

JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

ESTUDIO DESCRIPTIVO DE LOS ENSAYOS PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E INSPECCIÓN DE PRESAS EN CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

Antonella Moscianese Yaguare^{1*}, Miguel Antonio Castillejo Cans¹

¹ *Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*

[*a.moscianese75@gmail.com](mailto:a.moscianese75@gmail.com)

RESUMEN

En la búsqueda de un nuevo tipo de presa que combinara la seguridad de las presas de concreto y la economía de aquellas con núcleo en arcilla y caras en enrocado, se llegó al Concreto Compactado con Rodillo. El Concreto Compactado a Rodillo, es una técnica de construcción, que se puede emplear para la construcción de presas y carreteras. En vista de que actualmente la tecnología del Concreto Compactado con Rodillo es una alternativa que se está empleando en todo el mundo y que a través de los años está siendo cada vez más estudiada con la finalidad de poseer un material más económico y técnicamente cada vez mejor, es pertinente conocer las características de este material. Los ensayos que permiten conocer el comportamiento de una presa en Concreto Compactado con Rodillo son: ultrasonido, corte directo y el ensayo de corte a rigidez normal constante, el cual permite modelar, la presa a construir, como un macizo rocoso con discontinuidades y de esa manera evaluar el comportamiento tanto de las juntas horizontales como las juntas verticales.

Estabilidad de Presas, Adherencia, Ensayos de Corte, Concreto, Inspección de Obras

ABSTRACT

In the search for a new type of dam that would combine the safety of concrete dams and the economy of those with clay core and faces in castling, the Rolled Concrete was reached. Rolled Concrete is a construction technique that can be used for the construction of dams and roads. In view of the fact that currently the technology of Rolled Concrete is an alternative that is being used throughout the world and that over the years is being increasingly studied in order to have a cheaper and technically better and better material, it is pertinent to know the characteristics of this material. The tests that allow knowing the behavior of a dam in Rolled Concrete are: ultrasound, direct cutting and the test of cutting to constant normal rigidity, which allows to model, the dam to be built, as a rock mass with discontinuities and that way to evaluate the behavior of both horizontal joints and vertical joints.

Dam Stability, Adhesion, Cutting Tests, Concrete, Inspection of Works

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción, es una de las que más hace uso de los recursos naturales, uno de los materiales mayormente empleados, es el concreto, el cual requiere de la explotación de agregados naturales y agua.

Es por ello que, en la búsqueda de disminuir el empleo de los recursos naturales, se desean desarrollar sistemas o metodologías constructivas en concreto, que permitan la optimización tanto del empleo de los agregados, como del uso del agua, claro está sin poner en riesgo la seguridad y estabilidad de la obra.

A partir de esto comienza a implementar la metodología constructiva conocida como Concreto Compactado con Rodillo. Esta metodología se puede emplear para la construcción de presas, las cuales tradicionalmente son construidas con núcleos de arcillas, de allí que sea necesario tanto para

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

justificar los parámetros de diseño como para evaluar la calidad en todas las etapas constructivas, el conocimiento de los tipos de ensayos que permiten cuantificar la adherencia entre las capas que conforman una presa en Concreto Compactado con Rodillo.

La norma ACI207.5R-89 define el Concreto compactado con rodillo (RCC) como una mezcla de concreto en su estado no endurecido que debe soportar un rodillo mientras se compacta.

Por lo tanto, el RCC se diferencia del concreto convencional principalmente en su requisito de consistencia. Para una consolidación efectiva, la mezcla de concreto debe estar lo suficientemente seca para evitar el hundimiento del equipo del rodillo vibratorio, pero lo suficientemente húmeda para permitir una distribución adecuada del mortero de aglomerante en el concreto durante las operaciones de mezclado y compactación vibratoria.

METODOLOGÍA

En la búsqueda de un nuevo tipo de presa que combinara la seguridad de las presas de concreto y la economía de aquellas con núcleo en arcilla y caras en enrocado, se llegó al Concreto Compactado con Rodillo.

