Noticreto

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

ASOCEM
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CEMENTO

N° 14
Perú

AMPLIACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PTAR EL SALITRE

SOLUCIÓN PARA CONSTRUIR ESTRUCTURAS BAJO EL AGUA
GROUTS ANTIDESLAVE

APLICACIONES PARA EL MANEJO DEL AGUA
CONCRETO PERMEABLE

EDICIÓN ESPECIAL

Estructuras hidráulicas

UNA PUBLICACIÓN DE
PROCEMCO
CÁMARA COLOMBIANA DEL CEMENTO Y EL CONCRETO

7 709995 000479

PERÚ s/. 30

ISSN 0120-8489

14 NOTICRETO LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN - EDICIÓN BIMESTRAL / ASOCEM, PERÚ
NOVIEMBRE - DICIEMBRE / 2020

En Unacem creemos que, más allá de las obras, el verdadero desarrollo se da en las personas. Trabajamos de la mano de las comunidades, mejorando su seguridad e infraestructura mediante la construcción de muros de contención, beneficiando a más de 9 mil familias que ahora tienen acceso a servicios básicos como agua y alcantarillado.

UNACEM
Construyendo oportunidades
JUNTOS

CAMC

El futuro se construye con confianza

CAMC #1 en camiones hormigoneros

Av. Nicolás Arriola Nº 3035
San Luis - Lima
T. 715 5723
camc.com.pe

San Bartolomé

Noticreto 14
NOVIEMBRE - DICIEMBRE 2020

NUESTRA PORTADA
Planta de Tratamiento de Agua de Fort Irwin, Los Ángeles, Estados Unidos.
Foto: U.S. Army Corps of Engineers Los Angeles District
Foto tomada por: Brooks O. Hubbard, IV

DIRECTOR ASOCEM
Carlos Ferraro

COMITÉ EDITORIAL
Susana Kroll, Leslie Saavedra y PROCEMCO

COORDINACIÓN EDITORIAL
PRODUCCIÓN GRÁFICA
DISEÑO EDITORIAL
Y CORRECCIÓN DE ESTILO

PROCEMCO
CÁMARA COLOMBIANA DEL CEMENTO Y EL CONCRETO

COLABORADORES
Juan Fernando Arango Londoño, Samuel Arango, Nohora Arbeláez, Carlos Arcila, Claudia Badillo, Martha Barros, Diego Castiblanco, Tom Decker, Néstor Guillermo Franco González, Lina Gaviria, Gloria Giraldo, Jorge E. González González, Diego Jaramillo, Manuel Lascarro, Juan Camilo Lema Zambrano, Mónica López, Jeiko Sebastián Londoño, Albert Navarrete, Juan Jesús Núñez Concepción, Sandra Reinaguerra, Patricia Ríos Sánchez, Liliana Roa Ovalle, Sonia Rodríguez, Juan Guillermo Sierra, Guillermo Sierra, Andrés Uribe Gómez, Alexander Vargas.

SUSCRIPCIONES
s.kroll@asocem.org.pe

ASOCEM
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CEMENTO

Av. Juan de Aliaga 425 Of. 510 Magdalena del Mar
Teléfonos: (+511) 281 8177
Correo: s.kroll@asocem.org.pe
www.asocem.org.pe

FLICKR - BAS LEENDERS

La información, conceptos u opiniones expresados en esta publicación, tanto en los artículos como en las pautas publicitarias, y el uso que se haga de ellos, no representan responsabilidad alguna para PROCEMCO, Noticreto o Asocem, ni para el autor o su empresa. La información y conceptos deben ser utilizados por las personas interesadas bajo su responsabilidady criterio. Sin embargo, se entiende que cualquier divergencia con lo publicado constituye un interés para PROCEMCO y Asocem, por lo cual se agradecerá el envío de las correspondientes sugerencias. PROCEMCO y Asocem no asumen ningún tipo de responsabilidad por la información que divulguen los anunciantes a través de Noticreto, y por tanto cualquier reclamación relacionada con la calidad, idoneidad y seguridad de los bienes y servicios anunciados en la revista, deberán ser atendidos con cada productor o distribuidor, según corresponda, quedando por tanto PROCEMCO y Asocem liberados de cualquier responsabilidad que pueda derivarse por causa y/o efecto de la información que se suministre en Noticreto.

La reproducción total o parcial de los artículos de la revista se podrá realizar únicamente con previa autorización escrita de la Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto PROCEMCO (antes Asocreto) y la Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM, citando fuentes, edición y fecha de publicación. Las imágenes tablas y esquemas suministrados por los autores de artículos han sido autorizados por ellos para ser incluidos en la revista.

Publicación de la Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto PROCEMCO (antes Asocreto) bajo contrato con la Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM con carácter técnico e informativo para el sector de la construcción. Resolución Ministerio de Gobierno 00590 del 3 de marzo de 1987 - ISSN 0120-8489. Costo unitario de la revista en Perú s/.30 y en Colombia COP$18.000 Para información sobre suscripciones comuníquese directamente con ASOCEM.

CARTA EDITORIAL
5 La importancia de la infraestructura hidráulica
Carlos Ferraro

CONSTRUCCIÓN
6 Procesos constructivos innovadores. Ampliación PTAR El Salitre
Juan Jesús Núñez Concepción

DISEÑO
12 Consideraciones de diseño de juntas en tanques de PTAR's
Lina Gaviria

MATERIALES
18 Impermeabilización de tanques en plantas de tratamiento de aguas residuales
Patricia Ríos Sánchez
23 Aplicaciones para el manejo del agua. Concreto permeable
Samuel E. Arango C.
Jeiko Sebastián Londoño

REFLEXIÓN
27 El manejo de aguas para el sector vial y la vida humana
Mónica López

CIMENTACIONES
32 Fase II, PTAR El Salitre: Sistema de cimentación
Liliana Roa Ovalle

TECNOLOGÍA
34 Solución para construir estructuras bajo el agua. Grouts antideslave
Andres H. Uribe Gomez
Juan Camilo Lema Zambrano

CORTESÍA: MASTER BUILDERS SOLUTIONS BASF

CORTESÍA: CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR

PREFABRICADOS
37 Conexión y descarga PTAR El Salitre II. Obras hidráulicas de gran formato
Alexander Vargas

ARTE EN CONCRETO
42 Edificio de estudio de diseño Thomas P. Murphy

PATOLOGÍA
44 Patologías frecuentes en estructuras hidráulicas
Carlos Arcila López

CALIDAD
49 La durabilidad a la erosión del concreto en obras hidráulicas
Juan Fernando Arango Londoño

HISTORIA
51 El río que se sacó de Valencia, España
Sonia Rodríguez Valenzuela

LABORATORIO
53 Radar de penetración terrestre (GPR). Detección e identificación de tuberías
Sandra Reinaguerra

RESPONSABILIDAD SOCIAL
55 Arte, concenso y río
Néstor Guillermo Franco González

57 NOVEDADES
58 EVENTOS
59 HUMOR
60 CAROLINA EN LA OBRA

noticreto
LA REVISTA DE LA TÉCNICA DEL CONCRETO

notiCreto
LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

La Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM es una entidad gremial representativa de la Industria de cemento y productos derivados en el Perú, cuya finalidad es la promoción y desarrollo de la industria del cemento y derivados, para contribuir con el desarrollo del país.

ASOCEM
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CEMENTO

Av. Juan de Aliaga 425 Of. 510 Magdalena del Mar
Teléfonos: (+511) 281 8177
www.asocem.org.pe

Nota editorial

La importancia de la Infraestructura hidraúlica

Estimados lectores,

El agua, siendo uno de los elementos esenciales para la vida y el desarrollo de la humanidad, no está disponible en todas partes del mundo en la misma cantidad ni en la misma calidad.

La geografía del Perú es retadora: contamos con la costa, una franja de desiertos y lomas fértiles con escasas lluvias, atravesada por algunos valles irrigados por ríos. La sierra, con abundantes lluvias por temporadas, está inundada de valles profundos por los que discurre el agua en su insistente busqueda del mar. Y finalmente la selva, que recibe constantemente una enorme cantidad de agua, tanto de la sierra como de intensas lluvias.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Los antiguos peruanos aprendieron a manejar el agua con diversas técnicas, adecuandose con ingenio a las exigencias geográficas. Son claros ejemplos de ello los innumerables valles llenos de andenes, los acueductos de Cumbemayo en Cajamarca, Tipón en Cuzco, los ductos de agua en MachuPichu, los acueductos subterraneos en Nazca, además de los canales y reservorios en diversos lugares de la costa que permitieron la explotación agrícola y el desarrollo de la población.

Estas obras milenarias, hoy en día nos sirven de ejemplo para poder desarrollar infraestructura y sistemas hidráulicos resilientes para poder afrontar, no solo el paso del tiempo, sino el cambio climático. Particularmente en nuestro país, es crítico el desarrollo de sistemas de irrigación para la costa, para poder abastecer a las ciudades, así como el desarrollo de plantas de tratamiento de aguas residuales con capacidades adecuadas para reutilizar el agua tratada en las diferentes ciudades y no contaminar los ríos.

Tenemos la oportunidad de crecer juntos; corresponde al estado convocar y a la industria estar preparada para contribuir a ese desarrollo.

Carlos Ferraro Rey
Director Ejecutivo
Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM

ASOCEM
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CEMENTO

Procesos constructivos innovadores

Ampliación PTAR El Salitre

Foto 1. Avance en PTAR El Salitre.

Juan Jesús Núñez Concepción, Consorcio Expansión PTAR Salitre - CEPS
Fotos: Cortesía Consorcio Expansión PTAR Salitre - CEPS

Durante el proceso constructivo de ampliación de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre se han desarrollado procesos innovadores enfocados a optimizar los plazos y mejorar la calidad del producto final. En este sentido se irá describiendo la construcción de la planta, paso a paso.

Inicialmente hubo un proceso de gran complejidad en excavaciones y rellenos debido a la presencia en el predio de un millón de metros cúbicos de basuras, pues el lote fue un antiguo botadero. Por esto se realizaron campañas de toma de muestras para descartar la presencia de lixiviados y poder conformar una montaña en el predio adyacente donde se desarrollará el futuro Parque Metropolitano. Se efectuaron también pruebas de compactación para establecer la densidad del material y se hicieron cortes en las excavaciones hasta con taludes verticales para determinar la estabilidad y su utilidad en las excavaciones del proyecto.

Por otro lado, ante el gran volumen de la montaña del Parque y la proximidad de vías y viviendas, se realizó un monitoreo durante todo el proceso de relleno hasta el presente, de los movimientos y asentamientos de la montaña y su posible influencia. Se instalaron placas de asentamiento, inclinómetros y extensómetros para lecturas semanales, que hoy en día son mensuales.

Para esta tarea se ejecutaron las excavaciones y rellenos con la utilización simultánea de 80 volquetas, 40 retroexcavadoras y 8 tractores de oruga en diferentes frentes de trabajo.

Foto 2. Ejecución de excavaciones.

Dado que el plazo de terminación de la construcción es de tres años –muy breve para ejecutar y poner en marcha una planta de estas características– se buscaron estrategias para acortar plazos y cumplir los tres hitos parciales de entrega y los dos hitos finales, terminación de obra y asistencia operativa. La primera y más grande estrategia fue buscar la manera de dividir la obra en tres grandes frentes o tres obras independientes, cada una liderada por un responsable, de tal forma que la ejecución fuera coordinada y de trabajo simultáneo en todas las estructuras del predio. Una vez organizada esta condición, se comenzarían escalonadamente los diferentes trabajos y frentes.

Por otro lado, se comenzó con estrategias de ejecución, poniendo en práctica las excavaciones en grandes plataformas de estructuras acabadas en rajón y triturado (pretratamiento, primarios, secundarios, biológicos, cloración, digestión y lodos), dejándolas al nivel del fondo de cimentación y construyendo vías de comunicación provisionales en el lugar de las definitivas. Esto permitió abrir varios frentes de trabajo de pilotaje y dar ingreso a varias compañías para que operen de forma independiente. Esto evitó realizar los tablestacados previstos para cada tanque y, así mismo, obvió el pilotaje sobre plataformas de rajón y triturado encima las basuras, lo que implicaría demorar el proceso dado que posteriormente habría que encamisar todos los pilotes, sacar las basuras y descabezar la mayor altura del pilote, aparte de las dificultades en los accesos a los tanques.

noticreto LA REVISTA DE LA TECNICA Y LA CONSTRUCCION

Foto 3. Plataformas de rajón para pilotaje.

Ante la complejidad de la zona donde se sitúa la PTAR y los problemas de tráfico para cumplir con el suministro, se ubicaron plantas de producción de concreto en el interior de la obra. Acogiéndose a un estudio del volumen máximo diario y mensual, se instalaron tres plantas de concreto con capacidad de 130 m^3/h, con lo que se industrializó totalmente la operación.

Comenzado el pilotaje se detectaron dificultades por la presencia combinada de presión de agua y de gases atrapados en las zonas de las capas de arena. Esto obligó a introducir cambios en el pilotaje y a diseñar una mezcla de concreto con adición de un producto que evita el deslave del concreto ante la presencia del agua y los gases. Por otro lado, se decidió encamisar los pilotes hasta pasar las capas de arena, se cambió el tipo de polímero y se utilizó otra mezcla para crear una capa más viscosa que soporte mejor las paredes de la excavación. Estos tres procesos combinados, controlaron las presiones de agua y gas.

En la búsqueda de industrializar los procesos constructivos se adoptaron métodos más rápidos para el pretratamiento. La presencia del canal de entrada y las alturas de la excavación, condujeron a un proceso de construcción inverso: la ejecución de los muros mediante pantallas de 15,2 y 25 m de altura, el apuntalamiento de las pantallas mediante encofrado metálico y la posterior ejecución de excavación, losas, cimentación, vigas y losas de cubierta.

Foto 4. Pantallas de pretratamiento.

Foto 5. Ejecución de cimentación y estructura.

Las cimentaciones de los tanques se optó por realizarlas en dos fundidas masivas, ejecutado inicialmente las mitades de menor complejidad (que no tenían tuberías enterradas), y avanzar así con la primera mitad de muros.

Foto 6. Cimentación de primarios por mitades.

Para levantar todas las estructuras se utilizaron encofrados de nueva tecnología, ligeros y transportables por grúas en grandes módulos, recurriendo a métodos de origen alemán y austriaco. Se realizaron, además, unas plataformas modulares de acero para montaje que también pudieran llevarse con grúas.

Foto 7. Encofrado y vaciado de concreto.

Gracias a los métodos aplicados se pudieron realizar armados y fundidas de los muros de tanques primarios y secundarios en dos puestas –es decir, dos medios tanques– armados en tramos de 11,50 m x 4,80 m y con peso de 3,2 t, calculado para que las grúas pudieran levantar esa carga en punta.

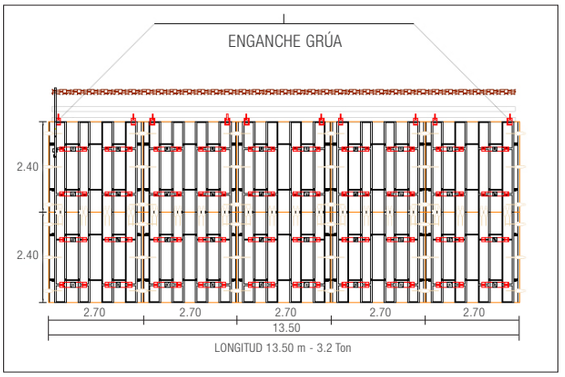


Foto 8. Módulo de encofrado de muros para desmontaje y montaje.

En los muros rectos del reactor biológico se utilizó este mismo encofrado en la primera altura de mayor espesor hasta 2,40 m, y para la reducción de espesor se utilizó una formaleta ligera en los 3,80 m restantes, lo cual aceleró el proceso. Esta zona se dividió en dos grandes frentes con un pasillo central para la circulación de los camiones mezcladores sobre la losa de cimentación.

Para acelerar el proceso de construcción de los ocho digestores de 30 m de diametro y 15 m de altura de muro se utilizaron dos sistemas combinados: por un lado, dos de los muros fueron ejecutados por un sistema de trepas de 5 m, de origen alemán, en tres fundidas completas, y los otros seis mediante el sistema deslizado de origen brasilero. De esta manera, se redujo la ejecución en alrededor de tres meses, ganando un tiempo valioso dentro del corto plazo de obra.

Foto 9. Encofrado tipo Trepa 5 m.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Foto 10. Encofrado deslizante 1 m.

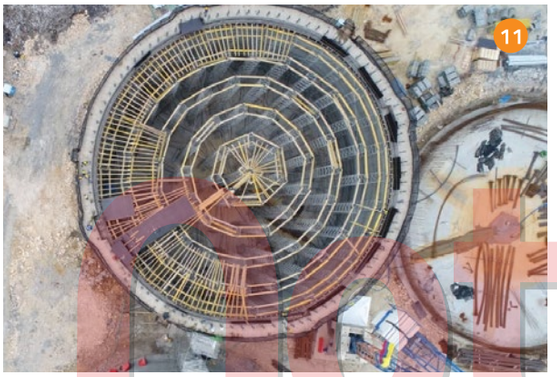
Foto 11. Cimbras y formaleta de losa.

Foto 12. Fabricación de Box Culvert.

Foto 13. Entibado deslizante con codales horizontales.

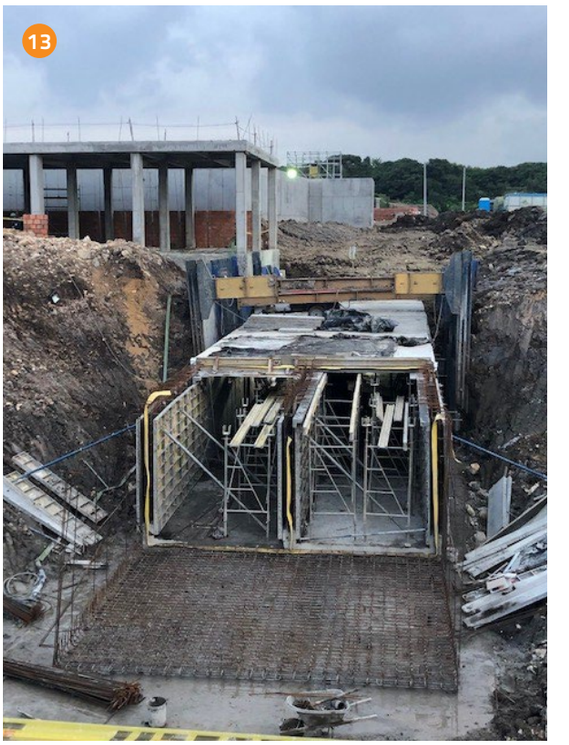
Foto 14. Desvío del canal de Afluente.

Para la culminación de la cúpula de los digestores se aplicó igualmente un sistema alemán de torres de andamios y encofrado.



Otro gran aporte para mejorar los procesos y los plazos en el proyecto PTAR El Salitre fue la ejecución en obra de conducciones en concreto tipo Box Culvert, implantando en obra una planta de prefabricados para entregarlos seis meses antes de su montaje.

En el proceso constructivo de montaje de Culvert y de tuberías y ante la altura, los niveles en que se encuentran y la complejidad del suelo (presencia de capas de arena, agua y fenómeno de licuefacción) fue necesario establecer procesos de entibados especiales de tecnología española, para contener los terrenos y ayudar a evitar socavaciones por estos fenómenos.



Noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

La ejecución del proyecto tiene dos frentes complejos porque se ejecuta en los canales del afluente y efluente de la planta existente. En la actualidad se han resuelto en 95% las obras del canal del afluente. Para los trabajos de conexión con la entrada de la planta nueva se hizo un desvío provisional del canal mediante un estrechamiento del existente para poder cortar la conexión en la entrada y salida del desvío, un corte de gran complejidad porque debía contenerse el empuje del agua del canal.

Al ser necesario cubrir este canal para evitar los olores de la planta se contempló un sistema constructivo a base de columnas, muros y vigas prefabricadas de 30 m, sobre el cual apoyar unas placas y una capa de compresión de 5 cm de concreto, ya que el agua discurre por el canal y cualquier otro sistema sería de gran complejidad.

Foto 15. Colocación de vigas y placas prefabricadas sobre canal.

El canal del efluente también debe invadirse parcialmente para acometer la conexión. En este caso se diseñó una estructura prefabricada de losas de cimentación y muros, que irá avanzando de acuerdo con la excavación hacia el borde del canal. Posteriormente se instalarán mallas de dados de concreto.

Al igual que en la obra civil, en los montajes de equipos es necesario buscar sistemas industrializados que acorten plazos para lograr los tiempos de finalización de lotes y obra. En este sentido, la obra se enfoca igualmente en tres grandes frentes con un responsable y un equipo técnico, según las necesidades de cada área, con el objetivo de trabajar en el montaje simultáneo de equipos en todas las estructuras. Esto se consigue gracias a la implementación de un exhaustivo plan de compras de todo el equipamiento electromecánico y de control de la planta, con entregas parciales en los subconjuntos necesarios. Todas estas operaciones incluyen apoyo técnico para el montaje y puesta en marcha, además de una estrategia de compra y entrega masivas de equipos. Gracias a ello comenzaron a llegar en mayo de 2019, y en diciembre se tenía comprado y en obra el 85%, dentro de los plazos coordinados con la ejecución y la necesidad de iniciar los montajes.

Fotos 16 y 17. Llegada de equipos.

Realizada la organización para ejecutar los montajes solo se necesitaba personal para efectuar el proceso de manera industrializada. Para esto, una vez dividida la obra en tres partes, se designaron de dos a tres contratistas por actividades o por instalaciones. Se contratan tres compañías de tuberías y montaje de equipos, tres de montajes eléctricos, una para construir la subestación eléctrica, una para el alumbrado exterior y edificios, dos para montajes de conducciones enterradas, una de aire acondicionado, dos de control e instrumentación, dos de tuberías de agua potable y lluvias, y una para redes de incendio, entre otras.

Se dividió el montaje en tres disciplinas: mecánica, eléctrica y control. Tanto para el montaje mecánico como para el eléctrico se subdividió la obra en subconjuntos adjudicados a distintas empresas, como se anotó, para acometer simultáneamente los trabajos en todas las áreas y disciplinas donde fue posible. Asimismo, se industrializaron todos los montajes repetitivos de equipos. Esto ha permitido que en seis meses se haya dispuesto, montado y conectado el 90% de la línea de agua y un 30% de la línea de lodos.

Por otra parte, se han implantado medidas o planes de aceleración y trabajos de 24 horas en frentes que se debían acelerar para poder la terminación oportuna de obras civiles y montajes.

Todo el **equipamiento** de la obra ha sido suministrado por fabricantes de prestigio internacional, con **altos estándares** de **calidad** de fabricación y **experiencia** sobrada en plantas de tratamiento de agua residual. Para la puesta en marcha, se compatibilizará con la **Fase 1** existente, armonizando **procesos** y aprovechando **infraestructuras**.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

FICEM
Hoja de Ruta CO_2

FICEM
FEDERACIÓN INTERAMERICANA DEL CEMENTO

¿Qué es la **Hoja de Ruta FICEM**?

La Hoja de Ruta FICEM es el compromiso de la industria cementera Latinoamericana, en la reducción de emisiones de CO_2 hacia una economía baja en carbono y la promoción del uso del cemento, como solución a las necesidades de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

OBJETIVO **1**

Aportar a los objetivos mundiales para el desarrollo sostenible **ODS y COP 21**, los objetivos globales de la Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento **(WBCSD)** y los **objetivos regionales** para enfrentar el **cambio climático.**

OBJETIVO **2**

Construir la línea base de emisiones de CO_2 en la industria regional, mediante la implementación de un sistema para la Medición, Reporte y Verificación FICEM **(MRV FICEM)**, usando la data reportada en el protocolo **The Getting Numbers Right (GNR).**

OBJETIVO **3**

Determinar el potencial de reducción de CO_2 por país y planta, basado en la eficiencia energética e innovación para la producción de Clinker y Cemento en Latinoamérica.

OBJETIVO **4**

Identificar las acciones para implementar el potencial de **reducción de CO_2** en nuestro ciclo de vida y **posicionar al cemento** como el material más **resiliente** para las necesidades de **adaptación al cambio climático.**

OBJETIVO **5**

Estandarizar y facilitar la elaboración de las Hojas de Ruta por País, para lograr cumplir los **requerimientos de Mitigación y Adaptación** de acuerdo a las oportunidades y necesidades **locales.**

OBJETIVO **6**

Posicionar a FICEM como referente de la industria para facilitar diálogos y negociaciones asociadas al cambio climático en nuestros países.

Posicionando al cemento como material líder en la construcción resiliente

Federación Interamericana del Cemento
FICEM

Contáctenos:
Calle 118 # 19 - 52 | Bogotá, Colombia
Tel: +57 1 6582978
Correo: ntriana@ficem.org

Consideraciones de diseño de juntas en tanques de PTAR's[1]

Lina Gaviria, Sika Colombia S.A.S.
Fotos y figuras: Cortesía Sika Colombia S.A.S.

Foto 1. Planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR.

Las estructuras para contener líquidos se conocen también como "estructuras de concreto con ingeniería ambiental" y sirven para transportar y almacenar agua potable, aguas residuales y otros líquidos peligrosos o no peligrosos. Incluyen los tanques y depósitos de las plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales, tanques para almacenamiento de líquidos producto de diferentes procesos industriales y otras estructuras de contención. Estas instalaciones pueden ser superficiales o estar enterradas, semienterradas, situadas en la parte alta de un edificio o sobre la estructura para un tanque elevado.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 incluye en su capítulo C.23 los linea-mientos para el diseño de estructuras que contendrán líquidos, que es un resumen del documento del ACI[2] 350M-06[3], el cual contiene los procedimientos para el diseño estructural y la construcción de estructuras de este tipo. Según el ACI 350M-06, el diseño estructural comprende dos aspectos:

1. Cálculo de las dimensiones de las secciones de concreto reforzado de muros, losas de fundación y losas aéreas, con sus respectivos aceros de refuerzo.
2. Diseño de la impermeabilización estructural: cálculo de las juntas de construcción, juntas de retracción, juntas de expansión y sus respectivos sellos para evitar el escape del líquido.

1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
2 American Concrete Institute / Instituto Americano del Concreto.
3 Code Requirements for Enviromental Engineering / Requisitos del Código para Ingeniería Ambiental.

Este diseño estructural es responsabilidad del ingeniero estructural. Sin embargo, es común encontrar que en el diseño no se sigan estrictamente los procedimientos del ACI 350M-06, especialmente en el cálculo de las fuerzas hidrodinámicas que afectan a estas estructuras al ocurrir un sismo; además, casi nunca se realiza el diseño de la impermeabilización estructural (diseño de juntas). Se aduce que se desconocen el documento ACI 350M-06 y otras guías del ACI necesarias para este diseño porque no están traducidos al idioma español.

El ingeniero diseñador debe prestar especial atención al diseño y configuración y a la solución de impermeabilidad para las todas las juntas y penetraciones (tuberías pasantes) dentro y a través del concreto. Por lo tanto, debe tener buen conocimiento del diseño estructural, que incluye los requisitos para las juntas, en conjunto con las alternativas de materiales que pueden utilizarse para sellarlas e impermeabilizarlas.

También debe considerar la interacción y compatibilidad de las juntas con el acero de refuerzo y asegurar que todas las soluciones escogidas estén completamente especificadas y que son de fácil ejecución en obra.

← Foto 2. Tanque sedimentador de tratamiento de aguas.

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Control de la fisuración

En los depósitos de agua potable y de aguas residuales, para proteger la salud de las personas debe evitarse la filtración de adentro hacia afuera y viceversa. Es primordial controlar la fisuración, por lo cual se establecen valores estrictos para los anchos permisibles de las fisuras una vez que la estructura empieza a funcionar.

El documento ACI 224R-01[4] presenta las principales causas de fisuración en estructuras de concreto y los procedimientos detallados para controlarla. La tabla 4.1 del documento muestra los anchos de fisuras permitidos para estructuras de concreto reforzado bajo cargas de servicio y diferentes tipos de exposición. Se permiten anchos de fisuras de tan solo 0,1 mm para las estructuras que contendrán líquidos; es decir, una vez empiece a funcionar la estructura sólo son admisibles fisuras con ese ancho.

Condición de exposición	Ancho de fisura	
	pulg	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Químicos para deshielo	0,007	0,18
Agua de mar, zona de salpique, ciclo húmedo y seco	0,006	0,18
Estructuras de retención de agua	0,004	0,15

↑ Tabla 1. Guía de ancho de fisuras tolerable para el concreto reforzado bajo cargas de servicio.
ADAPTADO DE ACI 224R.

Se satisface el estado límite de fisuración cuando el ancho superficial de las fisuras no sobrepasa el valor especificado. Los anchos de las fisuras se controlan si se distribuye el acero de refuerzo de tal manera que se formen varias fisuras muy finas, en lugar de unas pocas fisuras con ancho que pueda resultar excesivo. Esto se logra disponiendo barras de acero de diámetro pequeño no muy espaciadas entre ellas, en vez de un área igual de refuerzo con diámetros mayores.

↑ Foto 3. Acero de refuerzo en la losa de una estructura para contener líquidos. Se prefieren las barras de acero de pequeño diámetro y poco separadas para reducir el riesgo de fisuras con anchos mayores a lo permitido.

El documento ACI 350.2R-04[5] presenta una tabla guía con los espesores de los muros y la ubicación del acero de refuerzo, dependiendo de la altura de los muros y del tipo de vaciado del concreto. Es una orientación excelente para determinar si una estructura que contendrá líquidos satisface o no los espesores mínimos de los muros y la correcta ubicación del acero de refuerzo.

Descrpción	Altura del muro	Espesor mínimo	Ubicación acero de refuerzo
Concreto vaciado en el sitio	Más de 3 m	30 cm	Ambas caras
	Entre 1,2 m y 3 m	25 cm	Ambas caras
	Menos de 1,2 m	15 cm	Centro del muro
Concreto prefabricado	1,2 m o más	20 cm	Centro del muro
	Menos de 1,2 m	10 cm	Centro del muro

↑ Tabla 2. Espesores de los muros y ubicación del acero de refuerzo según el tipo de vaciado y colocación del concreto en estructuras para contener líquidos.
ADAPTADO DE ACI 350.2R04.

4 Control of Cracking in Concrete Structures / Control de fisuración en estructuras de concreto.
5 Concrete Structures for Containment of Hazardous Materials / Estructuras de concreto para la contención de materiales peligrosos.

Diseño de juntas y sellos (impermeabilización estructural) según el ACI 224.3R-13

La configuración y el diseño de las juntas en una estructura de contención son generalmente especificados por el diseñador estructural, tomando en consideración los requerimientos del cliente y el método de construcción. El espaciamiento de las juntas depende de factores como:

- Condiciones del suelo / tipo de subsuelo.
- Potencial de movimiento en las secciones de concreto
- Presión de agua.
- Riesgo de asentamiento de la estructura.
- Cronogramas de construcción y secuencia de vaciado del concreto.
- Geometría de la estructura.
- Posicionamiento del refuerzo.
- Tasa de desarrollo de calor de hidratación del concreto.
- Temperatura de exposición durante la vida de servicio.

Dependiendo de su función en la estructura, existen diferentes tipos de juntas: de construcción, de retracción y de expansión o control; el diseño de una estructura para contener líquidos debe incluir la determinación y especificación de cada una de ellas.

El documento ACI 224.3R-95[6] (reaprobado en 2013) presenta el procedimiento de diseño, construcción y mantenimiento de juntas en estructuras de concreto sujetas a gran variedad de usos y condiciones am-bientales e incluye los materiales para el sello de las juntas y las técnicas para su colocación. Para mayor conocimiento de los materiales que se utilizan para sellar las juntas, se recomienda revisar el documento ACI 504R-90[7] (reaprobado en 1997).

En los muros y losas de estructuras para contener líquidos existen tres tipos de juntas: de contracción, de expansión y/o control (o de aislamiento) y de construcción.

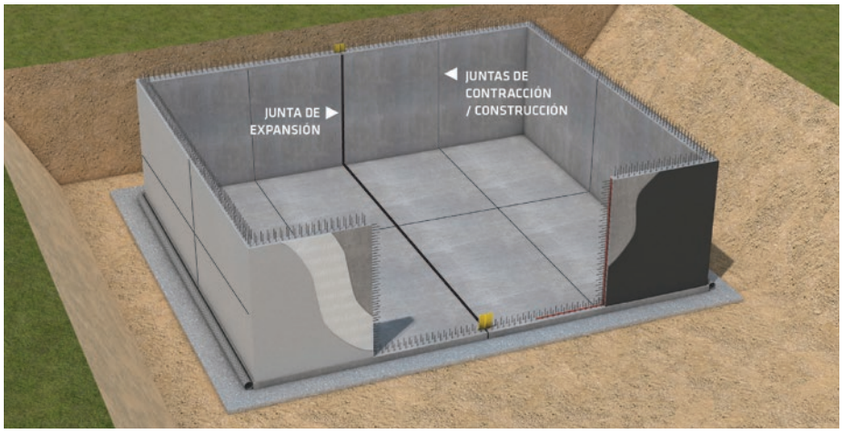


Figura 1. Juntas de construcción, contracción y expansión en las paredes y losa de un tanque.

Juntas de contracción

Son un plano de debilidad creado de manera intencional mediante la reducción de la sección, del acero de refuerzo, o de ambos. Entonces la fisura debería formarse en este plano de debilidad, y no al azar en cualquier otra parte del muro o losa. Las juntas de contracción sitúan las fisuras en lugares seleccionados con propósitos de apariencia o integridad estructural.

Son fáciles de hacer mediante el uso de tiras de madera, caucho, plástico o metal colocadas en la formaleta. Estas tiras dejan hendiduras estrechas en las partes interna y externa del muro (o losa). La profundidad total de estas hendiduras debe ser de 0,2 veces el espesor del muro, o 5 cm de acuerdo con lo estipulado por el ACI 224. De acuerdo con recomendaciones del ACI, el corte debe sellarse posteriormente para evitar la penetración de humedad o de cualquier químico que promueva un proceso de corrosión del acero de refuerzo del muro o losa.

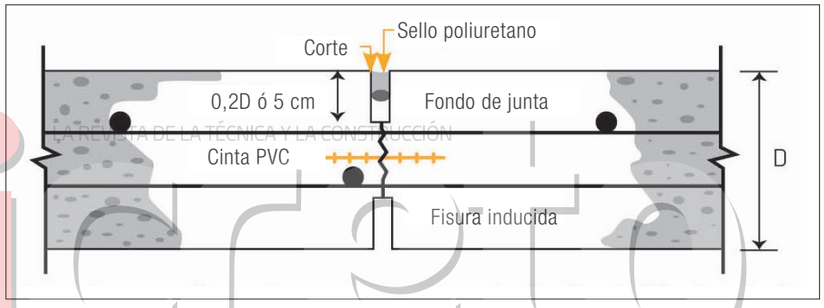


Figura 2. Junta de contracción con dos cortes. Se muestran el sello primario con cinta de PVC y el sello secundario en el corte usando masilla de poliuretano con resistencia química.

En las estructuras que contendrán líquidos peligrosos, como es el caso de las PTAR[8], las juntas de contracción deben sellarse con un sello elastomérico diseñado para trabajar sumergido y que provea una junta impermeable y resistente a ataques químicos. También se sugiere colocar un sello primario a través de la junta. No hay reglas precisas para situar las juntas de contracción en los muros. Cada estructura debe examinarse individualmente para determinar su ubicación. Con base en el ACI 224.3R, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Para muros entre 3 m y 4 m de alto con aberturas, colocar juntas de contracción entre 5 m y 6,5 m en dirección vertical, es decir, en el sentido de la dimensión de la altura.
- En muros sin aberturas o muros con aberturas mayores a 4 m, disponer juntas a no más de 8 m. Para muros más bajos, reducir la distancia entre juntas de construcción.
- Para muros entre 3 m y 4 m de altura, colocar juntas a una distancia de las esquinas entre 3 m y 5 m. Las juntas a menos de 3 m pueden resultar en una deformación excesiva de la junta.
- Situar juntas de contracción en los bordes de las aberturas, cambios en el espesor del muro o en cualquier otra parte donde haya posibilidad de una fisura vertical.

6 Joints in Concrete Construction / Juntas en las construcciones de concreto.
7 Guide to Sealant Joints in Concrete Structures / Guía de selladores de juntas para estructuras de concreto.
8 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Se deben colocar juntas de contracción en las losas de fundación de las estructuras que van a contener líquidos para reducir el riesgo de fisuración por la retracción del concreto y aliviar los esfuerzos internos. Una losa de concreto sobre el suelo no seca uniformemente a través de su espesor, ya que las condiciones am-bientales en la superficie son diferentes a las del fondo. La parte superior se seca más rápido que el fondo y, en consecuencia, la losa tratará de alabearse en los bordes. Similares efectos se presentan por cambios de temperatura. La cantidad de deformación puede controlarse con el espaciamiento de las juntas de contracción.

Es posible espaciar las juntas de contracción dividiendo la losa en áreas rectangulares pequeñas (aunque se prefieren áreas cuadradas). Como regla general, la relación entre el lado largo y el corto no debería exceder valores entre 1,25 y 1,5. Se recomienda que estas juntas en las losas se sitúen a distancias entre 24 y 36 veces el espesor de la losa en ambas direcciones. Para concretos con asentamiento alto (>15 cm) y con tamaño máximo de agregado de 20 mm se recomienda que la separación sea de 24 veces el espesor de la losa; para concretos con asentamiento más bajo y agregado más grande se permiten espaciamientos mayores.

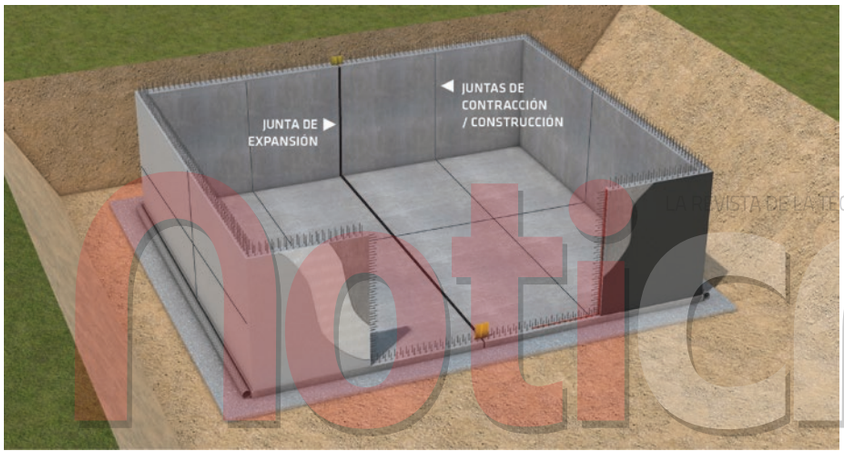


Figura 3. Juntas de contracción en la losa y paredes de un tanque. Se muestra el detalle del sello de la junta con cinta PVC y sello de poliuretano.

