



**Eduardo de J. Vidaud Quintana**

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: [evidaud@mail.imcyc.com](mailto:evidaud@mail.imcyc.com)



## PAVIMENTOS

# Pavimentos porosos (Parte I)

**L**OS PAVIMENTOS POROSOS (PP) son un tipo especial de pavimento, que permiten la penetración del agua a través de su superficie y el almacenamiento temporal de esta en la sub-base; para su posterior infiltración en el terreno. Son utilizados principalmente en estacionamientos y calles de bajo tránsito, con el objeto de disminuir el escurrimiento superficial proveniente del agua de lluvia y la incidencia de ésta, aguas abajo.

La principal ventaja que presentan los PP es que reducen el flujo superficial proveniente de lluvias torrenciales mediante la infiltración, al evitar que la zona pavimentada sea totalmente impermeable. Además, pueden remover elementos contaminantes del agua, tales como: metales, aceites, grasas y sólidos suspendidos; al filtrarlos a través de las capas de arena y grava, ubicadas bajo la carpeta de rodamiento.

El uso de estos pavimentos está contraindicado en zonas o terrenos con suelos impermeables, regiones climáticas con permanentes ciclos de hielo-deshielo, regiones áridas o con un alto grado de erosión eólica, zonas de alto tráfico, o donde exista alta posibilidad de colmatación.

Los PP están pensados para ser utilizados en urbanizaciones por lo que el diseño estructural y los espesores mínimos deben atenerse a las normas vigentes. No obstante, por las características especiales de estos pavimentos, se hace necesario describir y analizar la situación de desarrollo en que se encuentran otros dos aspectos, que resultan fundamentales para su adecuado funcionamiento: el diseño de la mezcla y el diseño hidráulico.

La resistencia y permeabilidad obtenidas con un PP están determinadas por la mezcla que se va a utilizar. Las variables que afectan su comportamiento son: granulometría, cantidad de cemento, relación agua-cemento y contenido de vacíos. La granulometría utilizada resulta fundamental en las propiedades que tendrá el concreto poroso. Se debe utilizar agregado triturado con ausencia casi total de finos; pues impermeabilizarían la mezcla, tener un tamaño de agregado bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos (del orden del 40%), y un tamaño máximo de agregado de 10 mm para permitir una adecuada terminación superficial.

Una mayor cantidad de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración. Es recomendable usar una cantidad que fluctúe entre los 350 y los 400 kg/m<sup>3</sup>, según requisitos de resistencia y permeabilidad. La dosis de agua utilizada tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Una cantidad insuficiente de agua resultará en una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento desde la superficie del agregado; produciendo una baja resistencia al desgaste superficial.

Actualmente, existe consenso sobre el hecho de que la relación agua-cemento es en realidad una variable, determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada. Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, el encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo "metálico". Generalmente, este valor está en el rango de 0.3 a 0.36.

Con un elevado contenido de vacíos, aumenta la permeabilidad y disminuye la resistencia. Este porcentaje de vacíos está determinado por la energía de compactación entregada, junto con las variables ya mencionadas. Para que una mezcla sea considerada porosa, debe tener como mínimo un 15% de huecos. Se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la poca estabilidad de la mezcla.

Para determinar el espesor de diseño considerando las necesidades hidráulicas, es necesario analizar cuatro factores:

- (i) La selección de una lluvia de diseño para un período de retorno dado.
- (ii) La tasa de infiltración del terreno (tomando el promedio de valores obtenidos en diferentes lugares representativos).
- (iii) El volumen de afluente acumulado (proporcional a la intensidad de la lluvia y su duración), el área aportante y el coeficiente de escurrimiento de esta superficie, y
- (iv) El volumen infiltrado en el terreno natural; proporcional al área del PP, a la tasa de infiltración de la subrasante y al tiempo transcurrido. **C**

### REFERENCIAS:

De Solminihaç, H. y Castro, J., "Pavimentos Porosos de Hormigón: Una Opción para Mitigar los Efectos de las Aguas Lluvias", adaptado de lo publicado en la revista "BIT: La Revista Técnica de la Construcción", Chile. Junio 2002.