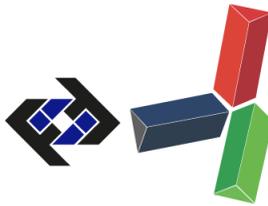
El Concreto Compactado a Rodillo (CCR), es una técnica de construcción, que se puede emplear para la construcción de presas y carreteras. Esta es una técnica que nace en la década de 1960 en Taiwán con la construcción de la presa de Shihmen, luego en 1970, se extiende esta técnica en Estados Unidos, Inglaterra y Japón.

En vista de que actualmente la tecnología del Concreto Compactado con Rodillo es una alternativa que se está empleando en todo el mundo y que a través de los años está siendo cada vez más estudiada con la finalidad de poseer un material más económico y técnicamente cada vez mejor, es pertinente conocer las características de este material.

Para llevar a cabo este estudio, se emplea la información de artículos y temas de investigación referentes al Concreto Compactado con Rodillo (CCR), referente a los diseños de mezclas, procesos constructivos y ensayos aplicables a esta metodología constructiva, en tanto en el diseño, construcción e inspección de presas.

El objetivo del diseño de la mezcla es producir una mezcla de RCC que tenga suficiente volumen de pasta para recubrir los agregados en la mezcla y rellenar los vacíos entre ellos. Cualquiera de los métodos básicos de dosificación de RCC, como los que se basan en las pruebas de consistencia del concreto, el modelo de suspensión sólida, el método de volumen de pasta óptimo y las pruebas de compactación del suelo, pueden usarse para el diseño de mezclas.

El concreto compactado por rodillo (RCC) utiliza tamaños agregados que a menudo se encuentran en el concreto convencional. Sin embargo, la mezcla de agregados será diferente a la realizada en el caso del concreto convencional. Los agregados triturados son preferibles en las mezclas de RCC debido a los bordes agudos entrelazados de las partículas, que ayudan a reducir la segregación, proporcionan mayores resistencias y un mejor bloqueo de agregados en las juntas y grietas. Las mezclas con graduación de huecos que están dominadas por dos o tres tamaños agregados no son deseables para RCC. El contenido de partículas finas requerido suele ser más alto que el del concreto convencional. No se requieren agregados lavados para este tipo de concreto ya que una pequeña cantidad de finos no plásticos presentes (2% a 8% de material que pasa por un tamiz No. 200) puede mejorar sus propiedades. Esto produce una mezcla que es estable durante la laminación. RCC tiene tres propiedades clave que lo hacen especialmente adecuado para presas: economía, rendimiento y construcción de alta velocidad. Tiene la resistencia y la durabilidad del concreto convencional, pero a un costo que rivaliza con la construcción de relleno de tierra o roca.



El RCC se puede usar para construir nuevas represas o para apuntalar las antiguas. Protege a las represas de fallas de sobrecarga, terremotos y erosión.

Para las presas existentes de relleno de tierra y roca, RCC actúa como un blindaje para protegerlas de la erosión de los flujos de agua a alta velocidad. RCC también se puede utilizar para construir represas nuevas o de reemplazo.

Si bien es más económico para los proyectos de grandes represas, RCC se usa cada vez más para construir pequeñas represas para el suministro de agua y el control de inundaciones. No solo el CCR es más duradero que las represas de tierra o roca, sino que con frecuencia es más económico. RCC también ha demostrado su eficacia en muchos otros tipos de aplicaciones. Las presas de concreto y mampostería, más antiguas pueden reforzarse con RCC para aumentar la resistencia a la carga sísmica y mejorar la estabilidad para evitar que se vuelque y se deslice.

Se puede colocar rápida y fácilmente con equipos de movimiento de tierras de gran volumen. Por lo general, se transporta en camiones de volteo, se propaga por excavadoras y se compacta con rodillos vibratorios.

Las secciones se construyen elevación por elevación en capas horizontales sucesivas, por lo que la pendiente descendente se asemeja a una escalera de concreto. Una vez que se coloca una capa, puede soportar inmediatamente el equipo de movimiento de tierras para colocar la siguiente capa. Después de que el RCC se deposita en la superficie de elevación, los pequeños tractores normalmente lo reparten en capas gruesas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Concreto Compactado con Rodillo, es un concreto de asentamiento cero, de consistencia seca y de trabajabilidad tal, que se consolida por vibración externa con rodillos vibratorios o equipos vibro-compactadores.