LA REVISTA DE LA TECNICA Y LA CONSTRUCCIÓN
noticreto

Juntas de expansión (o aislamiento)

Se usan en los muros y losas (de fundación o aéreas) para separar secciones de concreto adyacentes y permitir el libre movimiento. El acero de refuerzo no atraviesa la junta de expansión. Los movimientos pueden ser el resultado de fuerzas de compresión debidas a la expansión, a cargas aplicadas o a movimientos diferenciales. Los cambios de temperatura son una causa importante para el movimiento de los muros y las losas. La magnitud del movimiento causado por cambios de temperatura se obtiene al multiplicar el coeficiente de expansión térmica del concreto por la longitud de la estructura y por el diferencial de temperatura.

Las juntas de expansión deben sellarse con un sello elastomérico diseñado para trabajar sumergido y que provea una junta impermeable y resistente a ataques químicos. También es necesario colocar un sello primario a través de la junta usando cinta de PVC con bulbo, capaz de absorber el movimiento de la junta.

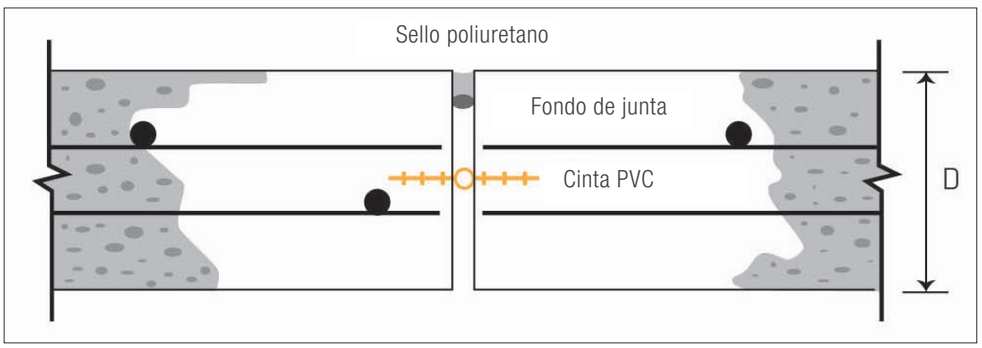


Figura 4. Junta de expansión. Se muestra el sello primario con cinta de PVC con bulbo central y poliuretano de resistencia química como material de sello secundario.

Ejemplo del cálculo de la magnitud del movimiento que deberá absorber una junta de expansión:

- Coeficiente de expansión térmica del concreto: = 11 x 10^{-6}/ °C.
- Longitud del tanque (L): 80 m.
- Diferencial de temperatura: 20 °C (diferencia entre la temperatura del día y la noche).
- Expansión del concreto: 80 m x 20 °C x 11 x 10^{-6}/ °C = 0,0176 m (1,8 cm).

NOTA: Los anchos de juntas de expansión oscilan entre 20 y 25 mm. Se recomienda colocar las juntas de expansión (S) entre 60 m y 100 m (60 m<S<100 m).

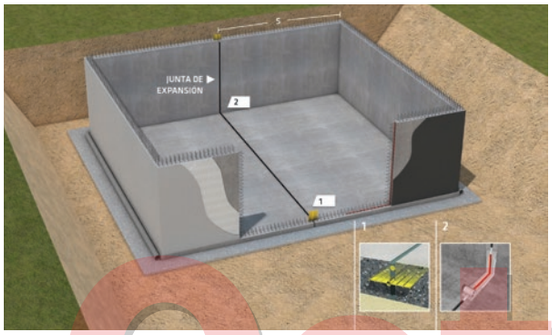


Figura 5. Junta de expansión en las paredes y losa de un tanque. Se muestra el detalle del sello primario de la junta con cinta PVC con bulbo y un sello de poliuretano de alta resistencia química. Otra opción es el uso de una cinta adhesiva impermeable flexible como sello secundario.

Juntas de construcción

Se forman por la interrupción de la colocación del concreto. Pueden ser verticales u horizontales y su lugar se determina antes de la construcción. Las juntas de construcción deben planearse para que coincidan con las juntas de contracción y de expansión. Si no coinciden con estas, deben sellarse como si fueran juntas de contracción, en cuyo caso deben hacerse los cortes que permitan la colocación del sellante, a menos que se haya instalado una cinta de PVC.

Las juntas de construcción deben sellarse con un sello elastomérico diseñado para trabajar sumergido y que provea una junta impermeable y resistente a ataques químicos. También se sugiere colocar una cinta de PVC a través de la junta. Es preferible usar el sellante elastomérico y la cinta de PVC cuando se desea proteger el acero de refuerzo de la corrosión.

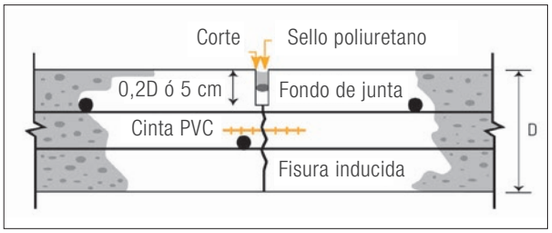


Figura 6. Junta de construcción con un solo corte. Se muestran la cinta de PVC y el material de sello secundario.

Nota: En el caso de tanques con columnas, se recomienda dejar juntas de expansión en la losa de fundación alrededor de las columnas. (Consultar el capítulo 5 del ACI 224.3R-95).

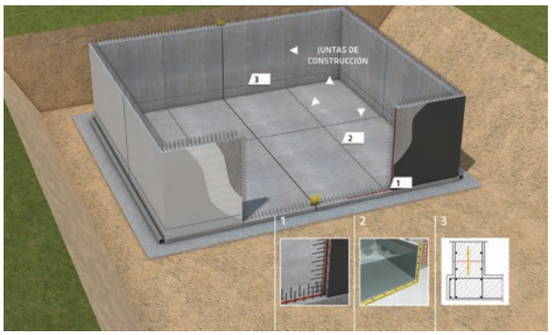


Figura 7. Junta de construcción. Se muestran el detalle del sello de la junta con cinta PVC y un sello de poliuretano. Cuando sea imposible instalar la cinta PVC por la congestión de barras de acero de refuerzo, se puede usar un sello expandible hidrofílico con resistencia química, el cual se expandirá cuando entre en contacto con el agua que busca salir por la junta.

¿Cómo escoger y colocar el sello primario o cinta de PVC?

Los sellos primarios se escogen con base en:

1. Tipo de junta (de expansión o de contracción/ construcción).
2. Ubicación (en la parte externa o en la parte interna de la estructura).
3. Cabeza de presión / altura de la lámina de agua.

Las cintas de PVC para las juntas de expansión tienen un bulbo central que permite que se mueva conjuntamente con la junta sin sufrir daño (desgarro o rotura). Para las juntas de contracción y de construcción se usan cintas sin bulbo central, ya que no van a estar sometidas a grandes deformaciones.

La correcta colocación de la cinta de PVC es de vital importancia para cumplir la función de impedir que escape el líquido contenido en el tanque. Debe quedar bien asegurada y alineada para que no se mueva durante la colocación del concreto. El amarre de la cinta al acero de refuerzo debe hacerse sin perforarla, usando sujetadores especiales.

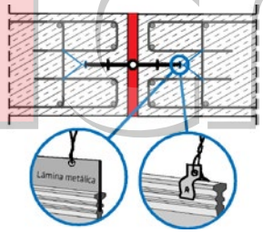


Figura 8. Fijación de la cinta de PVC al interior de la estructura. Se posiciona dentro de la estructura de concreto y debe sujetarse al acero de refuerzo con ganchos adecuados para tal fin, sin perforarla.

Otros materiales para sellos de juntas y protección del concreto.

- *Sellos hidrofílicos.* Los sellos de este tipo se expanden al entrar en contacto con el agua, para sellado por presión en juntas de construcción. Se usan para sellar: tuberías o hierros que atraviesan muros y losas de contrapiso, juntas frías entre concreto fresco y existente, alrededor de todo tipo de elementos pasantes en el concreto.
- *Cintas adhesivas* (resistencia química). Se utilizan para sellar juntas de expansión, contracción, construcción y sellado de grietas. El sistema consiste en una cinta impermeable de poliolefina (TPO) flexible, con un adhesivo epóxico de gran adherencia.
- *Masillas de poliuretano*. Son sellantes elásticos para el sello secundario de juntas. En el caso de las PTAR, estos productos deben satisfacer el requisito de soportar inmersión continua y ataque químico.

Bibliografía:
- ACI 350.2R-04, Concrete Structures for Con¬tainment of Hazardous Materials
- ACI 504R-90 (reaproba¬do en 1997), Guide to Sealant Joints in Concrete Structures
- ACI 224.3R-95 (reaprobado en 2013), Joints in Concrete Construction
- ACI 224R-01, Control of Cracking in Concrete Structures
- Hohmann, Rainer, Joint waterproofing for watertight concrete systems and white box concepts

noticreto
LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Laboratorio Asocreto

PROCEMCO
CÁMARA COLOMBIANA DEL CEMENTO Y EL CONCRETO

ACREDITADO ONAC
ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA
ISO/IEC 17025:2005
12-LAB-043

MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (FE-SEM)

Clinkerización - Materiales y combustibles alternativos - Emisiones. Horno piloto de pruebas

TÉCNICAS DE MICROANÁLISIS

Difracción (DRX) y Fluorescencia (FRX) de Rayos X / Termogravimetría y DSC / Espectroscopia Infrarroja / Microscopía electrónica de barrido por emisión de campo (FE-SEM) / Microscopía Óptica (MO) / Tamaño de partícula de cementos (difracción de rayos Láser) / Área de superficie por adsorción de nitrógeno (ASE) / Densidad Específica (Picnómetro de Helio)

DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN

Desempeño del cemento / Formulación, desempeño y optimización de concretos / Índice de trabajo de Bond / Molino de bolas piloto y preparación de muestras

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN
Concreto

CONTROL DE DURABILIDAD Y PROPIEDADES ESPECIALES

Micro-calorimetría Isotérmica / Calor de Hidratación en cementantes / Reología en Cementos, Morteros o Concretos - Penetración de lón Cloruro /Ataque por sulfatos / Reactividad Álcali –Sílice / Expansión en morteros / Ataque por sulfatos / Permeabilidad al agua

Ensayos avanzados y servicios I+D

Conozca nuestra oferta de servicios especializados para la medición e investigación de materiales de construcción con equipos de tecnología de última generación.

Informes:
Ing. Juan Camilo Aguilar
Móvil: (+571) 318 3766448
Correo: jaguilar@procem.co

SEDE LABORATORIO Km 3.5 Vía Bogotá Siberia, Centro Empresarial Metropolitano – Bodega 34, Módulo 4 PBX (571) 898 5417

Síguenos en nuestras redes sociales: / Procemco

CENTRO ARGOS PARA LA INNOVACIÓN

www.procem.co

Impermeabilización de tanques en plantas de tratamiento de aguas residuales

Patricia Ríos Sánchez
Toxement S.A.

En el informe "Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia" de enero de 2019, el Observatorio Nacional de Salud (ONS) publicó que cada año ocurren 17.549 muertes en el país por exposición a aire y agua de mala calidad, lo que equivale a 8% del total de la mortalidad anual en Colombia. En noviembre de 2018, el Estudio Nacional de Agua (ENA) que publica cada 4 años el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), informó que el tratamiento de aguas residuales en el país no supera el 50%. Al respecto, el viceministro de agua y saneamiento básico del Ministerio de Vivienda, José Luis Acero, señaló: "Estamos por debajo de varios de los países de la Alianza del Pacífico (conformada por Colombia, Perú, Chile y México)" [1]. Por su parte, la ingeniera colombiana Angélica Gutiérrez, de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos y una de las hidrólogas más reconocidas en el mundo, comentó: "Aunque la mitad de los más de mil municipios tienen plantas de tratamiento de aguas residuales, lo cierto es que solo el 10% funciona de manera adecuada. Es muy grave el panorama porque esto significa que la mayoría de las aguas residuales domésticas e industriales va a parar directamente a las fuentes de agua, vitales para el consumo"[2]. Ante esta situación, los gobiernos nacional y de las regiones y las corporaciones ambientales han implementado la optimización y la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en diferentes municipios, motivando al conocimiento sobre el diseño, la construcción, el mantenimiento y la protección de estas estructuras, lo cual se alinea con el 6to objetivo de desarrollo sostenible "Agua limpia y de saneamiento".

Foto 1. Vista interna del tanque de sedimentación final de la planta de tratamiento de aguas residuales Pro Rheno Basilea, Suiza.
CORTESÍA VANDEX SUIZA, EMPRESA DEL GRUPO DE TOXEMENT S.A.

Las *aguas residuales* son aquellas que contienen gran cantidad de sustancias (químicas, biológicas) nocivas o dañinas para el ser humano y que de alguna manera han sido utilizadas o manipuladas por el humano sin importar que su origen sea doméstico, industrial, pecuario, agrícola o recreativo [3]. Según su origen se pueden clasificar en: aguas residuales domésticas, aguas residuales blancas, aguas industriales y aguas residuales agrícolas.

Las aguas residuales están compuestas normalmente por más de 99% de agua y menos de 1% de sólidos en suspensión y en solución; ese 1% es una combinación de sustancias orgánicas, sustancias inorgánicas, gases disueltos y componentes biológicos. Químicamente contienen principalmente: *sulfatos* provenientes de suelos arcillosos y aguas freáticas, *cloruros* por la contaminación fecal, *nitrógeno* derivado de los fertilizantes artificiales y abonos animales, y *fosfatos* procedentes de detergentes y productos químicos para el hogar. De estos componentes, los que más afectan a las estructuras de concreto son los microorganismos, los sulfatos, los cloruros y el ácido sulfhídrico.

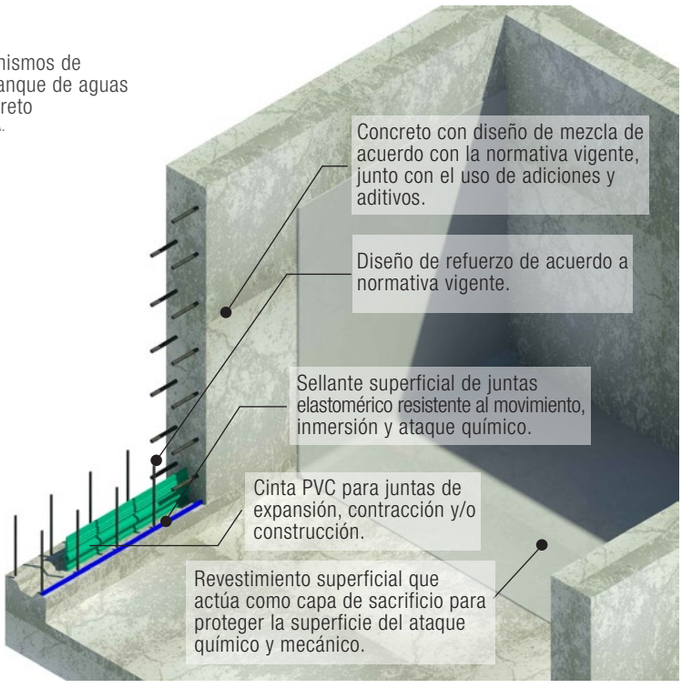
La NSR-10[1] en el capítulo C.23-C1.1.2 define las estructuras de concreto de ingeniería ambiental como estructuras de almacenamiento, flujo y tratamiento de líquidos y otros materiales afines tales como

1 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.

residuos sólidos. Extiende la denominación a estructuras secundarias para evitar la dispersión de materiales peligrosos, y a estructuras auxiliares cuando todas ellas requieren impermeabilidad ante líquidos y gases o propiedades especiales de durabilidad. Las PTAR caben en esta definición, y para proteger estas estructuras de concreto de las condiciones físicas y químicas a las que están expuestas permanentemente, es necesario actuar en varias vías:

1. Proteger el interior de la matriz de concreto, partiendo de un diseño de mezcla acorde con la normativa vigente, junto con el uso de adiciones y de aditivos.
2. Controlar la fisuración en el concreto.
3. Dar el tratamiento adecuado a los diferentes tipos de juntas que existen en esta clase de tanques.
4. Proteger la superficie de las estructuras de concreto que están en contacto con agua o con gases, por medio de un revestimiento superficial que actúa como "capa de sacrificio" y que defiende principalmente de los ataques químicos y mecánicos.

➔ Figura 1. Mecanismos de protección de un tanque de aguas residuales en concreto
CORTESÍA TOXEMENT S.A.



El concreto para tanques en una PTAR

El concreto para las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales debe ser lo más denso, impermeable y durable posible, con aptitud para las distintas categorías y grados de exposición: congelamiento y deshielo, sulfatos, contacto con agua y corrosión del acero de refuerzo. Debe ser, así mismo, un concreto fluido que permita la adecuada trabajabilidad y consolidación con las armaduras y dentro de los encofrados de este tipo de estructuras.

La durabilidad del concreto

Un aspecto de gran relevancia cuando se habla de estructuras con grandes inversiones– está directamente relacionada con el deterioro por la penetración de fluidos. Para ello se necesita controlar en la mezcla de concreto la relación a/mc (agua/material cementante) y la composición de los materiales cementantes usados en la mezcla. El ACI[2] 318S-19[3] indica que, para obtener una baja permeabilidad en el concreto se debe reducir la relación a/mc, y recomienda utilizar adiciones como ceniza volante, escorias de alto horno, humo de sílice o combinaciones de estos materiales. La NSR-10, CR23-CR.4 recomienda una relación a/mc de 0,40 a 0,42 para concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo, agua, aguas residuales o gases corrosivos, o para prevenir la corrosión del acero de refuerzo. Cuando existe exposición a congelamiento y deshielo deben utilizarse aditivos inclusores de aire, de acuerdo con lo que determina la NSR-10 en el capítulo 4, tabla C.4.4.1[4] y el ACI 318S-19 en la tabla 19.3.3.1, *Contenido total de aire para concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo.*

El ataque por sulfatos genera expansiones internas que causan fallas de adherencia de la pasta, fisuraciones, craquelamiento y reducción de la resistencia mecánica del concreto. El uso de las adiciones puzolánicas en forma de humo de sílice, metacaolín, puzolanas naturales, cenizas volantes y/o escoria de alto horno ha demostrado reducir significativamente el ataque de los sulfatos. Para determinar las proporciones de estos materiales se debe consultar la tabla C.4.4.2[5] de la NSR-10 o la tabla 19.3.2.1 del ACI 318S-19. También es importante escoger un cemento resistente a sulfatos cuando existe amenaza de estos ataques, considerando primordialmente el contenido de aluminato tricálcico (C_3A).

Las adiciones más usadas son la microsílica y el metacaolín. La microsílica es un subproducto de la industria de las aleaciones de hierro, mientras que el metacaolín es un material cementante suplementario que se produce al calcinar el caolín a temperaturas entre 700 °C y 900 °C, para transformar su estructura cristalina [4]. Ambos materiales tienen efecto de densificación y contribuyen en la masa de concreto a menor porosidad, baja permeabilidad, más resistencia y mayor durabilidad.