## REVESTIMIENTOS

# Revestimiento de diques con mantas de concreto

**L**A MANTA DE CONCRETO (CC5<sup>(1)</sup>; por sus siglas en inglés: Concrete Canvas de 5.0 mm de espesor), ha sido probada con éxito en una refinería del Reino Unido, como lámina anti-erosión, sobre un dique recién reconstruido. La manta fue suministrada en rollos grandes de 200 m<sup>2</sup>, y cortada a la medida en obra, en éste caso con longitudes de 8 metros.

Los rollos de 8 metros fueron colocados en la "cabeza" del dique con la ayuda de un camión grúa, siendo posteriormente desenrollados a mano. De ésta manera se evitó introducir maquinaria y con ello también se minimizó el número de horas en el interior del perímetro del dique.

La manta fue fijada en la cabeza del dique con picas de acero de 25 cm en los solapes (cada metro); cada manta se solapó 10 cm, y se unió a su manta adyacente mediante tornillos de 35 mm de acero inoxidable. En el caso de la parte inferior del dique, la manta se fijó en el pie (del dique) mediante una zanja perimetral en la que la manta se introdujo, para posteriormente ser rellenada dicha zanja, una vez que el concreto estuviera perfectamente hidratado.

La manta se adaptó perfectamente alrededor de las tuberías, así como sobre la esquina de un muro adyacente; pudiendo aseverarse que esta se constituye como un revestimiento duradero, resistente a los rayos ultravioletas e impermeable; realmente rápido de ejecutar y fácil de utilizar.

En el mes de mayo del año 2011, la manta de concreto fue prescrita como material para el revestimiento de un dique de 2.3 m de alto como protección de un almacén remoto. Se instalaron un total de 2,900 m<sup>2</sup>, sobre un terreno arenoso como protección contra la erosión superficial. La solución fue seleccionada sobre otras alternativas convencionales, como fueron el concreto lanzado o el concreto prefabricado; debido fundamentalmente a los considerables ahorros en

costo y en plazo de ejecución, así como por las facilidades de puesta en obra.

En este caso, los taludes fueron perfilados a 60°, asegurándose con esto que la superficie encauzase el flujo hacia una cuneta en el pie del talud, de dimensiones preestablecidas. Adicionalmente, se colocó en el talud una cama de arena de 5 cm; antes del tendido de la manta para asegurar el drenaje. Como antes se comentó, la manta se suministró en rollos de 200 metros de longitud y se pudo instalar con el apoyo de un camión grúa y de un "balancín".

Asimismo, también se ejecutó una prueba para el revestimiento de un dique, en nombre de la constructora "Pacific Rubiales Energy", como parte de los trabajos de refuerzo en las instala-

ciones de *Meta Petroleum Corp Oil*, en Colombia. La prueba demostró que la manta puede ser instalada en obra sin necesidad de equipamiento pesado, lo que resulta crítico en una obra con niveles de accesibilidad limitados y/o dentro de un área con un entorno peligroso.

Los trabajos fueron completados en condiciones de humedad, lo cual hubiera sido complicado al seguir procedimientos de colado

tradicionales. Los propietarios de la empresa quedaron impresionados con el simple y rápido método de instalación de las mantas de concreto como revestimiento de diques, así como con su inmediata efectividad tras su tendido.

Actualmente se están llevando a cabo trabajos de topografía para mayores proyectos con mantas de concreto en esta planta petrolífera; además del revestimiento de diques, se han comenzado a desarrollar también trabajos de drenaje. **C**

<sup>(1)</sup> La manta o lienzo de concreto (CC) es un tejido flexible impregnado con cemento que se endurece cuando se hidrata, formando una superficie de concreto delgada, resistente e impermeable.