Los materiales que componen el concreto compactado con rodillo son los mismos del concreto convencional: cemento, agregados, agua y aditivos, cuyo diseño de mezcla depende del enfoque que se le dé, si es bajo el concepto de suelo o si es bajo el concepto de concreto, teniendo mayor contenido de humedad las mezclas diseñadas bajo el concepto de concreto.

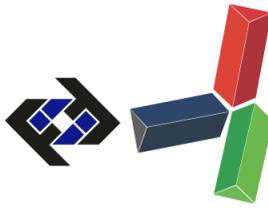
Características del Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla del CCR debe asegurar, que en estado fresco, la mezcla sea lo suficientemente seca para que los equipos puedan transitar sobre ella, que la mezcla tenga suficiente cohesión entre capas, con la finalidad que resista junto con la fricción la carga hidrostática impuesta con un factor de seguridad apropiado, que exista buena adherencia entre las capas, a fin de contar con una resistencia alta en las juntas, que contrarresten los efectos dinámicos del sismo de diseño, que la mezcla una vez compactada, alcance la máxima densidad que pueda lograrse con los agregados empleados en la misma. Que la mezcla una vez compactada tenga una permeabilidad igual o menor de 10-11 m/s, para prevenir la penetración de agua y minimizar la subpresión entre las capas.

En la tabla 1 se pueden observar la gradación óptima para agregados gruesos, en la tabla 2, la gradación para el agregado fino y en la tabla 3

Tabla 1. Gradación óptima de agregado grueso [1]

Tamaño de malla	% de pesante acumulado		
	4.75 to 75 mm	4.75 to 50 mm	4.75 to 19.0 mm
3 in	100		
2-1/2in	88		
2 in	76	100	



1-1/2 in	51	81	
1 in	44	58	
3/4 in	33	44	100
1/2 in	21	28	63
3/4 in	14	18	41
N° 4	-	-	-

Tabla 2. Gradación óptima de agregado fino [1]

Tamaño de malla	% de Pasante acumulado
3/8 in	100
N° 4	95-100
N° 8	75-95
N° 16	55-80
N° 30	35-80
N° 50	24-40
N° 100	12-28
N° 200	6-18

Módulo de finura

Tabla 3. Contenido de agua, arena, moreno y aire atrapado para varios agregados, tamaño nominal valores típicos para uso en la estimación de proporciones en ensayo de mezcla de CCR[1]

Tamaño de Malla	Tamaño máximo Nominal de Agregado					
	19.0 mm		50 mm		75 mm	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango
Contenido de Agua^b kg/m³						
a) Vebe <30 seg	150	133-181	122	107-140	107	85-128
b) Vebe >30 seg	134	110-154	119	104-125	100	97-112
Contenido de Arena, % del total de volumen de agregados						
a) Agregado triturado	55	49-59	43	32-49	34	29-35
b) Agregado redondeado	43	38-45	41	35-45	31	27-34
Contenido de mortero, % por volumen						
a) Agregado triturado	70	63-73	55	43-67	45	39-50
b) Agregado redondeado	55	53-57	51	47-59	43	39-48
Pasta: relación de mortero Vp/Vm, por volumen	0.41	0.27-0.55	0.41	0.31-0.56	0.44	0.33-0.59
% Contenido de aire entrampado en la fracción de 1/2 (37.5 mm) N° 200	1.5	0.1-4.2	1.1	0.2-4.1	1.1	0.5-3.3
a Cantidades a emplear para la estimación de agua, arena, mortero y contenido de aire entrampado para mezclas de RCC para ensayar						
b Rango inferior de los valores que deben ser empleados como agregados naturales redondeados y mezclas con bajo material cementante o contenido de agregados finos						

Presas en Concreto Compactado con Rodillo

Las Presas construidas en CCR, están conformadas por capas, (figura 1)

