormente. No ha sido totalmente desarrollada aún la metodología teórica para su estudio en laboratorio, debiendo complementarse éstas con ensayos de terreno, que certifiquen que el hormigón estudiado cumple adecuadamente las condiciones supuestas.

En todo caso, la experiencia ha demostrado que existen valores medios de algunos de los parámetros principales que determinan la dosificación del hormigón rodillado, los que pueden resumirse en forma aproximada en las siguientes cifras:

Tamaño Máximo	Dosis de agua	Volumen absoluto De árido grueso
1½"	100lt/m ³	55%
3"	90lt/ m ³	60%

Las cifras mencionadas permiten extraer algunas conclusiones de uso práctico:

- La baja dosis de agua empleada permite obtener las resistencias con dosis de cemento significativamente inferiores a las de los hormigones convencionales, lo cual puede resultar de interés en algunas aplicaciones particulares.

- El contenido de grava es apreciablemente mayor que el de los hormigones convencionales, característica que puede ser atractiva para la explotación de los yacimientos naturales de áridos de nuestro país, normalmente de bajo rendimiento en arena.

2.3 Métodos Constructivos.

A. Fabricación.

Para la fabricación del hormigón rodillado son utilizables las mismas plantas que para el hormigón convencional. Sin embargo, cuando se prevee su uso en obras masivas, éstas deben estar equipadas con implementos rápidos de carguío de los materiales, principalmente de los áridos. Para el objeto descrito se han empleado frecuentemente las cintas transportadoras, a las que también se les ha dado la función de dosificadoras de los materiales. Igualmente, en obras masivas se han utilizado plantas mezcladoras continuas, las que no siendo recomendables para el hormigón convencional por la gran variabilidad que introducen en sus proporciones, sí lo son para el hormigón rodillado, menos sensible en este aspecto.

En cambio, los camiones-betonera no resultan apropiados para el mezclado, debido principalmente a las grandes dificultades de descarga que presenta la baja docilidad exigida al hormigón rodillado.

B. Transporte

Para el transporte del hormigón rodillado se han demostrado utilizables los equipos empleados con este mismo objeto en las faenas de movimiento de tierras. Igualmente, para este objeto se han empleado con ventajas las cintas transportadoras.

C. Colocación

La colocación del hormigón rodillado se efectúa con las mismas técnicas empleadas para los rellenos compactados de suelos y materiales granulares. En general, la metodología utilizada considera la colocación en capas de 20 a 30 cm de espesor compactadas, para lo cual el hormigón, una vez descargado, es esparcido mediante equipos tipo dozer, equipados preferentemente con neumáticos o, en su defecto, se efectúa su distribución mediante cintas transportadoras método que, aunque no muestra la misma flexibilidad que el anterior, presenta la ventaja de producir un menor trabajo sobre el hormigón depositado, lo cual facilita su posterior compactación.

D. Compactación

La compactación del hormigón rodillado se efectúa mediante rodillos vibratorios de peso comprendido entre 4 Y 5 toneladas, generalmente autopropulsados, complementados con rodillos más livianos, de peso entre 1 y 2 toneladas, para la compactación de los bordes de las capas.



Cada capa es sometida a un determinado número de pasadas, el cual debe ser determinado experimentalmente mediante ensayos en obra, ya que éste varía según las características del hormigón y el espesor de capas previsto.

Este número de pasadas debe determinarse de manera de obtener la máxima densidad posible del hormigón colocado, para lo cual deben efectuarse medidas de densidad en sitio, recurriendo a procedimientos similares a los usados para la medición de este parámetro en suelos (cono de arena, densímetro nuclear).

E. Tratamiento de juntas

Normalmente no se requiere un tratamiento en las juntas de construcción, dado que en el hormigón rodillado no se produce exudación de pasta de cemento como en el hormigón convencional. Sin embargo, debe preverse este tratamiento en forma similar al hormigón convencional si la junta de construcción se ha contaminado con suciedad o ha transcurrido un plazo de espera superior a unas 48 horas entre capas.

F. Curado

Deben preverse sistemas de curado similares al del hormigón convencional, los cuales deben prolongarse durante un período mínimo de 7 días, en condiciones de temperatura media ambiente cercana a 20°C. Este plazo debe prolongarse en un período designado como de protección si las temperaturas llegan a valores que hagan descender la temperatura de colocación del hormigón bajo unos 13°C.

G. Control de Calidad

El principal parámetro a controlar en relación con el hormigón rodillado es su densidad. Para este objeto, durante los ensayos en obra para determinar el procedimiento de compactación, es necesario ensayar paralelamente muestras de hormigón sometidas a compactación de laboratorio que conduzcan a las mismas densidades medidas en el campo, procedimiento que permitirá establecer si las variaciones de las características del hormigón durante su producción están incidiendo significativamente en su densidad y adoptar las medidas correctivas pertinentes.

Las muestras así tomadas pueden en seguida ser sometidas a ensayos de resistencia y otros, destinados a controlar las propiedades que se estime necesarias del hormigón en producción, para lo cual son válidos los criterios normales de evaluación utilizados en relación con el hormigón convencional. □

Se estima que los antecedentes proporcionados en relación con el uso del hormigón rodillado en obra, permitirán formarse un primer juicio respecto de su posible consideración como alternativa de otras soluciones constructivas, estimándose que, en primera instancia, puede ser la disponibilidad del equipamiento adecuado a las características de la obra, la que condicione la factibilidad



de su uso. En todo caso, parece existir en nuestro país el grueso del equipo necesario para este objeto.

III. Conclusiones Finales

En los párrafos anteriores se han expuesto en forma muy sucinta, las condiciones generales en que se está desarrollando la técnica constructiva mediante el hormigón rodillado, en países más desarrollados que el nuestro. Considerando los antecedentes expuestos, se estima que en nuestro país existen recursos de la Calidad y, posiblemente, de las características apropiadas como para visualizar su aplicación en algunas obras simples, que permitan ratificar lo aquí expuesto. Posteriormente, podría ampliarse su empleo a obras masivas, de las cuales las presas de la minería, de riego y de centrales hidroeléctricas y los pavimentos de caminos secundarios pueden considerarse como ejemplos apropiados para este objeto.

BIBLIOGRAFIA

1. ACI, Roller Compacted Concrete, ACI Report 207.5R-80, ACI Manual of concrete Practice 1983, Part 1, American Concrete Institute, Michigan, 1983.
2. ACI, Roller Compacted Concrete, Concrete International, ACI, Vol. 6, N°5, May 1984.
3. Bureau of Reclamation, Concrete Report Upper Stillwater Dam, Bureau of Reclamation, USA. July 1983.