Fuente: Adaptado de <https://nebula.wsimg.com>

### REFERENCIAS:

[www.concretcanvas.co.uk](http://www.concretcanvas.co.uk), "Diques de Protección. Manta de hormigón", 2011.





## OBRAS DE INGENIERÍA

# Obra del Metro de Sao Paulo (Parte II)

**D**URANTE LA CONSTRUCCIÓN del Metro de Sao Paulo se utilizó un compuesto de espuma de tensoactivo y polímero, con las siguientes funciones: impermeabilizar el frente de la excavación, reducir la permeabilidad de los materiales excavados para obtener un adecuado control de presión, mezclar éste material para el transporte por correa transportadora, y reducir el desgaste de las piezas de trabajo.

Mientras el frente es excavado, un alimentador de segmentos incluido en la tuneladora, se encargó de levantar y ubicar los anillos que aseguran la estabilidad de la obra (una vez que la tuneladora ha pasado); generando una junta entre anillo y anillo que debió ser inyectada una vez que el anillo ha sido instalado. Para éste relleno se utilizó un sistema bi-componente de silicato de sodio y mezcla fluida de cemento. Dependiendo de la cantidad de silicato de sodio añadido al cemento, la mezcla alcanza el estado de gel en un tiempo de entre 5 y 15 segundos, a partir de entonces ya no es posible para el agua subterránea arrastrar material fino. La inyección se ve limitada por el volumen máximo a aplicar, sin afectar la calidad de la junta; en este caso el límite es de aproximadamente 8.1 m<sup>3</sup>.

Es importante destacar que la infraestructura para la excavación con tuneladora está equipada con una estación de tratamiento de aguas residuales, responsable por el destino de la espuma (biodegradable), la sedimentación de partículas sólidas del material de excavación, y el pH básico generado por el cemento utilizado en las inyecciones del mortero.

Los revestimientos de túneles con elementos prefabricados, se convierten en la opción más eficiente a implementar debido a sus facilidades de uso combinado con otras tecnologías. Este sistema se empezó a instalar

en Inglaterra a partir de los años 30, en túneles de diámetro pequeño; opción (anillos) que en la actualidad se ha presentado como muy frecuente en túneles de diámetros mayores a 9 m. Una de sus principales ventajas es que las tuneladoras que se utilizan instalan las dovelas, al tiempo que hacen la perforación; dejando listo el revestimiento del túnel.

La tendencia actual es limitar el número de dovelas por anillo para reducir el tiempo de instalación, esto sin descuidar el diámetro del túnel y el peso de estas secciones. Por ejemplo, los anillos que se emplearon en la Línea 4 del Metro de Sao Paulo, se forman a partir

de un grupo de 9 segmentos de concreto reforzado con fibras de acero. Cada segmento tiene resistencia a la compresión de 45 MPa, en donde el contenido de fibras es igual a 40 Kg/m<sup>3</sup> y su peso de 4000 kg. Los anillos tienen un diámetro interior de 8.43 m, un espesor de 35 cm, un diámetro exterior de 9.13 m, y un ancho promedio de 1 metro y medio, con una pequeña variación

que permite, por el posicionamiento entre los anillos adyacentes, cambiar la dirección del túnel y llevar a cabo la ruta prevista con sus curvas.

La fábrica de producción de los anillos prefabricados está situada en un punto central de la Línea 4, en un sitio conocido como Jaguaré. Esta es una planta que en su momento tuvo una capacidad de producción diaria promedio de 12 unidades en el sistema de "carrusel", en donde se utilizan moldes para lograr una precisión cercana a medio milímetro a los que se les vierte el concreto para luego en una sala de curado térmico en un período de 4 a 6 horas, descimbrar las partes.

En general hubo un estricto control de calidad, responsable supervisar las dimensiones de las partes fabricadas, la calidad de los insumos, y la mínima resistencia de los segmentos a edades tempranas. **C**



### REFERENCIAS:

Pellegrini M., "Metro de San Pablo: Tecnología de Bajo Impacto para Excavaciones de Túneles en Centros Urbanos", adaptado de lo publicado en la revista "Noticreto", No. 90, Colombia. Septiembre-Octubre del 2008.