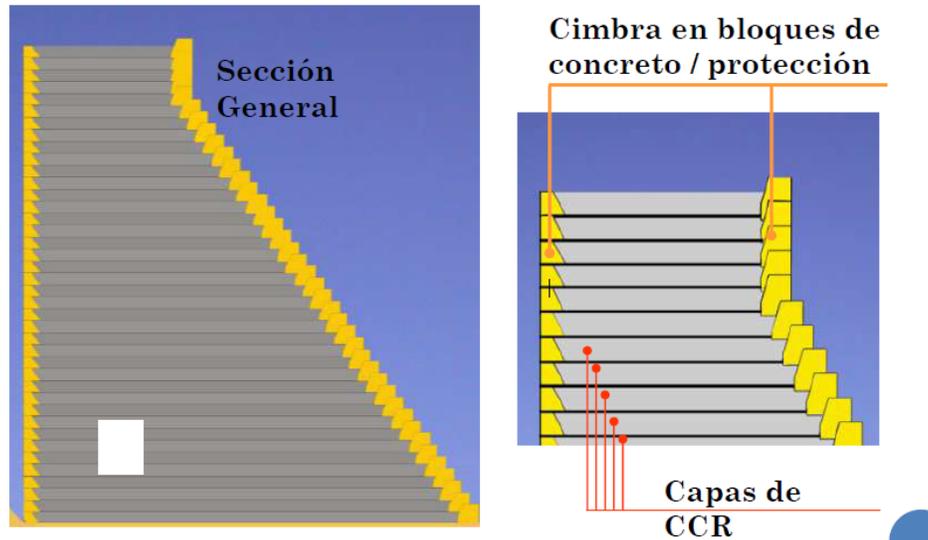


Figura 1. Sección general presa en CCR [2]

De la colocación de estas capas, dentro del cuerpo de la presa se producen juntas entre las capas de CCR, tanto horizontales como verticales. Las cuales pueden ser consideradas o no en el momento de realizar el diseño y análisis de estabilidad de la presa. En la figura 2 se observa un esquema del sistema de construcción de una presa en CCR, la cual consiste en colocar concreto de consistencia seca, en capas de 0.30 a 1.00 m de espesor, las cuales son compactadas a paso de rodillo vibratorio. Este proceso, puede ser ejecutado sin interrupción, a lo largo de la presa y de esta manera disminuir la cantidad de juntas entre las capas de concreto



Figura 2. Esquema constructivo presas en CCR [2]

Siendo dentro de la presa, las juntas horizontales las más vulnerables, tanto desde el punto de vista estructural como del punto de vista de la permeabilidad (ver figura 3)