La presencia de agua, de oxígeno y de agentes químicos como ion cloruro desencadena el fenómeno de corrosión, por medio de la despasivación del acero de refuerzo, lo que ocasiona su expansión y causa pérdida de adherencia entre el concreto y el acero, lo cual reduce la capacidad mecánica de ambos materiales. Para contrarrestar este fenómeno hay que determinar,

2 American Concrete Institute / Instituto Americano del Concreto.
3 Requisitos de reglamento para concreto estructural.
4 Contenido total de aire para concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo.
5 Requisitos para concreto sometido a clase de exposición F3.

Noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

en primer lugar, el nivel de exposición al que va a estar sometida una estructura, lo cual se logra conociendo el contenido de ion cloruro al que va a estar expuesta; esto permite determinar la protección de la estructura mediante el adecuado espesor del recubrimiento del acero de refuerzo como exige la NSR-10 [5], el uso de inhibidores de corrosión, la protección del acero con revestimientos epóxicos, el empleo de protección catódica con ánodos de sacrificio, el uso de adiciones alumínicas que formen sal de Friedel o el uso de revestimientos que impidan el paso de cloruros. Adicionalmente, el concreto debe ser de baja permeabilidad, lo cual se logra con una baja relación a/mc y la aplicación de aditivos y adiciones como puzolanas o escorias al que, además, se pueden agregar fibras sintéticas que mitiguen la formación de fisuras.

La NSR-10 en la tabla C.23-C.4.3.1 establece que, para las estructuras de concreto de ingeniería ambiental, la resistencia mínima especificada a la compresión f´c no debe ser menor de 28 MPa, mientras que el ACI 318S-19, R.19.3.2 especifica que los agregados utilizados en la mezcla no deben ser reactivos a los álcalis y que deben evaluarse de acuerdo con la ASTM C1778-19a[6].

Control de la fisuración

La fisuración en el concreto permite el paso de fluidos a su interior, el ACI 224R-01[7] establece los anchos máximos permitidos de fisuras estructurales de concreto armado de acuerdo a su condición de exposición. Para controlar esta condición es necesario el adecuado diseño de la cuantía de acero de refuerzo, así como definir los espesores mínimos, la ubicación del acero de refuerzo para este tipo de estructuras de acuerdo con la NSR-10, C.23-C.10.5, C.10.6 y C14 y el espesor del recubrimiento del acero de refuerzo según la NSR-10 en la tabla C.23-C7.7.1. La colocación, consolidación y el curado adecuado del concreto son esenciales para controlar la fisuración[8].

Otra manera de controlar la fisuración en el concreto es utilizando microfibras sintéticas, las cuales se utilizan regularmente para controlar el agrietamiento por retracción plástica, pero también ayudan a disminuir la permeabilidad, por lo que son muy convenientes en estructuras como los tanques. Tecnologías como la contracción compensada o los aditivos impermeabilizantes por cristalización también cumplen un rol importante en el control de fisuración del concreto.

Tratamiento de juntas

Las juntas en un tanque están diseñadas para compensar los movimientos y los cambios volumétricos que sufre el concreto (juntas de expansión y contracción). También están concebidas para permitir un adecuado proceso constructivo durante la fundida del concreto (juntas de construcción). El diseño y la construcción de juntas debe realizarse con base en la normativa que remite la NSR-10, el ACI 504R[9].

Para impedir el paso de fluidos o gases por las juntas es necesario usar barreras impermeables y sellantes. La NSR-10, C.23-C.4.10.2 específica:

- Las barreras impermeables deben ser capaces de aceptar movimientos y deformaciones de elongación y contracción sin deformación permanente o sin falla, resistir los ciclos de descongelamiento y deshielo, las variaciones de temperatura y los efectos del ataque químico. Pueden ser de caucho, de cloruro de polivinilo (PVC), de acero o cualquier otro material; las más comunes son las de PVC, que deben tener espesor mínimo de 9,5 mm y ancho mínimo de 220 mm para juntas de expansión, y 150 mm para otras juntas, que se repartirá por mitades iguales entre los concretos a lado y lado de la junta.
- Deben colocarse sellos de junta a lo largo de su perímetro expuesto, que impidan el paso de líquidos y gases y que prevengan el ingreso de sólidos que afecten su funcionamiento. Los sellos deben diseñarse para que sean capaces de resistir las presiones, las temperaturas y movimientos y no deben perder su adherencia ni verse afectados bajo el ataque químico o de gases esperados.

Figura 2. Detalle de tratamiento de juntas en tanques, según NSR 10.
CORTESÍA TOXEMENT S.A.

Protección superficial del concreto por revestimientos impermeables

Las alcantarillas y las plantas de tratamiento de aguas residuales tienden a generar olores desagradables. Esta situación empeora en días calurosos o en climas cálidos por lo cual, al diseñarlas y construirlas, se opta por cubrirlas atendiendo motivos ambientales y de salud. Sin embargo, esta condición de diseño cambia las características ambientales en las estructuras cerradas (las líneas de alcantarillado, tanques de aireación y tanques de sedimentación) en las que no hay intercambio de aire; encima de las aguas residuales, la atmósfera se contamina gradualmente por la presencia de sulfuro de hidrógeno (H_2S) producido por la bacteria *Thio concretivorus*, presente en la materia orgánica en el agua residual. La presencia de sulfuro de hidrógeno plantea un ataque a la integridad estructural del concreto reforzado debido al riesgo de corrosión del acero de refuerzo.

6 Standard Guide for Reducing the Risk of Deleterious Alkali-Aggregate Reaction in Concrete / Guía estándar para reducir el riesgo de reacción nociva de agregados alcalinos en el concreto.

7 Control de Fisuración en Estructuras de Concreto.

8 Concrete Structures for Containment of Hazardous Materials / Estructuras de Concreto para Contención de Materiales Peligrosos.

9 Guide to Sealing Joints in Concrete Structures / Guía para sellar juntas en estructuras de concreto.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

La corrosión del concreto reforzado se produce en esta secuencia:

- El sulfuro de hidrógeno (H_2S) se oxida en presencia del oxígeno para formar trióxido de azufre (SO_3) (Ecuación 1), el cual posteriormente se combina con agua condensada en la superficie del concreto por encima del nivel de agua para formar ácido sulfúrico que ataca el concreto (Ecuación 2).

1. $H_2S + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,SO_3$
2. $SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$

- Las llamadas *Thio-bacterias* son capaces de sobrevivir y de producir sulfuro de hidrógeno (H_2S) también en ambientes de muy bajo pH, lo que resulta en concentraciones de hasta 23% de ácido sulfúrico en el agua condensada.

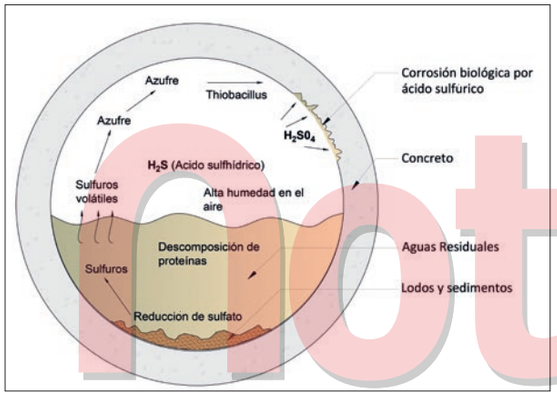


Figura 3. Mecanismo de corrosión del concreto en una estructura cerrada que contiene aguas residuales.
CORTESÍA TOXEMENT S.A.

Cuando está disponible el prerrequisito básico para la corrosión del concreto–la reducción del valor de pH–, el concreto inicia su desintegración desde la superficie en áreas donde se condensa agua. El agua condensada agresiva disuelve la pasta de cemento, lo que conduce a la erosión del concreto. En líneas de alcantarillado cerradas se han registrado pérdidas de 3 mm por año. El bajo valor de pH destruye gradualmente el ambiente de concreto alcalino, lo que llevará con el tiempo a la corrosión de las barras de refuerzo del concreto.

Sin medidas preventivas, las estructuras de concreto sometidas a estas condiciones pueden tener daños serios en menos de una década, por lo cual la NSR-10 especifica que cuando el concreto esté expuesto a químicos o a gases corrosivos que ataquen la matriz del mortero de concreto o acero de refuerzo, deben utilizarse revestimientos o coberturas que sean impermeables y tengan buena adherencia.

Además de proteger del ataque químico, la estructura debe defenderse del ataque mecánico que erosiona la superficie de concreto. La erosión se define como la desintegración progresiva de un sólido por abrasión o cavitación [6]. En un tanque de almacenamiento de aguas residuales están presentes estas dos condiciones debido a que contiene agua e innumerables tipos de sólidos, lodos y material suspendido en el agua a ser tratada.

Existen diversos tipos de revestimientos desarrollados para soportar las condiciones químicas y mecánicas a las que puede estar sometido un tanque de almacenamiento de aguas residuales. Entre ellos encontramos principalmente los epóxicos 100% sólidos y con alta resistencia química, las poliureas compuestas por resinas puras sin cargas minerales ni plastificantes en su composición y los revestimientos cementicios modificados con polímeros. Sin embargo, estos revestimientos tienen vida útil limitada y se usan como "capas de sacrificio" a las cuales debe dárseles mantenimiento o reemplazarlas periódicamente según las características específicas de cada caso.

Foto 2. Corrosión del concreto en la zona de gas del tanque de sedimentación final de una PTAR debido al ambiente corrosivo del sulfuro de hidrógeno (H_2S). Planta de tratamiento de aguas residuales Pro Rheno Basilea, Suiza.
CORTESÍA TOXEMENT S.A.

En la selección de revestimientos deben evaluarse las características del ataque mecánico (tipo de sólidos, tamaño, abrasión del agua, etc.) y el ataque químico (sustancias químicas, concentración, frecuencia, temperatura de exposición, etc.); así mismo, hay que tener en cuenta todas las recomendaciones del fabricante respecto a la preparación de la superficie, perfil de rugosidad [7], humedad del sustrato, tratamiento de fisuras, reparación de hormigueros, etc. Es necesario aplicar desmoldantes base agua o de fácil remoción que no impidan la adherencia del revestimiento con la superficie de concreto en el momento de su instalación.

Revestimientos para proteger el concreto sometido a presión positiva

Cuando un tanque de concreto en una PTAR está sometido únicamente a presión positiva es posible usar revestimientos protectores como los epóxicos o las poliureas. Los epóxicos son materiales compuestos por una resina y un catalizador que, al combinarse, generan una capa protectora con resistencia al ataque químico y mecánico y brindan a la superficie un acabado aséptico, decorativo y aun antideslizante. El ácido sulfúrico (H_2SO_4) es extremadamente corrosivo, por lo cual en estos casos se necesita utilizar epóxicos de alto desempeño y resistencia química.

Las poliureas actúan como membranas impermeabilizantes continuas y sin juntas; son aplicadas con una máquina de proyección en caliente y tienen la capacidad de puentear las fisuras que puedan aparecer con el tiempo en la estructura del tanque. Debe utilizarse una resina de poliurea 100% pura, libre de disolventes.

noticreto LA REVISTA DE LA TECNICA Y LA

Estas membranas funcionan tanto para la impermeabilización de tanques nuevos como para la rehabilitación de tanques en operación con pérdidas de agua por grietas en el concreto. Se pueden aplicar en tanques cerrados que contengan agua potable y en tanques abiertos o cerrados que contengan agua contra incendios, agua de mar (o salada), agua clorada, aguas residuales y fecales, fosas sépticas, lixiviados, aguas de proceso tratadas en industrias químicas y de generación de energía. Se han realizado pruebas que han demostrado gran resistencia a la abrasión, con resultados de pérdida de masa de 8,9 mg en 1.000 ciclos de abrasión con una carga de 1.000 g usando el método de ensayo ASTM D4060-19[10]. También se han realizado ensayos bajo el método EN13529:2003[11], para verificar la degradación del polímero después de la exposición en solución de agua a temperatura de 21 °C ± 2 y 1 bar de presión de gas H_2S en una concentración de 3.000 ppm durante 28 días, dando como resultado que los especímenes no presentaron variación de dureza, solo presencia de manchas sin defectos en la superficie de las muestras.

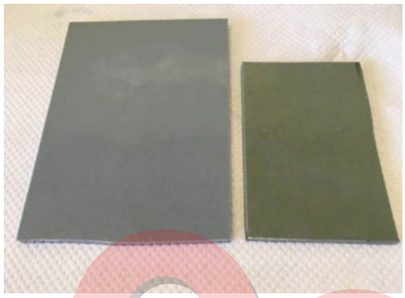


Foto 3. Muestras de poliurea sometidas a sulfuro de hidrógeno (H_2S) bajo la norma EN 13529:2003.
CORTESÍA TOXEMENT S.A.

Foto 4. Aplicación poliurea mantenimiento PTAR SALITRE.
CORTESÍA TOXEMENT S.A.

noticreto LA REVISTA TÉCNICA DE LA CONSTRUCCIÓN

Revestimientos para proteger concreto húmedo o sometido a presión negativa

La aplicación de epóxicos o poliureas es difícil en ambientes de humedad permanente o sometidos a presión negativa debido a que la mayoría de estos revestimientos poliméricos dependen de un sustrato lo bastante seco para la adherencia y adecuado curado. Tales condiciones no suelen estar disponibles en una situación correctiva o cuando hay niveles freáticos altos. Los recubrimientos cementicios se pueden instalar con éxito en ambientes húmedos, pero hasta hace poco carecían de la capacidad necesaria para resistir los ataques con ácido. Los desarrollos recientes en el campo de los materiales de revestimiento cementosos modificados con polímeros, han movido drásticamente los límites hacia la durabilidad en un entorno de pH bajo, de modo que estos productos ya pueden tenerse en cuenta para la restauración del concreto en estructuras de alcantarillado, así como para un tratamiento preventivo de nuevas líneas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales [8].

Existen morteros cementicios para impermeabilizar y reparar superficies, resistentes a aguas residuales y a humedad, con gran resistencia a los sulfatos y capaces de soportar presiones hidrostáticas de hasta 70 m de columna de agua. También se han desarrollado revestimientos cementicios modificados con polímeros que tienen resistencia al ácido sulfúrico. Pruebas realizadas en la PTAR Pro Rheno en Basilea, Suiza, cerca de la frontera con Alemania, que procesa una combinación de aguas residuales urbanas e industriales, demostró que proporciona un entorno representativo de corrosión en el concreto y es adecuada para probar la durabilidad de los materiales de revestimientos cementicios modificados con polímeros. Especímenes de concreto expuestos a la zona de gas y a la zona de corriente del tanque final de sedimentación mostraron que después de 6 a 12 meses de exposición no se produjeron diferencias en la adhesión y absorción de agua en comparación con especímenes almacenados en ambientes controlados de temperatura y humedad relativa sin presencia de agentes contaminantes. El concreto tratado no reveló fisuras, ampollas ni decoloración y no se detectaron microorganismos. La conclusión de esta aplicación comprueba los avances tecnológicos en revestimientos cementicios modificados con polímeros especialmente diseñados para proporcionar una resistencia muy alta contra compuestos que contienen azufre en el agua y compuestos gaseosos que contienen azufre. Por lo tanto, son adecuados para el uso protector en un entorno con ataque biogénico de ácido sulfúrico.

Foto 5. Muestra recubierta con revestimiento cementicio modificado con polímeros después de la exposición a la zona gas de H_2S del tanque de sedimentación final. PTAR Pro Rheno, Basilea, Suiza.
CORTESÍA TOXEMENT S.A.

En conclusión, para proteger e impermeabilizar un tanque de aguas residuales es necesario actuar integralmente, teniendo en cuenta las condiciones específicas de cada caso y apoyándose en la normatividad para el diseño, la construcción y el uso de los diferentes materiales y productos que contribuyen a ese fin. Una adecuada especificación y el control de calidad en cada uno de los procesos son la garantía de una estructura estable y durable.

Bibliografía:

1 Fuente:https://es.mongabay.com/2019/03/colombia-estudio-nacional-agua-ideam/
2 Fuente:https://www.rcnradio.com/recomendado-del-editor/mejorar-la-calidad-del-agua-uno-de-los-desafios-ambientales-en-colombia.
3 Fuente:https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales.
4 Juan Camilo Restrepo Gutiérrez, Oscar Jaime Restrepo, Jorge Iván Tobón, Efectos de la adición de metacaolín en el cemento Pórtland. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
5 Reglamento Colombiano para la Construcción Sismo Resistente NSR 10. Tabla C.23-C.7.7.1. Protección Del Concreto Para Protección Del Refuerzo en estructuras ambientales.
6 Definición del Reglamento colombiano para la Construcción Sismo Resistente NSR 10. C.23-CR4.8.
7 Para determinar el perfil de rugosidad debe tomarse como referencia la Guideline No. 310.2R–2013 - International Concrete Repair Institute.
8 Fuente sobre corrosión del concreto y revestimientos cementicos modificados con polímeros: H-D. Lobo y T. Clemmensen, La situación de la impermeabilización en Europa - Segunda parte, en "Bosui Journal", Suiza.

10 Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser / Método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión de recubrimientos orgánicos por el Taber Abraser.

11 Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de concreto. Métodos de ensayo. Resistencia a fuertes ataques químicos.

Aplicaciones para el manejo del agua

Concreto permeable

Samuel E. Arango C., Cementos Argos S.A.
Jeiko Sebastián Londoño, Asocreto.

noticreto LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Foto 1. Concreto permeable. El agua pasa a través de la estructura del material.
CORTESÍA CEMENTOS ARGOS S.A.

Introducción

El concreto permeable, más conocido en sus principios como concreto sin finos, se ha utilizado en la industria de la construcción, principalmente en Europa, desde mediados del siglo XIX. Las aplicaciones más comunes fueron paneles prefabricados, bloques y muros de carga *in situ* para viviendas de una o varias plantas. En 1852 se registra por primera vez el concreto permeable en la construcción de dos casas en el Reino Unido. Posteriormente, en 1923, se reporta nuevamente su empleo en construcciones de uso residencial, que se extiende hasta la época de la posguerra cuando, debido a la baja disponibilidad de materiales de construcción, se exploraron técnicas y sistemas de construcción de menor costo [1].

- Gracias a su baja difusividad térmica, en sus primeras aplicaciones el concreto sin finos fue usado como aislante en soluciones de vivienda. Esta modalidad perdió popularidad cuando los materiales aislantes de alta eficiencia bajaron sus costos. Un ejemplo icónico del uso del concreto sin finos son las casas Wimpey [2] en el Reino Unido, donde el constructor, George Wimpey & Co Ltd, usó concreto sin finos vaciado en sitio para la construcción de 300.000 unidades desde 1940 a 1960 [3].

Foto 2: Casa Wimpey construida con concreto sin finos, en Reino Unido, Inglaterra.
POR IAN S, CC BY-SA 2.0, HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/W/INDEX.PHP?CURID=66483312

En época reciente, durante los últimos 30 años se empieza a usar el concreto permeable tal como lo conocemos, valorizando los beneficios técnicos y de sostenibilidad. Gracias a este nuevo impulso, universidades, industria e institutos de normalización han venido realizando investigaciones que producen conocimiento e información para destacar las ventajas y promover su empleo. El Instituto Americano del Concreto-ACI tiene un comité específico de trabajo en el desarrollo de información técnica, aplicaciones, métodos de diseño y suministro, materiales, propiedades, métodos de construcción, ensayos e inspección (Comité ACI 522R) [4], y la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) se ha enfocado al desarrollo de estándares para caracterizar sus propiedades y uso [5].