## RESISTENCIA

# Resistencia y deformabilidad en compresión de concretos afectados por altas temperaturas

**D**URANTE SU VIDA en servicio, y debido a factores que pueden ser tanto accidentales como de diseño, los elementos estructurales de concreto pueden verse sometidos a altas temperaturas. Dichas situaciones pueden generar alteraciones en la estructura interna del material, pudiéndose producir micro o macro fisuraciones que se traducen a su vez en reducciones de resistencia y, en mayor medida, en un aumento de la deformabilidad.

Estos cambios dependen principalmente del nivel de temperatura alcanzado, del tiempo de exposición y de las propiedades de los materiales componentes. Dado que los agregados ocupan el mayor volumen dentro de la masa de concreto y que gran parte de los daños por exposición a altas temperaturas se deben a las diferencias entre los coeficientes de expansión térmica de la matriz y los agregados, es razonable suponer que las características de éstos constituyen una variable de importancia.

En este escrito, resultante de un estudio desarrollado en Argentina, se estudia la resistencia y deformabilidad de concretos elaborados con distintos tipos de agregados gruesos, expuestos a temperaturas de hasta 500° C. En el estudio, se elaboraron 5 mezclas de relación agua-cemento (a/c) 0.50, con cemento Portland normal, arena silíceo de río y distintos tipos de agregado grueso de 19 mm de tamaño máximo, 4 agregados triturados de diferente origen (granítico, basáltico, calcáreo y cuarítico) y una arcilla expandida. También se estudió el comportamiento de un mortero con igual relación a/c. En general, se moldearon probetas cilíndricas de 15 x 30 cm, y se curaron durante los primeros 28 días en cámara húmeda (HR: 95 ± 5%; T: 20 ± 2° C) y luego se mantuvieron en ambiente de laboratorio durante 60 días más.

En cada una de las series (según el tipo de agregado), diferentes grupos de probetas fueron expuestos a temperaturas de 150, 300, y 500° C y enfriados en forma lenta. En el primer caso, la temperatura máxima se mantuvo por 24 horas, mientras que en los restantes el tiempo de exposición a máxima temperatura fue 1 hora. La velocidad de calentamiento fue del orden de 100° C / hora, además, un grupo de probetas fue precalentado durante 6 horas a 150° C y luego fue sometido al ciclo de calentamiento a 500° C. Finalmente, se evaluó otro grupo de probetas (identificadas como 20° C), las cuales no fueron expuestas a ningún tratamiento térmico.

El calentamiento de las probetas se realizó en horno eléctrico con control automático de la temperatura. En cada serie se incluyó una probeta testigo con una termocupla en su interior a fin de registrar el aumento de temperatura. Los resultados de esta investigación refieren que bajo ninguna condición, empleando agregados normales, se obtuvieron resistencias residuales inferiores al 75%.

En todas las series, hasta los 300° C la caída de resistencia fue inferior al 10%. También se observó una situación particular en el caso del concreto con arcilla expandida donde se destruyeron algunas de las probetas calentadas a 500° C.

Por otra parte, a diferencia de lo que ocurre con la resistencia, a partir de los 150° C se observa una caída del módulo de elasticidad y también reducciones en la relación de Poisson, independientemente del tipo de agregado. Asimismo, en las probetas expuestas a 500° C que fueron precalentadas, eliminando parte de la humedad, se obtuvieron mejoras de la resistencia a compresión y del módulo elástico respecto a los mismos grupos sin precalentar. **C**

### REFERENCIAS:

della Croce G., Giacchio G., Villa I., Zerbino R., "Resistencia y deformabilidad en compresión de concretos afectados por altas temperaturas", Jornadas SAM 2000, IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, 2000, Págs. 1151-1157.