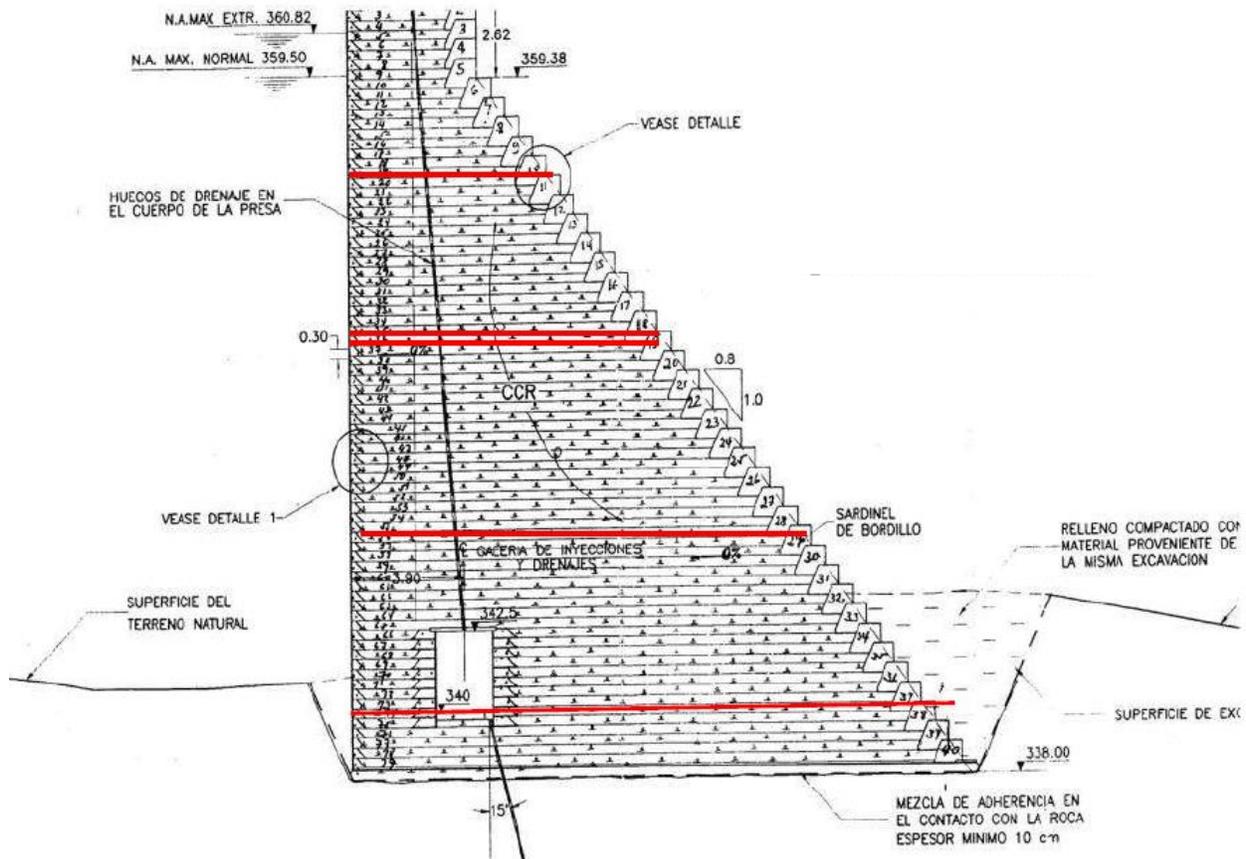


Figura 3. Secciones vulnerables juntas horizontales en presas de CCR [2]

Tradicionalmente, el análisis de estabilidad de este tipo de presas se realiza como un elemento monolítico, al considerar que por las juntas horizontales se pueden producir fallas en el cuerpo de la presa, la misma puede modelarse como un macizo rocoso con discontinuidades, las cuales coinciden con las juntas tanto horizontales como verticales.

Uno de los métodos para realizar la evaluación de la adherencia entre las capas que conforman una presa en CCR, se puede emplear ultrasonido a fin de determinar la densidad de las capas y entre las capas, (ver figura 4)

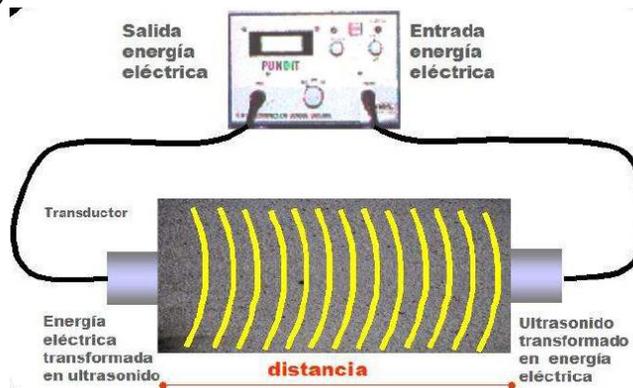
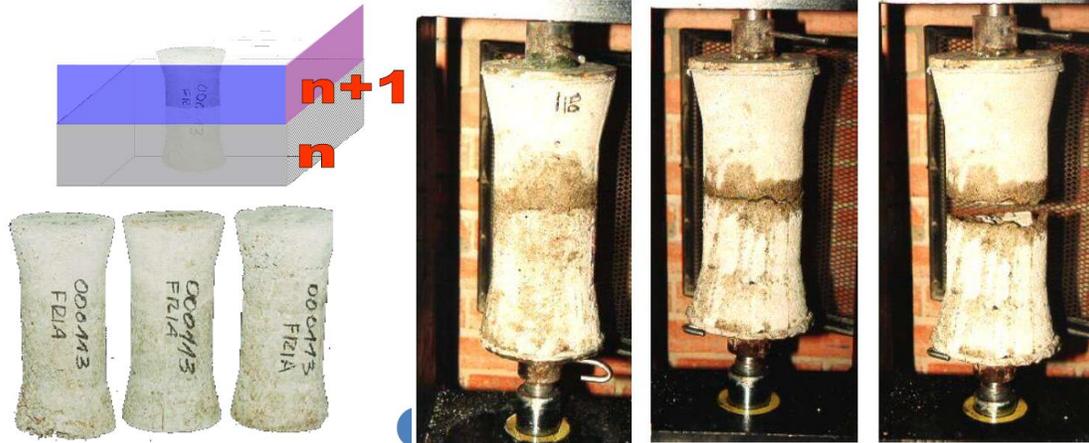