Definición y aspectos técnicos relevantes

El concreto permeable puede definirse como una mezcla de cemento, agua, agregado grueso y aditivos, donde en función de las propiedades del agregado, en ocasiones es necesario adicionar arena en muy baja proporción. Se diseña de tal forma que al aplicarlo resulte un material con suficientes vacíos interconectados que permita el paso del agua sin dificultades.

Las principales características que diferencian al concreto permeable de uno convencional son:

- Menor masa unitaria.
- Alta permeabilidad debido a su contenido de vacíos que puede variar entre 15 y 30%.
- Menores propiedades mecánicas.
- Menor retracción, por su bajo contenido de pasta.
- Mayor aislamiento térmico y acústico.

Además de estas propiedades, al ser aplicado para el control de manejo de aguas lluvias, la estructura permeable puede contribuir al mejoramiento del agua de escorrentía mediante tres mecanismos básicos [6]:

1. Purificación física: los canales sinuosos y curvilíneos en la estructura interna del concreto permeable adsorben la mayoría de las partículas suspendidas en el agua lluvia y remueven una cantidad considerable de contaminantes. Eventualmente, el material fijado puede ser extraído mediante trabajos periódicos de mantenimiento en los procesos de purificación.
2. Purificación química: la alcalinidad natural del concreto permeable durante el contacto con agua contaminada libera iones de hidróxido y carbonatos, los cuales reaccionan con los contaminantes y los precipitan. Adicionalmente, el pH del agua contaminada se incrementa haciéndola más neutral cuando tiene un valor de acidez considerable.
3. Purificación biológica: los poros en el concreto permeable proveen un ambiente apto para el desarrollo de ciertas actividades microbianas que consumen los materiales suspendidos y los disuelven.

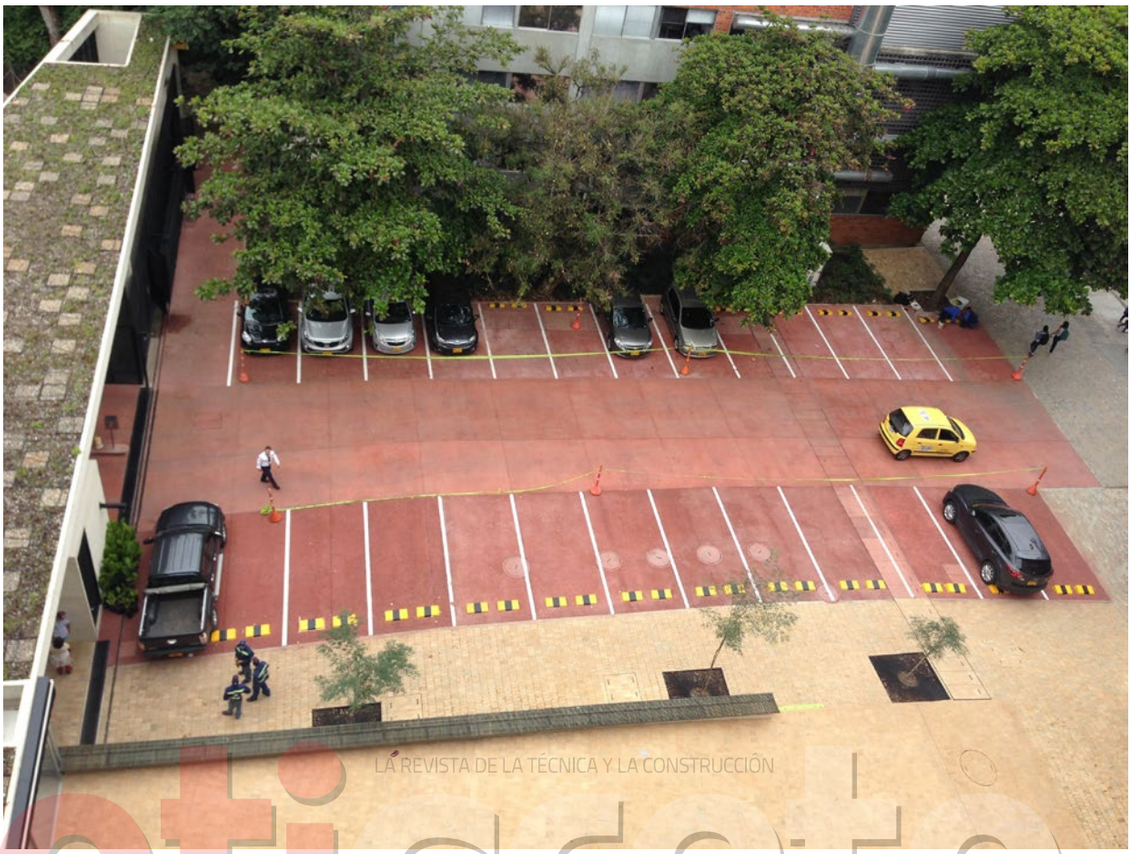
Todas estas ventajas unidas a la capacidad de disminuir los efectos del fenómeno isla de calor y de mitigar las consecuencias de la alteración del ciclo natural del agua causados por el desarrollo urbanístico, al aumentar la tasa de intercambio de fluidos con el suelo [6], hacen del concreto permeable un actor importante en los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). En estos SUDS, y dependiendo de su combinación con estructuras complementarias, el concreto permeable facilita el almacenamiento y pretratamiento de la escorrentía superficial, la recarga de los acuíferos en zonas urbanas y la disminución de la cantidad de agua a evacuar en los sistemas de alcantarillado [7].

Usos y aplicaciones

Como se ha evidenciado, el concreto permeable es un material con gran potencial, posibilidades y empleos que no se han aprovechado. Los beneficios técnicos, económicos y de sostenibilidad han definido su uso y un amplio rango de aplicaciones, dentro de las que cabe mencionar:

- Parqueaderos comerciales y residenciales.
- Pavimentos de bajo tránsito, rodadura y bases.
- Bermas y andenes.
- Vías para peatones y bicicletas.
- Control de erosión y protección de pendientes.
- Pisos en invernaderos.
- Pisos, paredes y muros donde se requieran bajo peso, aislamiento térmico o acústico.
- Pisos para zoológicos y establos de animales.
- Superficies para parques y espacios deportivos.
- Terraplenes.
- Bordes de piscinas.
- Rompeolas.
- Camas de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Sistemas de almacenamiento de energía solar.
- Revestimientos de pozos.
- Arrecifes artificiales.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN



➔ Foto 3. Parqueaderos en concreto permeable color terracota, Centro Argos para la Innovación, Universidad EAFIT, Medellín.
CORTESÍA CEMENTOS ARGOS S.A.

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN noticreto

Aplicaciones en Colombia

En el país se conocen aplicaciones de concreto permeable en Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Cartagena. Estas aplicaciones han sido principalmente en parqueaderos de bajo tráfico, parques (Foto 4) y zonas de circulación peatonal y vehicular. En estos proyectos se han aplicado concretos grises y de color; mediante distintas configuraciones de los sistemas se captura el agua en superficie para infiltrarla, disponerla y, en algunos casos, reutilizarla.

Una de las aplicaciones recientes en Colombia es la del parqueadero de motocicletas de la Universidad Nacional, Sede Medellín (Foto 5). Algunos datos técnicos de este proyecto son:

- Concreto permeable gris de 10 cm de espesor.
- Base granular limpia para almacenamiento e infiltración.
- Tubería perforada para evacuar agua en caso de excesos.
- Capacidad de infiltración del sistema: 300 a 500 mm de agua/min.

🡻 Foto 4. Parques de la Alcaldía de Medellín, Sector Buenos Aires, donde se usó concreto permeable de colores.
CORTESÍA CEMENTOS ARGOS S.A.

➔ Foto 5. Parqueadero de motos Universidad Nacional, sede Medellín.
CORTESÍA CEMENTOS ARGOS S.A.

Otras aplicaciones

Algunos usos del concreto permeable no han sido exploradas en Colombia: en bermas para evitar los riesgos de los canales abiertos, elementos para el control de la erosión de taludes y muros, trasdós de muros para permitir el flujo de agua y liberar presiones, además de aplicaciones en puertos y estructuras costeras como elementos de sacrificio, entre otros.

Foto 6. Construcción de berma en concreto permeable en Estados Unidos.
CORTESÍA CEMENTOS ARGOS S.A.

Con el fin de evitar canales abiertos, cunetas o cualquier otro elemento que implique riesgos o áreas que no se pueden usar, en países como Estados Unidos y España se han implementado soluciones como la mostrada en la foto 6, donde el concreto permeable se instala sobre una capa de granulares, se gestiona el agua lluvia y al mismo tiempo se crea un área útil para el tránsito.

Para la construcción de un campo atlético en Michigan, EE UU, se especificó una solución que permitió reducir la excavación en un 50% y eliminó la necesidad de mover algunas estructuras aledañas, beneficiando la ejecución del proyecto en términos de tiempo y costo [8].

En presas, más específicamente en la Santee Cooper en Carolina del Norte, EE UU, se instalaron placas de concreto de 250 mm sobre la cara río arriba de la presa para la protección de la erosión por el agua en los muros masivos de concreto. En este caso se usó un concreto permeable con agregado grueso 19 mm de tamaño máximo nominal. Luego de algunos años de funcionamiento, una pequeña capa del concreto permeable extendida debajo de la línea del agua mostró signos de desgaste y decoloración, comprobando que estaba cumpliendo con su objetivo como material de sacrificio [1].

Por último, el ACI viene estudiando el uso de concreto permeable en puertos y estructuras costeras, que incluyen protección de obras civiles marinas, líneas costeras, malecones y arrecifes artificiales [4]. Esto con el fin de reducir la fuerza de impacto del oleaje y proteger de la erosión las superficies de concreto convencional que están en contacto permanente con el agua de mar. Las investigaciones han mostrado resultados positivos, concluyendo que el concreto permeable tiene buena capacidad de disipar la energía de las olas y, por lo tanto, puede brindar protección contra las turbulencias del océano [9].

Comentarios finales

- Por sus características técnicas, el concreto permeable es una opción para resolver un amplio espectro de retos de ingeniería en aplicaciones como edificaciones, espacio público e infraestructura.
- Aunque en Colombia se ha explorado la aplicación de este material en parqueaderos, senderos y parques con el objetivo principal de gestionar el agua en superficie y en algunas ocasiones infiltrarla y reutilizarla, todavía restan grandes oportunidades en otro tipo de empleos que valoricen la reducción en peso, la capacidad de aislamiento, la disipación de energía y como material de sacrificio.
- El uso del concreto permeable en estructuras hidráulicas –que buscan controlar o manejar el agua, bien sea con fines utilitarios o de defensa– es uno de los más significativos, pues permite aprovechar sus características: como parte de una superficie, simplemente para gestionar el agua en sitio, como parte de SUDS o como elemento de disipación de energía y/o capa de sacrificio.

Bibliografía

1. Ghafoori, By Nader and Dutta, Shivaji, Building and nonpavement applications of no-fines concrete, 1995, ASCE, pp. 286 - 289.
2. BISFHOUSE. [Online] https://www.bisfhouse.com/wimpey-no-fines-in-situ-concrete-house/.
3. Buchanan, Neil. New Civil Engineer. [Online] 4 27, 2015. https://www.newcivilengineer.com/latest/letters-celebrating-the-return-of-no-fines-concrete-27-04-2015/.
4. American Concrete Institute. ACI 522R-10, Report on Pervious Concrete. Farmington Hills, MI, USA : American Concrete Institute, 2010.
5. American Society for Testing and Materials, Pervious Concrete Selected Technical Paper STP1551. [ed.] Heather J. Brown and Matthew Offenberg. New York : Bay Shore, 2012.
6. Chandrappa, Anush K. and Biligiri, Krishna Prapoorna, Pervious concrete as a sustainable pavement material - Research findings and future prospects: A state-of-the-art review. 111, 2016, Construction and Building Materials, pp. 262 - 274.
7. Arango, Samuel, "Sistema integral para el desarrollo urbano sostenible: Concreto permeable", 2014, Noticreto, pp. 80-84.
8. Concrete Construction. [Online] 6 15, 2016. https://www.concreteconstruction.net/business/technology/using-pervious-concrete-as-retaining-wall-backfil_c
9. Lee, M.-G., et al, "Preliminary Study of Pervious Concrete on Pavement and Seawall", 2017, ASTM Journal of Testing and Evaluation, pp. 249-259.
10. Yadav, Neetu B., Shah, Jayesh A. and Shah, Rushabh A., "Pervious Concrete: Solution for Low Cost Construction". 2013, International Journal of Innovative Science and Modern Engineering, pp. 38-41.
11. Sonebia, Mohammed and Yahiac, Mohamed Bassuonib Ammar, #Pervious Concrete: Mix Design, Properties and Applications". 2016, RILEM Technical Letters, pp. 109-115.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

El manejo de aguas para el sector vial y la vida humana

Mónica López
Banco de Desarrollo de América Latina, CAF

Carretera Monteagudo-Muyupampa (Bolivia), impacto por fuertes lluvias en marzo de 2018.
CORTESÍA CAF

Introducción

En el sector del transporte, las acciones relacionadas con la gestión de riesgos de desastres y las medidas de mitigación y adaptación al clima cobran atención creciente a nivel internacional; específicamente en el sector vial, en los últimos años se han identificado eventos climáticos América Latina y El Caribe que están impactando la vida útil de las infraestructuras. Así, por ejemplo, los fenómenos del Niño y la Niña o las tormentas tropicales y huracanes en Centroamérica y la zona del Caribe han provocado elevados impactos en las carreteras de algunos países. Solo en Colombia las pérdidas en la ola invernal 2010-2011 representaron el 2% del PIB.

La adaptación de las carreteras al cambio climático tiene como objetivo prever los efectos adversos del clima y tomar las medidas adecuadas para evitar o minimizar los daños que puedan causar, con el fin de reducir costos futuros y aumentar la rentabilidad de las inversiones. Estas medidas de adaptación deben enfocarse tanto a corto como a medio y largo plazo, y complementarse con herramientas de gestión ambiental, de planificación y de gestión de riesgo de desastres.

Entre las experiencias destacadas en los países de la Región en esta materia merece la pena señalar dos acciones llevadas a cabo en Colombia:

- Plan Vías-CC: vías compatibles con el clima. Plan de adaptación de la red vial primaria.
- Estudio de riesgo climático para la red vial primaria de Colombia, de nivel nacional.

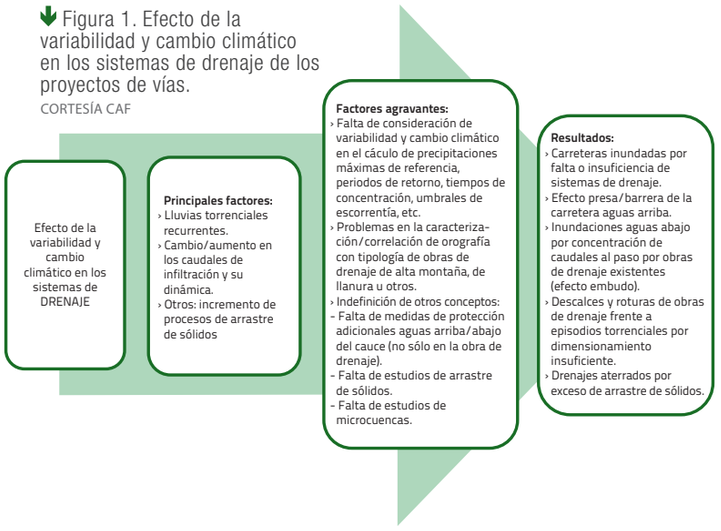
El cambio climático y el diseño del drenaje vial

Siempre ha existido relación estrecha entre el clima y la infraestructura vial; sin embargo, los cambios acelerados que se están produciendo hacen insuficientes los datos climáticos históricos que se utilizan en la actualidad para gestionar adecuadamente la infraestructura. Esta realidad pone de manifiesto que, si la planificación y el diseño de las carreteras siguen realizándose ateniendo tan solo las prácticas habituales de ingeniería en la región y los datos históricos existentes, es muy probable que sea imposible responder a los eventos climáticos de los últimos años y que, previsiblemente, se repetirán en el futuro. En consecuencia, podría llegar a ponerse en duda la sostenibilidad de la infraestructura y la eficiencia económica de las inversiones.

Ante la vida útil prevista para las carreteras, que puede superar los 50 años, las vías son sensibles al clima no solo durante su construcción, sino también a las variaciones climáticas décadas después. Para aumentar la resiliencia de las carreteras de nueva construcción y de la red vial en servicio debería gestionarse adecuadamente el impacto del clima sobre ellas a lo largo de su vida útil. De ahí que los nuevos proyectos de carreteras deban planificarse, diseñarse, construirse y mantenerse teniendo en cuenta los datos históricos, los condicionantes del clima actual y las previsiones de meteorología estimadas hasta el final de la vida útil de la infraestructura. Según los expertos, el cambio climático tiene una incidencia que oscila entre el 5 y el 10% en términos de caudales de diseño, pero es evidente que también incide en la distribución de la precipitación, en la demanda adicional a los sistemas hídricos y, sobre todo, en la frecuencia y distribución de los eventos extremos.

Así vemos que la variación de las precipitaciones originadas por la variabilidad y cambio climático en los proyectos de carreteras se traduce en mayor dispersión de las temporadas de lluvia y en episodios de mayor precipitación en periodos más cortos (duración de la tormenta). Estos escenarios requieren una serie de consideraciones en el diseño de los proyectos, así como un conjunto de medidas durante el periodo de construcción y una corrección de los protocolos de actuación durante la operación.

Figura 1. Efecto de la variabilidad y cambio climático en los sistemas de drenaje de los proyectos de vías.
CORTESÍA CAF



Durante la fase de diseño se recomienda elaborar estadísticas y previsiones actualizadas de las precipitaciones y, a partir de ellas, seleccionar con acierto los periodos de retorno, duración de la tormenta y tiempos de concentración, que permitan asegurar que los caudales de diseño en las obras de drenaje tienen dimensionamiento adecuado, suficiente para episodios de lluvia excepcionales.

Ante estos fenómenos climáticos excepcionales hay que considerar, además, que los caudales pico se acompañan de arrastres de material que se sedimenta en tramos de menor velocidad del flujo hidráulico o que pueden quedar retenidos ante un dimensionamiento insuficiente del drenaje, obturando el sistema de desagüe. Un correcto diseño debe prever estas situaciones, disponiendo los medios necesarios para la protección de elementos ante los arrastres y evitando zonas de sedimentación no controlada que, en caso de existir, deben tenerse en cuenta en los protocolos de mantenimiento.

En la fase de ejecución de obra es necesario considerar que las dispersiones cada vez mayores de los periodos húmedos pueden llevar a considerar necesarias las medidas de protección frente a lluvias extremas durante la construcción, a que se postergue la ejecución de determinados elementos (cunetas de protección de cortes y rellenos)

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

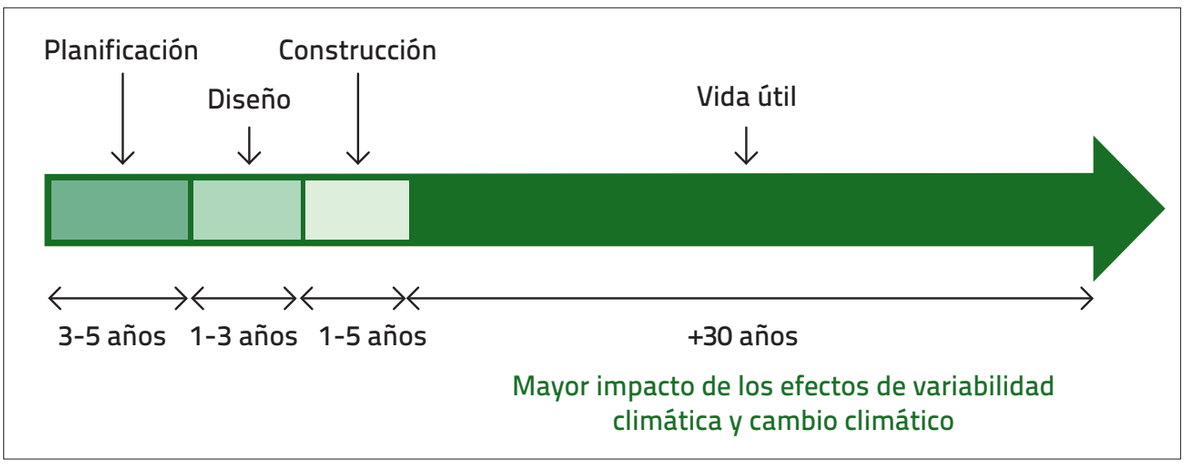


Figura 2. Variabilidad y cambio climático en el contexto de la vida útil de una infraestructura de transporte.
CORTESÍA BANCO MUNDIAL 2015

o, incluso, a omitir su ejecución al finalizar los trabajos. Además, aquellos factores climáticos que no se han manifestado durante la fase de diseño (por ejemplo, las aguas intersticiales que puedan no ser detectadas en periodos de lluvia escasa), pueden aparecer repentinamente durante la construcción, o de manera recurrente durante la fase de operación de la carretera.

Durante la operación y mantenimiento, la variabilidad climática es más acentuada por la duración de este periodo. Por ello la labor de vigilancia y control debe ser, si cabe, mayor que en etapas anteriores. En este caso no hay que olvidar los posibles aterramientos de cunetas, canales y conducciones, así como la alteración de las condiciones de entrada y salida a las obras de fábrica que afectan al funcionamiento general del sistema de drenaje. Finalmente, las aguas infiltradas deben ser extraídas, siempre que se detecten, por los medios que estén al alcance del gestor de la infraestructura, lo cual requiere, como en el resto de los casos, previo estudio y diseño detallados.

¿Cómo incorporar los criterios de cambio climático para mejorar los diseños?

Cualquier acción que se realice para reducir la vulnerabilidad de la red de carreteras frente a eventos meteorológicos extremos relacionados con la variabilidad y cambio climático, o exacerbados por él, será considerada como medida de adaptación de las vías al clima; estas acciones pueden ser: medidas físicas (como la reconstrucción de los sistemas de drenaje teniendo en cuenta las previsiones de variabilidad y cambio climático), medidas de tipo organizativo (que pueden ser mejoras de las estaciones meteorológicas para la recogida y análisis de datos) o institucional (por ejemplo, la creación de una unidad específica en el Ministerio de Transporte o de Obras Públicas que gestione los programas de adaptación de la red vial al cambio climático).

Si nos centramos únicamente en lo relativo al diseño de los proyectos, dos de los aspectos a considerar serían:

- Identificación de los espacios de mejora en la normativa actual
- Aplicación de buenas prácticas internacionales que, sin ser obligatorias, son recomendables para que la infraestructura responda mejor ante eventos climáticos adversos.

A continuación se describen algunos aspectos revisables.

Marco normativo relativo a los temas hidrológicos

a. Toma de datos históricos pluviométricos: los manuales y normativas analizados disponen de poca información en cuanto a los métodos para obtener bases de datos climáticos fiables y actualizados. Sin datos principales de partida adecuados se incurrirá en indefiniciones a la hora de diseñar elementos de infraestructuras viales de forma recurrente:

- Por lo general, los datos se toman directamente de las instituciones encargadas de generar información hidrometeorológica actualizada; es recomendable que los manuales incluyan la indicación expresa de las fuentes correctas para su obtención.
- Al respecto, en casos determinados los manuales analizados remiten a los servicios de meteorología del país, reconociendo la escasez o la carencia de bases de datos completas.
- En otros casos se incluyen tablas con registros pluviométricos hasta la fecha de edición del manual que son, por lo tanto, desactualizados.

b. Efecto de la variabilidad y el cambio climático: el punto anterior se agrava porque los manuales no tienen referencias a los cambios causados por fenómenos como El Niño y La Niña. La planificación y el diseño de las carreteras no pueden seguir realizándose con base exclusiva en las prácticas habituales de ingeniería y en los datos históricos disponibles. En este contexto, los métodos de obtención de precipitaciones máximas deben ser adaptables a nuevos rangos (nuevos picos de precipitaciones excepcionales, intensidades, tiempos de tormentas, entre otros). Estos cambios de variables deben ser considerados e incorporados de manera ágil y sistemática en los cálculos de partida.

c. Mapas/datos particularizados: sobre los demás datos hidrológicos fundamentales, en los manuales se ha observado falta de definición y particularización para cada país y sus regiones: no se incluyen mapas de torrencialidad, grupos hidrológicos del suelo, regiones umbral de escorrentía, mapas de isolíneas y máximas lluvias diarias, etc., o, con frecuencia, están desactualizados. Estos mapas pueden elaborarse para cada proyecto en particular, y son preferibles los mapas detallados a los mapas nacionales. No obstante, es importante disponer en los manuales de mapas y datos globales que sirvan como punto de partida y de contraste con los estudios particulares de detalle.

d. Microcuencas: en general, en los manuales no se diferencian ni se caracterizan cuencas y microcuencas, ni se distinguen las metodologías de cálculo y las medidas a tomar para cada caso, aunque hay excepciones en que sí se consideran microcuencas como elemento diferenciador; es posible tomar como ejemplo los análisis específicos de microcuencas en la normativa de Bolivia, con métodos de división de cuencas en microcuencas, y consideraciones en la aplicación del método convencional para este tipo particular de cuencas (cálculo de hietogramas, cálculos de factores de pendiente, factores de área y factores de tipo de suelo).

e. Periodos de retorno: en la mayoría de las normativas, los periodos de retorno considerados para el diseño de elementos de drenaje se encuentran en intervalos inferiores a 100 años (con excepción de Bolivia, que considera hasta 300 años).

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

- Hay que revisar estos máximos a fin de asumir nuevos estándares de riesgo a lo largo de la vida útil. De hecho, en la actualidad se introducen cambios en países como Nicaragua o México.
- Se recomienda evitar el empleo sistemático de datos de tablas fijas de periodos de retorno, que tienden a enfocar el dimensionamiento con rigidez excesiva. Es preferible realizar valoraciones particularizadas para cada proyecto e infraestructura; en este contexto, son eficaces los estudios preliminares que evalúan los posibles daños por un infra-dimensionamiento del caudal de la cuenca, para la determinación –tras un análisis costo-beneficio– del periodo de retorno seleccionable. De este modo se alcanza un equilibrio entre mayores costos de inversión (por mayor sobredimensionamiento y/o sobre-equipamiento de los elementos de drenaje y por aplicación de mayores coeficientes de seguridad) frente al beneficio de no sufrir daños recurrentes a la infraestructura durante su vida útil (que incurran en mayores costos por reparaciones sistemáticas y pérdida de niveles de servicio para la economía).
- Es imprescindible que estén actualizadas las bases de datos sobre las cuales se aplican los cálculos para determinar el caudal del periodo de retorno seleccionado. De otro modo, los eventos extraordinarios no quedarán reflejados en la determinación de caudales y los caudales referenciados serán escasos al no contemplar las precipitaciones de estos fenómenos excepcionales.

f. **Tiempos de concentración:** todos los manuales que disponen de apartados relativos a tiempos de concentración de cuencas se basan en formulaciones empíricas de otros países, en fórmulas americanas como Kirpich, California Culverts, Izzard o utilizan normas españolas basadas en parámetros geométricos, características del terreno y vegetación existente, que tienen validez para los determinados tipos de cuencas en los que se desarrollaron cada una de ellas. Es recomendable realizar trabajos de particularización de las fórmulas empíricas existentes y de adaptación a las cuencas de cada país o región de estudio. Como solución alternativa, las normativas deberían incidir en la importancia de establecer cálculos hidrológicos que empleen varias metodologías de determinación del tiempo de concentración, que sirvan de contraste y verificación de los resultados obtenidos y su grado de precisión.

Marco normativo relativo al dimensionamiento del drenaje

1. **Drenaje transversal:** por lo general, las normativas disponen de métodos de cálculo adecuado y completo para el dimensionamiento de Obras de Drenaje Transversal (ODT), así como para el estudio de controles de entrada/salida. No obstante, debe hacerse hincapié en las siguientes necesidades, que no siempre quedan completamente cubiertas por normas y recomendaciones:

- Estos métodos se apoyan en datos de caudales de diseño obtenidos en la fase de hidrología, por lo que se trasmiten a este punto las objeciones ya descritas en cuanto a previsibles infra-dimensionamientos en el método por no considerar caudales pico excepcionales, torrencialidad u otros factores importantes. Para que los caudales de diseño tengan en consideración la variabilidad y cambio climático, será necesario que estén actualizadas las series meteorológicas empleadas en el cálculo. Asimismo, el proyectista deberá evaluar si los periodos de retorno que se toman, refleja en los resultados los últimos episodios excepcionales. En caso contrario, se debe evaluar la ampliación de los periodos de retorno o la duración de las tormentas y tiempos de concentración a considerar, para que los caudales pico reflejen estos sucesos extraordinarios. Con base en este criterio es posible realizar una evaluación del daño eventual y que, valorado adecuadamente, puede servir para elevar los periodos de retorno a considerar en el cálculo del caudal máximo.
- Es necesario introducir cálculos sobre estimaciones de arrastre de sólidos en función de caudales previstos o tipología de suelos, además del análisis de la relación pendientes/caudales; también son deseables –con base en criterios objetivos de cálculo de arrastres– medidas específicas para el control de sedimentos y arrastre de material. Al respecto es importante que el dimensionamiento de obras de drenaje transversal contemple sistemas de protección, presas de retención de sedimentos aguas arriba, areneros y cuencos decantadores, en aquellos elementos que puedan necesitarlos.
- Los controles de entrada/salida se limitan a la dinámica de fluidos y altura de lámina de agua y posibles rebases. Es frecuente que no haya estudios de detalle de elementos de protección a disponer ni de su definición geométrica (aletas, revestimientos de piedra o concreto, bajantes escalonadas, disipadores de energía, entre otros), en función de los caudales previstos, la geometría existente y la tipología de suelos o materiales subyacentes.

2. **Drenaje superficial:** por lo general, las normativas disponen de métodos de cálculo de cunetas y su comprobación hidráulica.

- No obstante, se establecen cálculos para cunetas de manera aislada y no englobadas dentro de un conjunto, obviando otros elementos como arquetas, colectores, o bajantes. No hay recomendaciones en cuanto a la ejecución de las terminaciones de estos elementos, puntos de vertido o incompatibilidades.
- Debe hacerse hincapié en las recomendaciones de emplear o no revestimiento de cunetas, bajantes y otros elementos; estos condicionantes inciden sobre los arrastres, erosiones, infiltraciones y otras consecuencias de los flujos de agua que se acentúan con su variabilidad y los eventos extraordinarios.

3. **Recomendaciones adecuadas a cada tipo de cauce:** los manuales resultan, a veces, excesivamente teóricos

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

o tecnificados en cuanto a los métodos de dimensionamiento y de comprobación hidráulica; pero no hay consideraciones ni recomendaciones previas cualitativas para establecer elecciones correctas de la tipología de obras de drenaje en función del cauce y cuenca atravesados (de montaña, de llanura, en función del grado de definición geométrica o en función de las previsiones de arrastre de sólidos, por ejemplo).

4. **Encauzamientos:** igualmente, los criterios de diseño de estas normativas resultan excesivamente enfocados al tramo de cruce bajo la infraestructura vial, obviando posibles problemas aguas arriba y aguas abajo. La alteración de las condiciones geomorfológicas en los periodos de explotación puede acarrear consecuencias no deseadas en la conservación de las vías. Como medidas adicionales en estos periodos puede ser recomendable incorporar, cuando se justifique, medidas constructivas globales que optimicen la capacidad hidráulica del conjunto (cauce y obras de drenaje transversal) y su interconexión con cauces principales (encauzamiento y protección de cauces, métodos de control de caudales mediante estanques de laminación), que mitigan estas alteraciones, a posteriori, de las condiciones en que se diseñaron los viales.
5. **Drenaje profundo:** en determinados manuales y normativas se obvia incorporar métodos de cálculo de detalle para el dimensionamiento del drenaje profundo (caudales de infiltración según capas de pavimento, aportaciones de aguas subterránea o del corte de taludes en desmonte, dimensionamiento de zanjas o materiales).

Conclusiones

La consideración del efecto del clima en las infraestructuras debe atender a los siguientes puntos de partida:

- Históricamente, el diseño de carreteras tiene en cuenta las condiciones climáticas (por ejemplo, el diseño del drenaje considera las previsiones de lluvia, el cálculo de estructuras como los puentes toma en consideración las cargas de viento); sin embargo, las condiciones de variabilidad y cambio climático actual exigen modificar las previsiones, superando la utilización de los registros meteorológicos del pasado (por ejemplo, las series de los últimos 20-30 años) e incorporando adicionalmente las previsiones futuras (para los próximos 20-70 años), con las estimaciones de la incidencia del cambio climático, además de los registros obtenidos durante los eventos extremos. La adaptación a las nuevas condiciones requerirá, en la mayor parte de los casos, un costo adicional, cuya rentabilidad económica deberá valorarse junto con los beneficios obtenidos de la reducción de los impactos en la red vial.
- En el análisis del riesgo, la vulnerabilidad de las infraestructuras debe considerarse desde una perspectiva global, teniendo en cuenta la localización de la red de carreteras, su importancia en el conjunto del sistema de transporte, la vida útil de la infraestructura, su funcionalidad, estado de conservación, características y tipología de los pavimentos, población afectada en caso de no poder utilizar la carretera, valor patrimonial de la vía e indicadores de accesibilidad en las zonas a las que la carretera da servicio, entre otros factores; en cuanto a las amenazas, éstas deben cuantificarse desde una perspectiva específica, propia del nivel del proyecto de una carretera.
- Las medidas de adaptación deben ser objeto de un análisis costo-beneficio; de esta manera, parece razonable realizar un estudio jerarquizado de la red vial, de manera que se establezcan parámetros de vulnerabilidad según su importancia , garantizando la accesibilidad.
- Como complemento al punto anterior, debe hacerse hincapié en el concepto de redundancia, entendido como la disponibilidad de alternativas en el caso de que determinado itinerario clave no esté disponible, de manera que en casos de emergencia se pueda apelar a otras opciones, accediendo a vías de otra jerarquía y prestaciones, con lo cual se evita aislar las regiones. La redundancia en una red vial disminuye la vulnerabilidad, no de la propia infraestructura como elemento independiente, sino de la red de carreteras en conjunto y, en consecuencia, de la población afectada. El criterio de redundancia debería extenderse a la totalidad de la red, a fin de evitar que la población rural en zonas de menor accesibilidad quede aislada de los servicios básicos de salud, educación o abastecimiento durante períodos prolongados de tiempo. No se trata de duplicar itinerarios, sino de garantizar alternativas –aunque supongan mayor tiempo de viaje o menor calidad de servicio– asegurando la accesibilidad de la zona.

Pero esto es sólo el principio, pues queda un largo camino por recorrer en materia de adaptación. La carretera no es solo la infraestructura que vertebra los territorios y genera cohesión social, sino la plataforma física sobre la que se apoyan sectores productivos tan importantes como la logística, el turismo y la agroindustria. De ahí la importancia de contar con redes viales competitivas y fiables durante todo el año.

Fuente

Artículo extraído de Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima, publicada por CAF- Banco de Desarrollo de América Latina. http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1221.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Fase II, PTAR El Salitre:

Sistema de cimentación

Liliana Roa Ovalle, Trevigalante S.A
Fotos: Cortesía Trevigalante S.A.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre, hace parte del Mega Proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del río Bogotá, obra que desde hace años viene ejecutando La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, que ampliará y optimizará la planta de tratamiento para tratar las aguas residuales del noroccidente de Bogotá para entregarlas al río Bogotá en mejores condiciones. Hoy en día es la única planta de tratamiento existente de las dos previstas para la ciudad. Se localiza en el noroccidente de la zona urbana, cerca de la descarga del río Salitre sobre la margen izquierda del río Bogotá.

Foto 1. Frente de digestores.

Obras de la ampliación de la PTAR

En la actualidad, la PTAR El Salitre, está siendo ampliada y optimizada para permitir el incremento de su capacidad, mejorando: el proceso de tratamiento y las condiciones de las aguas tratadas y entregadas al río Bogotá, y las condiciones ambientales en el área de influencia directa de la PTAR El Salitre. Esta obra, catalogada como el proyecto de ingeniería más grande en inversión y tecnología a nivel nacional, se ha ejecutado en los predios destinados por el Distrito Capital desde 1985 para su construcción, sitio que por más de 30 años funcionó como el botadero a cielo abierto el Cortijo, donde se encuentra la Fase I que entró en funcionamiento a partir del año 2000. Ahora con el nuevo proceso constructivo, se han levantado estructuras de grandes volúmenes y grandes alturas, como la estación de bombeo principal en la captación, desarenadores, clarificadores primarios y secundarios, tanques de aireación, sopladores, digestores, deshidratadores, espesadores, estaciones de bombeo de lodos y de aguas tratadas, edificios para instalaciones eléctricas e hidráulicas, canales y tuberías de conducción, entre otras.

Cimentación de las estructuras

Como parte de las actividades iniciales se realizó el estudio geotécnico que comprendió la exploración detallada directa e indirecta de los suelos del sector, perforaciones para medir el espesor del depósito de residuos sólidos y la cuantificación del volumen, ensayos geofísicos de campo, ensayos de campo y de laboratorio para caracterizar los suelos, caracterización geotécnica detallada y definición del perfil de suelos en la zona del proyecto, definición de parámetros y criterios geotécnicos de diseño requeridos para la ingeniería de detalle, evaluación de la respuesta sísmica del sitio, evaluación del potencial de licuación de las arenas, definición técnica del tipo de cimentación requerida para las estructuras proyectadas y consideraciones técnicas para los tipos de cimentación definidos.

Con base en los resultados del estudio geotécnico se tuvieron 4 objetivos fundamentales dentro del proyecto en relación con la fase de cimentaciones:

- Establecer los parámetros y criterios geotécnicos necesarios para la ingeniería de detalle de la cimentación de las estructuras previstas.
- Determinar los tipos de cimentaciones requeridos para las estructuras proyectadas, con base en las condiciones definidas con la exploración avanzada que representó el estudio.
- Evaluar el comportamiento de las cimentaciones consideradas, para estimar los asentamientos probables de las estructuras.