Figura 4. Montaje ensayo por ultrasonido [2]

Un segundo tipo de ensayo empleados para la evaluación de la adherencia entre las juntas horizontales de una presa en CCR, son ensayos de corte directo realizados a muestras troncocónicas tomadas en el cuerpo de la presa entre capas superior e inferior (ver figuras 5 y 6)



Figuras 5 y 6. Toma de muestras para ensayo de corte directo, muestras ensayadas [2]

Un tercer tipo de ensayo, que puede efectuarse para evaluar los parámetros de adherencia entre las capas de concreto compactado de una presa, es el ensayo de rigidez normal constante conocido como (CNS – Constant Normal Stiffness/Rigidez Normal Constante), en el cual, los esfuerzos normales varían durante el proceso de corte, situación que puede ocurrir entre las capas de CCR de la presa durante y después del llenado del embalse, y en caso de cargas excepcionales como olas y sismo.

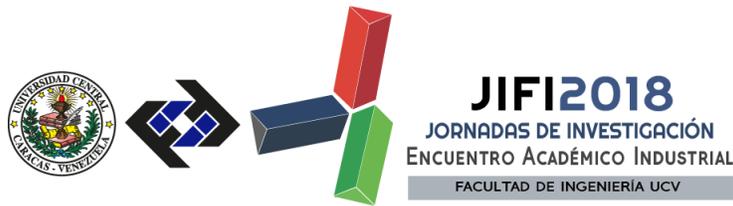
Los resultados de este ensayo permiten modelar, una presa a construir o construida con la técnica del concreto compactado con rodillo, como un macizo rocoso con discontinuidades y de esa manera evaluar el comportamiento tanto de las juntas horizontales como las juntas verticales.

La extracción de las muestras para este tipo de ensayos debe realizarse en un banco de pruebas de materiales para la presa, y la escogencia de las muestras dependerá de los siguientes parámetros, la longitud de los núcleos, el diámetro de los núcleos, la profundidad del núcleo y las discontinuidades en las muestras

CONCLUSIONES

Actualmente la tecnología del Concreto Compactado con Rodillo es una alternativa que se está empleando para la construcción de presas, éstas debido a su configuración hacen que las juntas horizontales entre las capas sean las más vulnerables, afectando la estabilidad del cuerpo de la presa, es por ello que deben realizarse los ensayos que permitan no solo garantizar el diseño de mezcla, sino la adherencia entre las capas o juntas tanto horizontales como verticales.

Los ensayos que permiten la cuantificación de la adherencia son los ensayos de corte, en la actualidad se emplea el ensayo de corte directo, y el de ultrasonido, mas puede comenzar a aplicarse el ensayo de corte a rigidez normal constante, el cual permite obtener los parámetros de adherencia entre las capas de concreto compactado con rodillo, adecuándose al comportamiento de la presa, la cual en el momento del llenado y operación del embalse y también en el caso de cargas excepcionales como sismo u olas, las cuales inducen deformaciones y esfuerzos entre las capas horizontales de la presa, con estos parámetros se puede ajustar el análisis de estabilidad de este tipo de presas, simulándolo a un macizo rocoso con discontinuidades.



Esta documentación da pie al nacimiento de nuevos trabajos de investigación donde se realicen los ensayos de corte a rigidez normal constante la obtención de parámetros reales de adherencia y con los mismos realizar el modelado y análisis de estabilidad.

REFERENCIAS

- [1] US Army Corps of Engineers (2006) Roller Compacted Concrete
- [2] Martínez, B. (2010) Tecnología y Conceptos en Concreto Compactado con Rodillo. Cemex

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>