Sistema placa-pilotes

En el análisis de suelos se evaluó la posibilidad de construir pilotes de 0,6 m de diámetro y longitudes variables entre 30 m y 50 m, considerando diferentes espaciamientos entre ellos. Estos pilotes son similares a los construidos en gran parte de las principales estructuras de la Fase 1 de la PTAR El Salitre, de los cuales se cuenta con medidas de asentamientos en el tiempo. Para cimentar las nuevas estructuras se realizaron modelos numéricos 3D que fueron calibrados con las mediciones de los asentamientos registrados en estructuras de la Fase 1 de la PTAR El Salitre (digestores, sedimentadores y espesadores, entre otros). Valores tomados de la información básica de referencia.

Teniendo en cuenta diferentes alternativas de diseño en función de la longitud de los pilotes, reducción de asentamientos y densidad de pilotes, se aplicaron los siguientes factores para la definición detallada del número de pilotes en cada estructura:

1. Las cargas aplicadas por cada estructura.
2. El área de las cargas aplicadas. Se estimó una distribución uniforme de las cargas en toda el área de cada estructura.
3. La localización de cada estructura, debido a que los asentamientos calculados cambian en función del espesor del relleno de basura (que ha tenido un proceso de consolidación en el suelo natural); así mismo cambian en función del perfil de suelos (presencia o ausencia de arenas y sus espesores), que varía a lo largo y ancho del lote.
4. Los asentamientos máximos admisibles a largo plazo (por la sobrecarga de la estructura) que puede tener cada una de las estructuras proyectadas se basaron esencialmente en los valores de asentamientos medidos en la mayoría de las estructuras de la Fase 1 de PTAR El Salitre. Son valores que permiten asegurar la funcionalidad de las estructuras.

Finalmente, con base en estos factores, se determinó para cada estructura proyectada: el tipo de cimentación profunda, la densidad de pilotes mínima requerida para el control de los asentamientos, la cantidad de pilotes necesarios por cada estructura de acuerdo con la forma de su área a nivel de cimentación, las características de los pilotes (diámetro y longitud) y la cantidad de metros lineales de pilotes en cada estructura.

Proceso constructivo de los pilotes

Los pilotes son elementos estructurales que permiten trasmitir las cargas de la superestructura y la infraestructura a estratos profundos que posean la capacidad de carga suficiente. Para el proyecto de ampliación y optimización de la PTAR El Salitre, en las estructuras de los tanques se emplearon pilotes preexcavados y en la estructura de pretratamiento, pantallas y barretes preexcavados.

El proceso constructivo consiste en realizar la excavación de los elementos hasta llegar a la profundidad de diseño establecida, donde se instala el acero de refuerzo y se procede a realizar el vaciado con concreto tipo Tremie, que se vierte usando una tubería y un embudo para que la mezcla fluya a través del elemento. El proceso culmina cuando el concreto desplaza, de abajo hacia arriba, el fluido de perforación y llena la excavación hasta la cota requerida de diseño.

Entre los retos que surgieron para construir la cimentación estaban, los suelos demasiado blandos para soportar el peso de los equipos y, además, un nivel freático que podía afectar la construcción de los pilotes por la falta de cabeza hidráulica; para disponer de una plataforma de trabajo adecuada fue necesario realizar un relleno en piedra de 0,8 m de espesor, con recebo en la parte superior, para desde allí realizar los pilotes.

El terreno estaba constituido principalmente por arenas, arcillas, material orgánico y un relleno en el último estrato conformado por basuras. En algunas zonas se

Fotos 2 y 3. Frente de pretratamiento.

hallaron gases y flujo de agua. El fluido de perforación utilizado –un polímero base y un polímero para control de filtrado y nivelador de pH– hizo posible manejar y controlar con acierto los contenidos de arenas y flujo de agua presentes en los elementos, permitiendo la adecuada fundida de pilotes. La zona contaba, además, con suelos excesivamente blandos para soportar el peso de los equipos, pero también con nivel freático que podía afectar la construcción de los pilotes debido a la falta de cabeza hidráulica de los clarificadores secundarios; presentaba alto nivel freático y arenas en la zona superior, lo que obligó a instalar camisas metálicas recuperables de 10 m de longitud antes de iniciar la excavación de cada pilote.

El concreto

En la ejecución de estas obras se utilizó un concreto antideslave, altamente cohesivo, ideal para aquellos elementos en contacto con agua durante el proceso de colocación y, como en este caso, agua del terreno destinado para la ampliación de la PTAR El Salitre. Las características de este concreto impiden la penetración de líquidos en el elemento estructural y evitan la pérdida de finos –pasta y agregado–; disminuyen y controlan la segregación del concreto, y aumentan la durabilidad. No se afectan el tiempo de manejabilidad ni los tiempos de fraguado y no se necesitan equipos especiales para la colocación.

Una obra en tiempo récord

Pilotes				
Estructura	**Especificaciones de pilotes**	**Cantidad de pilotes**	**Pilotaje (m^3)**	**Pilotaje (m)**
Entrada-Pretratamiento	Longitud efectiva de 30 a 50 m, 0,6 m de diámetro, concreto de 31 MPa (4.500 psi)	350	3.100	10.964,0
Clarificadores primarios		476	5.580	19.735,2
Clarificadores secundarios		1.221	7.890	27.905,2
Total		**2.047**	**16.570**	**58.604,4**
PANTALLAS Y BARRETES (0,8 m de espesor y profundidad máxima de 32 m)				
Estructura		**Pantallas (m^3)**	**Barretes (m^3)**	
Pretratamiento-Estación de bombeo		5.200	5.030	

Tabla 1. Datos del sistema de cimentación.

La actividad de cimentación profunda para los frentes mencionados comenzó en el mes de octubre de 2017 y finalizó en noviembre de 2018. Para atender la obra fue necesario instalar 5 frentes de trabajo con piloteadoras y grúas auxiliares, y para el frente en los tanques de pretratamiento donde se ejecutaron pantallas, se utilizaron una grúa principal y dos auxiliares.

Bibliografía:

Producto Final – Anexo No. 18 Geotecnia Básica Avanzada y Topografía. Hazen and Sawyer, P.C. / Nippon KOEI.
Ficha Técnica: "Concreto Antideslave", Cemex Colombia.

Noticreto LA REVISTA DE LA TECNICA Y LA CONSTRUCCION

Solución para construir estructuras bajo el agua

Grouts antideslave

Andres H. Uribe Gomez,
Juan Camilo Lema Zambrano
BASF Master Builders Solutions

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

En la actualidad, una de las aplicaciones de mayor exigencia para las mezclas de tipo cementicio (concretos y morteros) empleadas en la ejecución de obras de infraestructura a nivel global es aquella que exige que el desempeño de la mezcla no se afecte al enfrentarse a condiciones complejas de colocación, entre ellas los vaciados en un medio con alta presencia de agua, construcciones y reparaciones subacuáticas o trabajos con *grout* (mortero de relleno) en estructuras marinas.

El actual avance de los procesos constructivos podría obviar este reto en algunos casos. Sin embargo, tanto para la construcción de nuevos elementos como para rehabilitación, existen aplicaciones cuyos diseños de mezclas exigen incorporar tecnologías que mitiguen o eviten del todo su afectación, especialmente durante las etapas de vaciado.

Los desafíos para que el vaciado subacuático sea exitoso comprometen a todas las partes del ciclo constructivo: por ejemplo, el constructor debe valerse de buzos para observar y dirigir las líneas de bombeo y las tuberías de Tremie mientras trabaja en aguas oscuras –considerando que este ambiente puede empeorar si hay lavado de cemento y finos de la mezcla– y los ingenieros deben asegurar la calidad del concreto en el lugar de obra considerando, entre otros, que el concreto no puede ser vibrado bajo el agua y que, por ende, la capacidad de fluir al sitio destinado es crítica, lo que puede ser aún más complejo si se trabaja en labores de rehabilitación donde no se puede retirar de manera sencilla el concreto existente.

Adicionalmente, los retos constructivos para las aplicaciones bajo agua implican aspectos relacionados con el lavado de cemento y finos de los agregados, que pueden afectar la calidad del concreto en el sitio y causar problemas de tipo ambiental. También es importante considerar los altos sobrecostos que pueden generar la colocación de concretos bajo agua, las técnicas específicas de colocación, la incorporación de cemento adicional en el diseño de mezcla y el bombeo del material hacia el sitio a intervenir.

Un correcto diseño de la mezcla de concreto para este tipo de aplicación es clave para el éxito del proyecto. Las especificaciones serán desafiantes, por lo general, y los requisitos de resistencia a la compresión para el concreto pueden ser superiores a 55 MPa (8.000 psi). Para esto deben considerarse tecnologías que complementen el

↑ Foto 1. Proyecto Hidroeléctrico Ituango
CORTESÍA EPM

diseño, como el humo de sílice y los reductores de agua de alto rango con extensión de manejabilidad; usar una baja relación de agua/material cementante (a/mc), y proveer, además, una consistencia fluida para bombear el concreto en formaletas con espacios restringidos.

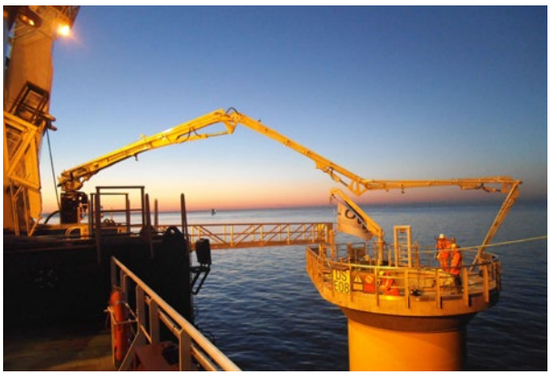


Foto 2. Parque Eólico de Liverpool Bay, Inglaterra.
CORTESÍA MASTER BUILDERS SOLUTIONS BASF

Por lo anterior, si el diseño de mezcla (sea de un concreto, mortero o *grout*) para aplicaciones subacuáticas, no incorpora tecnologías que modifiquen su comportamiento en estado fresco durante la etapa de colocación y vaciado, gran parte del cementante presente en la mezcla puede perderse en el entorno causando, entre otros, la reducción de su bombeabilidad debido al agua presente en las líneas de bombeo, reducción de la resistencia ante la pérdida de material cementante y, finalmente, detrimento de la funcionalidad estructural del proyecto.

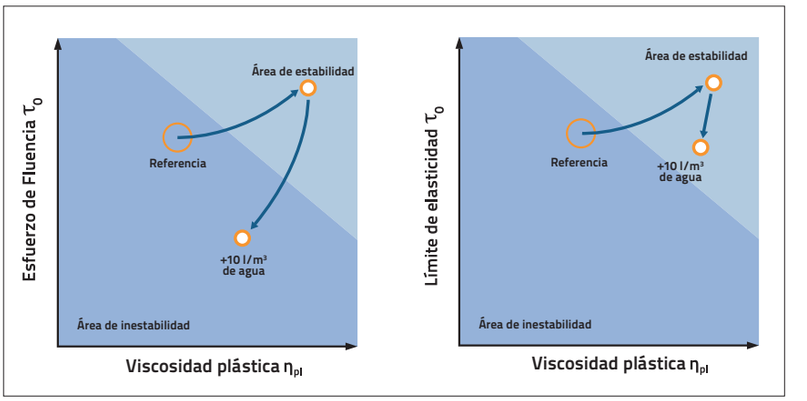
Como alternativa a todos los desafíos de ingeniería que representa este tipo de procesos constructivos, en años recientes se ha desarrollado un abanico de soluciones tecnológicas que permiten mejorar el comportamiento reológico de las mezclas de concreto, *grouts* y morteros, reduciendo notablemente los sobrecostos de las obras.

Tecnología química en estructuras bajo agua

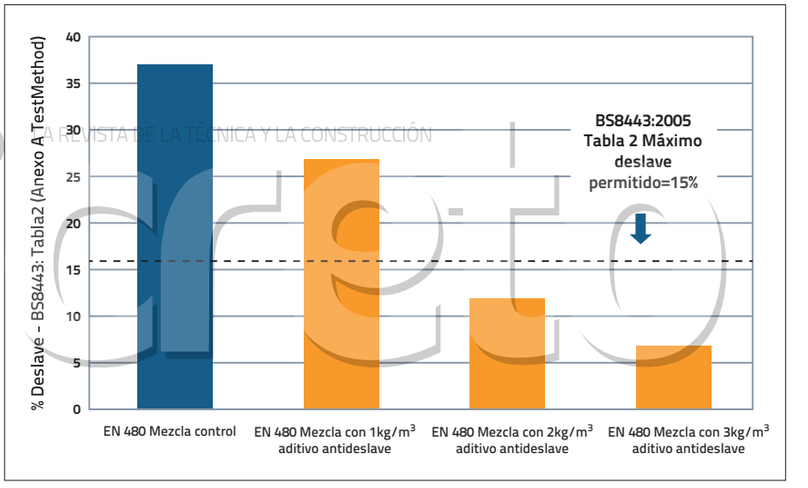
Los aditivos y productos antideslave constituyen una alternativa que proporciona varias condiciones para un vaciado subacuático exitoso, pues mejora notablemente las propiedades reológicas durante el vaciado y la colocación del material en obra y disminuye los sobrecostos asociados a la pérdida de material en las mezclas, con ínfima afectación del desarrollo de las propiedades del estado endurecido del material empleado en la reparación o en el proceso constructivo.

Su desarrollo obedece a tecnologías patentadas que suplen el vacío técnico de otros materiales y grouts convencionales que no tienen la capacidad de resistir altas presiones y deslave, ante caudales de agua en las aplicaciones de ingeniería hidráulica [1].

El mecanismo de acción que mejora las propiedades de las mezclas con este tipo de tecnología se basa principalmente en la modificación de los dos parámetros



Gráficas 1 y 2. Estabilización de concreto inestable para aplicaciones bajo agua mediante tecnologías antideslave [2]. A la izquierda un concreto convencional que al ser lavado con agua pasa a la región de inestabilidad en términos de pérdida material cementante y capacidad de bombeo, a la derecha, se evidencia que a pesar de que el concreto interactúa con mayor cantidad de agua, no pierde sus propiedades de bombeo y su estabilidad en flujo para ser colocado con mayor facilidad.
CORTESÍA MASTER BUILDERS SOLUTIONS BASF



Gráfica 3: Mejoramiento de pérdida de matriz de cemento usando aditivos antideslave a diferentes dosis. La norma BS8443:2005[1] indica el máximo valor de deslave permitido para aplicaciones en construcciones hidráulicas [3].
CORTESÍA MASTER BUILDERS SOLUTIONS BASF

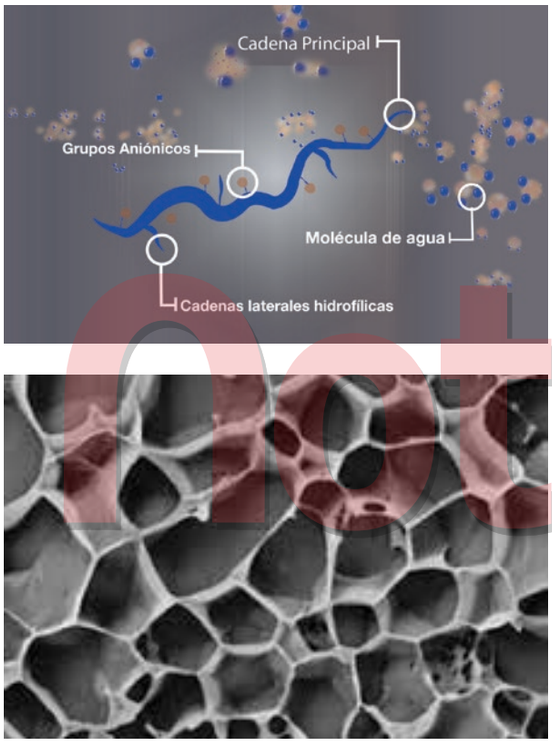
1 *Specification for establishing the suitability of a special purpose concrete admixtures* / Especificación para establecer la idoneidad de aditivos de concreto para propósitos especiales.

reológicos más importantes de la mezcla: el esfuerzo de fluencia y la viscosidad plástica, relacionados con el comportamiento en estado plástico de los materiales. Estos parámetros son controlados por los aditivos antideslave y permiten obtener la optimización de mezclas empleadas en aplicaciones hidráulicas bajo el concepto de *Smart Dynamic Concrete*[1], que proporciona un material de construcción más estable para estos usos.

A continuación se muestra un ejemplo que evidencia el mejoramiento del desempeño de una mezcla para aplicaciones de este tipo con aplicación de la tecnología de aditivos y productos antideslave.

1 Tecnología de diseño química, inteligente y selectiva para convertir el concreto autocompactante en una mezcla robusta, de fácil colocación, estable y con el menor sobre costo en el momento de hacer construcciones de altos requerimientos técnicos.

Como se evidencia en las gráficas 1, 2 y 3, es posible mejorar diferentes propiedades del concreto en términos de pérdida de cementante de la mezcla y reología en el momento de la colocación. Este resultado se obtiene gracias al efecto de los polímeros hidrosolubles, cuya característica principal se basa en cadenas iónicas de alto peso molecular que interactúan con las moléculas de agua presentes en el fluido libre de una mezcla y, además, se absorben de manera controlada en las partículas más finas del cemento y las arenas. Este diseño molecular permite mantener el agua libre del concreto dentro de la mezcla, consolidando todos los materiales juntos.



Figuras 1 y 2. Estructura polimérica para mejoramiento reológico de mezclas de concreto y grouts antideslave.
CORTESÍA MASTER BUILDERS SOLUTIONS BASF

Se esquematiza a continuación el mecanismo en que parte de las moléculas principales que componen el aditivo y este tipo de tecnología generan un balance hidrofílico-lipofílico que impide que el agua se libere al exterior de la molécula, reduciendo la posibilidad del lavado del cementante e impidiendo el sangrado o segregación del material por su uso en aplicaciones hidráulicas.

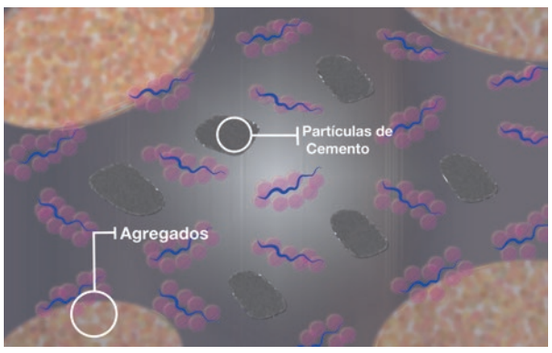


Figura 3. Mecanismo de acción de tecnología antideslave en aplicaciones de ingeniería hidráulica. Los polímeros diseñados para la tecnología antideslave, evitan que las partículas del agua migren fuera de la matriz del concreto y mantienen en una suspensión estable a las partículas de cementante mientras se van hidratando en el tiempo para ganar resistencia.
CORTESÍA MASTER BUILDERS SOLUTIONS BASF

El efecto que se logra con este tipo de tecnologías dependerá del uso y el desafío que se quiera resolver, pues las aplicaciones de estos productos van desde la consolidación estructural de macizos fracturados bajo el agua, -como es el caso de la presa hidroeléctrica de Hidroituango en Colombia, donde se aplica en la actualidad tecnología de *grouts* antideslave para reparar y consolidar los túneles colapsados de la obra- hasta la fundación de torres de energía para parques eólicos, como en el caso de las 160 turbinas instaladas en la bahía de Liverpool, Inglaterra, en donde se emplearon *grouts* antideslave en la cimentación, vertidos en presencia de agua marina.

El uso y la comprensión de este tipo de tecnología arroja beneficios a la industria de la construcción en términos económicos, ecológicos y ergonómicos, con los siguientes aspectos a considerar:

Económicos
- Reducción de costos en pérdidas de finos cementantes y de la arena.
- Colocación en sitio del concreto 40% más rápida.
- Productividad laboral hasta 5 veces mayor.

Ecológicos
- Menor residuo fino en cuerpos de agua.
- Menor huella de CO_2 durante el proceso constructivo.
- Mayor durabilidad de las estructuras.

Ergonómicos
- No se requiere de vibración.
- No genera ruidos.
- El proceso de bombeo, la colocación es más sencilla al tener menor cohesividad de mezcla.

Las ventajas enumeradas abren una ventana y un sinnúmero de posibilidades a nuevos retos de ingeniería que implican condiciones de colocación extremas y específicas de acuerdo con diferentes exigencias de la ingeniería hidráulica mundial.

Por ello, continuar el mejoramiento, diseño y aplicación de este tipo de materiales y productos en los proyectos de infraestructura y construcción subterránea, permitirá que un país como Colombia siga creciendo en términos de construcciones hidráulicas de alta complejidad que están a la vanguardia de grandes obras de referencia, mejorando la calidad de vida y el nivel de desarrollo de la población de diferentes regiones.

Referencias

1. J. H. H. S. M. X. Wei Cui, «Development of two new anti-washout grouting materials using multiway ANOVA in conjunction with grey relational analysis», Construction and Building Materials, vol. 184, nº 198, pp. 1-15, 2017.
2. Master Builders Solutions-BASF, «MasterMatrix - Advanced Rheology Control for Concrete», 23.10.2017. [En línea]. Available: https://www.master-builders-solutions.basf.co.uk/en-gb/products/mastermatrix. [Último acceso: 15.01.2020].
3. British Standards Institution (BSI), «Specification for establishing the suitability of special purpose concrete admixtures», 2006.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Conexión y desgarga PTAR El Salitre II

Obras hidráulicas de gran formato

Alexander Vargas
Preansa - Prefabricados Andinos Colombia SAS.

Foto 1. Canal de desvío y estructura en construcción.
CORTESÍA CONSORCIO EXPANSIÓN PTAR SALITRE - CEPS.

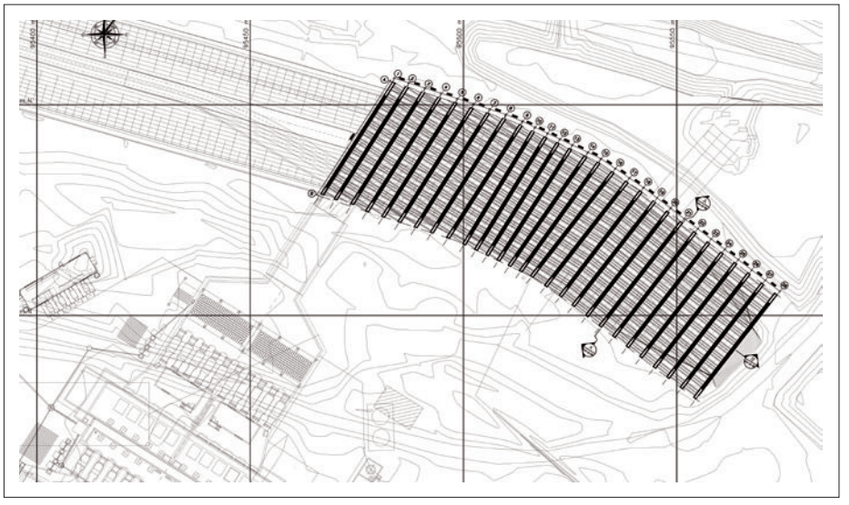
La ampliación y optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR El Salitre, aumentará la capacidad de tratamiento de aguas residuales y mejorará la calidad del agua que se entrega actualmente al río Bogotá. Se mejorarán las condiciones ambientales existentes desde el componente aire, hasta el componente biótico, por la plantación de nuevas especies y reforzamiento de barreras ambientales existentes, así como también por la instalación de equipos limpiadores de aire en las áreas de proceso generadoras de olores agresivos. La PTAR El Salitre Fase 1 y la nueva fase se encuentran ubicadas en la desembocadura del río Salitre al río Bogotá en el nor-occidente de la ciudad y cuando se construyó la fase 1, hacia 1996, las zonas aledañas eran menos pobladas que en la actualidad. Este es el punto donde confluyen todas las redes del sistema de alcantarillado sanitario que se encuentran en la Cuenca Salitre y que recoge las aguas que provienen de la calle 26 hasta la calle 220 y entre los cerros y el occidente de Bogotá. Las tuberías e interceptores fueron diseñados para transportar toda el agua residual del norte y los futuros desarrollos del borde norte de Bogotá.

Nueva estructura de conexión

Las aguas residuales disminuyen su velocidad al llegar a la planta de tratamiento, lo que produce malos olores que afectan a las comunidades aledañas. Para controlar estos vapores, la obra de ampliación incorporó en el proyecto la construcción de una nueva conexión de los colectores con la nueva PTAR, usando para ellos prefabricados de concreto de gran formato.

El canal de acceso existente recibe las aguas residuales provenientes de las estructuras tipo *box-culvert* del interceptor El Salitre, las 4 tuberías de 1,6 m de diámetro del interceptor río Bogotá, la tubería de 1,8 m de diámetro del interceptor Encor y la tubería de 1,2 m de diámetro del interceptor Mancor y permite que la descarga sea controlada para luego ser conducida al pretratamiento.
La estructura, además de las especificaciones de ingeniería, debía cumplir como condición fundamental el

Figura 1. Estructura de conexión PTAR.
CORTESÍA CONSORCIO EXPANSIÓN PTAR SALITRE - CEPS.



control de los olores, para lo cual se planteó desde el diseño una cubierta para la obra de la conexión nueva de la PTAR.

Estas estructuras en concreto deben atender los requisitos especiales de durabilidad descritos en la NSR-10, capítulo C.23 "*Tanques y estructuras de ingeniería ambiental de concreto*". En las tablas siguientes se enumeran los requisitos que deben cumplir tanto el concreto en obra como los elementos prefabricados:

Elemento estructural	Categoría y clase de exposición
Elementos estructurales en contacto con el terreno, agua de proceso	F0-P1-S2-C1-Q0

Tabla 1. Clases de exposición.
F0: Congelamiento y deshielo / Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo.
P1: Requiere baja permeabilidad / En contacto con agua donde se requiera baja permeabilidad.
S2: Condición de sulfato severo.
C1: Protección del refuerzo para la corrosión / Concreto expuesto a humedad pero no a una fuente externa de cloruros.
Q0: Exposición a químicos corrosivos / Concreto no está expuesto a químicos corrosivos.
ADAPTADO DE NSR-10.

Elemento estructural	Relación A/ C	Tamaño máximo agregado (mm)	Cemento (kg/m³)	ASTMC150 Tipo cemento	Resistencia (MPa)
Elementos estructurales en contacto con el terreno, agua de proceso	< 0,40	20	>350	V(*)	35

Tabla 2. Resistencias y propiedades del concreto. V(*): Se permiten cementos tipo III o tipo I en exposiciones de clase S1 o S2 si el contenido de C_3A es menor al 8% o 5%, respectivamente.
ADAPTADO DE NSR-10.

Con estos requisitos se plantearon todos los prefabricados que componen esta estructura de 104 m de largo y 32 m de ancho:

Elemento	Descripción	Cantidad	Tipo de ejecución
Pilotes	Diámetro: 60 cm Longitud: 20 a 31 m	127	Preexcavados
Dados de cimentación	Altura: 1 m - variable		Fundidos en sitio
Columnas de concreto	Columna: sección 60 x 60 Longitud: 2,09 m Peso: 2,1 t Columna: sección 75 x 75 Longitud: 8,04 m Peso: 12,5 t Columna: sección 75 x 75 Longitud: 2,09 m Peso: 3,24 t	71	Prefabricadas
Vigas	Viga tipo BN pretensada Longitud: 32 m - Canto 1,3 m Peso: 28 t	27 vigas	Pretensadas
Losas	Losa Tipo TT pretensada Longitud promedio: 3,6 m Ancho promedio: 2,4 m - Canto 0,3 m Peso: 1,68 t	3.470,35 m²	Pretensadas
Muros prefabricados	Panel liso macizo - espesor 12 cm Altura: entre 1,48 y 2,04 m Ancho: entre 1,51 y 5,05 m Peso: 2,42 t Panel liso macizo - espesor 8 cm Altura: entre 4,14 y 6,65 m Ancho: entre 1,19 y 2,4 m Peso: 2,05 t	725 m² 351 m²	Prefabricados

Tabla 3. Elementos que componen la estructura, casi en su totalidad prefabricada. Únicamente los pilotes y los dados se fundieron en sitio.
CORTESÍA PREANSA - PREFABRICADOS ANDINOS COLOMBIA SAS.

La complejidad para la construcción, su situación directamente sobre el canal de acceso (conducción que recoge las aguas de todos los interceptores) y los plazos del contrato, llevaron a escoger los prefabricados en concreto como la alternativa de construcción. Entre las razones más relevantes para esta decisión se encuentra la posibilidad de realizar las obras preliminares, entre ellas el desvió provisional (un canal de longitud aproximada de 220 m revestido en concreto pobre y malla electrosoldada) que encauce las aguas y abra la zona al ingreso de equipos y materiales para iniciar las obras de pilotaje y cimentación de la estructura principal, mientras que en la planta de prefabricados se elaboran los demás elementos que conforman la estructura: columnas, vigas, losas y muros, todo lo cual reduce los plazos de construcción.

La ventaja de los prefabricados en la disminución de tiempos en la construcción es fundamental en este caso. Así mismo, el montaje y diseño de conexiones entre elementos permiten que los prefabricados de mediano y gran formato agilicen la colocación, situación que posibilita incluso trabajar en paralelo con las demás obras en ejecución.

Una vez terminadas las obras de cimentación se procedió a transportar los elementos prefabricados desde la planta para el montaje; en primer lugar, las columnas prefabricadas, luego las vigas, las losas y finalmente los muros que conforman la estructura cubierta. Esta se elabora en dos etapas: inicialmente se colocan las losas sobre las vigas y luego una capa o losa de compresión que vincula los prefabricados, con un acabado cuyas pendientes permitirán el drenaje hacia las bajantes, como en cualquier cubierta convencional.

Foto 2. Transporte de vigas de 32 m de longitud y 28 t de peso.
CORTESÍA PREANSA - PREFABRICADOS ANDINOS COLOMBIA SAS.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

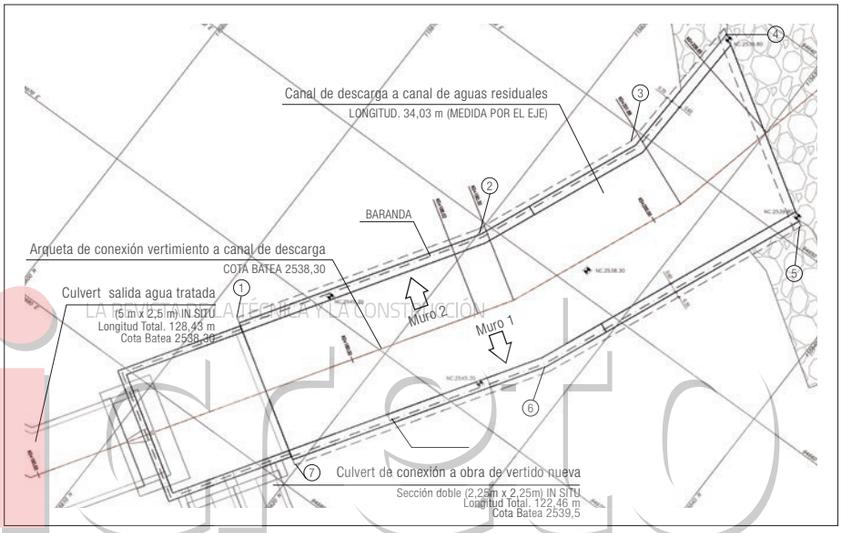
Foto 3. Montaje de vigas.
CORTESÍA PREANSA - PREFABRICADOS ANDINOS COLOMBIA SAS.

Foto 4. Vigas colocadas sobre columnas prefabricadas.
CORTESÍA CONSORCIO EXPANSIÓN PTAR SALITRE - CEPS

Foto 5. Fase 1 de estructura de conexión.
CORTESÍA CONSORCIO EXPANSIÓN PTAR SALITRE - CEPS

En la actualidad se encuentra culminada la fase 1 de la estructura. En la izquierda de la Foto 5 se puede observar el conjunto de elementos ya instalados –columnas, vigas, losas y muros– mientras se ejecutan las obras para la fase 2, a la vez que el canal de desvío con aguas residuales cumple su función. Esta primera fase ya se encuentra controlando de manera parcial las descargas de los 4 interceptores de aguas residuales que la PTAR El Salitre va a tratar para descontaminar el vertimiento al río Bogotá.

Figura 2. Planta del canal de descarga.
CORTESÍA: CONSORCIO EXPANSIÓN PTAR SALITRE – CEPS



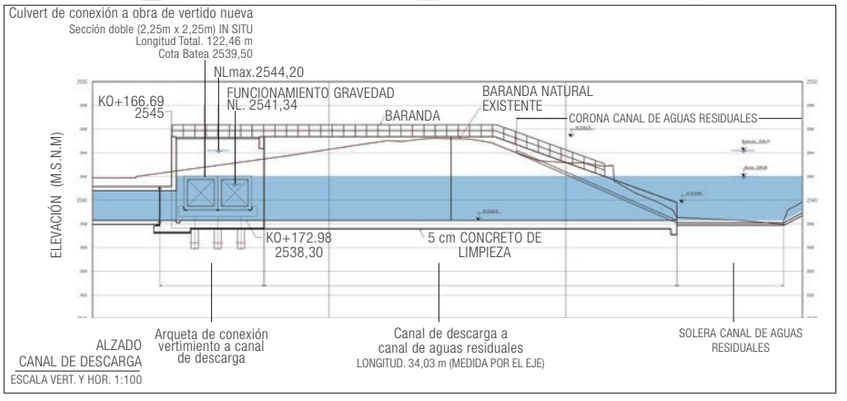


Figura 3. Alzado del canal de descarga.
CORTESÍA CONSORCIO EXPANSIÓN PTAR SALITRE – CEPS

Estructura de descarga al canal

La función de esta estructura es opuesta a la del canal de acceso, pues permite descargar las aguas tratadas provenientes de la arqueta de conexión, en la cual confluyen las aguas de fase 1 y de la fase 2 en construcción, al canal de aguas residuales que luego se conecta con el río Bogotá.

Consiste en una estructura de sección en U, de concreto reforzado, que varía geométricamente a lo largo de sus 34 m de longitud; tiene un canal de ancho interior variable de 7,8 m a 10,9 m y está conformada por un muro de altura variable desde 7,05 m a 1,50 m, como se muestra en las figuras 2 y 3.

La losa de cimentación tiene espesor de 0,7 m y los muros son de 0,6 m en toda su longitud. El tramo final de la estructura quedará dentro del canal de aguas residuales y una vez en servicio siempre estará inundada hasta la cota del nivel de aguas máximas.

Igual que la estructura de conexión, los elementos prefabricados deben cumplir las mismas especificaciones descritas en la tabla 1 Clases de exposición y en la Tabla 2 Resistencias y propiedades del concreto.

Ante las complicaciones de construcción y del manejo y tipo de aguas en el canal, se planteó la posibilidad de realizar la estructura con módulos o secciones

Noticreto

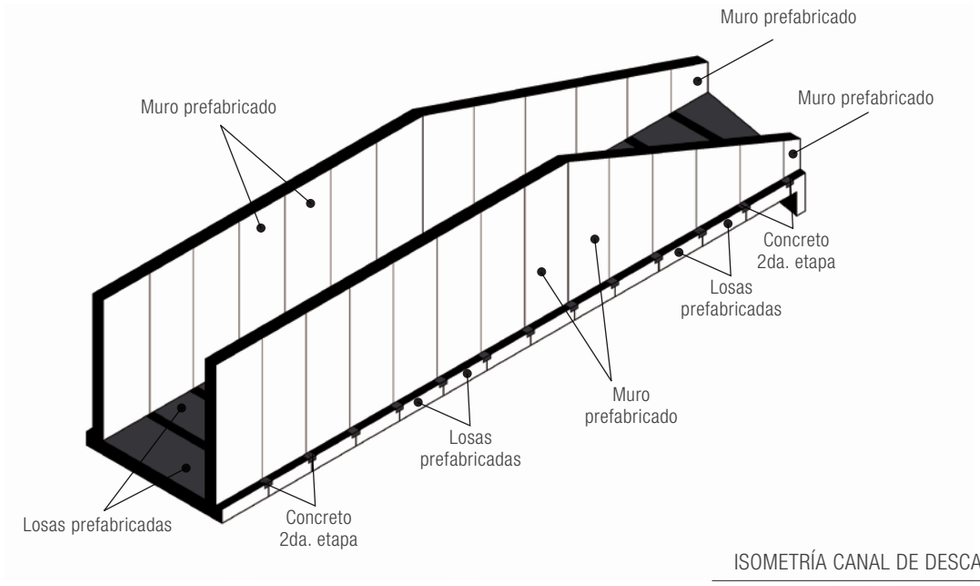


Figura 4. Modulación canal con elementos prefabricados.
CORTESÍA PREANSA - PREFABRICADOS ANDINOS COLOMBIA SAS.

de losas con peso promedio de 28,5 t y muros prefabricados de peso promedio de 20,5 t (ver figura 4).

Como ocurrió con la estructura de la nueva conexión PTAR, durante la ejecución de las obras de excavación, desvíos y demás labores para el inicio de la construcción, el sistema de prefabricados permitió fabricarlos en paralelo para luego transportarlos y realizar el montaje prácticamente al día siguiente de finalizar las obras de cimentación de las losas.

Para construir la totalidad de la estructura se plantearon dos etapas: la primera sin intervenir el canal de aguas residuales, durante la cual deberán quedar totalmente instalados los prefabricados y ejecutadas las juntas de todos los elementos antes de continuar, y construir luego un tapón dentro de la estructura instalada de tal manera que permita controlar eventuales emergencias por inundación hacia la obra, lo que permite ejecutar sin sobresaltos la etapa 2, en la cual se deben desviar y manejar las aguas tratadas y construir las obras provisionales de contención para realizar la cimentación y montaje de los prefabricados en su posición final dentro del canal.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Foto 7.Colocación de las losas.
CORTESÍA PREANSA - PREFABRICADOS ANDINOS COLOMBIA SAS.

Foto 6.Colocación de las losas en el canal de descarga (peso: 28,5 toneladas).
CORTESÍA PREANSA - PREFABRICADOS ANDINOS COLOMBIA SAS.

Foto 8.Colocación de muros prefabricados (peso: 20,5 toneladas).
CORTESÍA PREANSA - PREFABRICADOS ANDINOS COLOMBIA SAS.

Finalmente, se realizan las conexiones entre losas y muros de igual manera como se ejecutó entre losas, conformando una estructura monolítica que impida las filtraciones.

Foto 9. Fase 1 de ejecución del canal de descarga.
CORTESÍA CONSORCIO EXPANSIÓN PTAR SALITRE – CEPS.

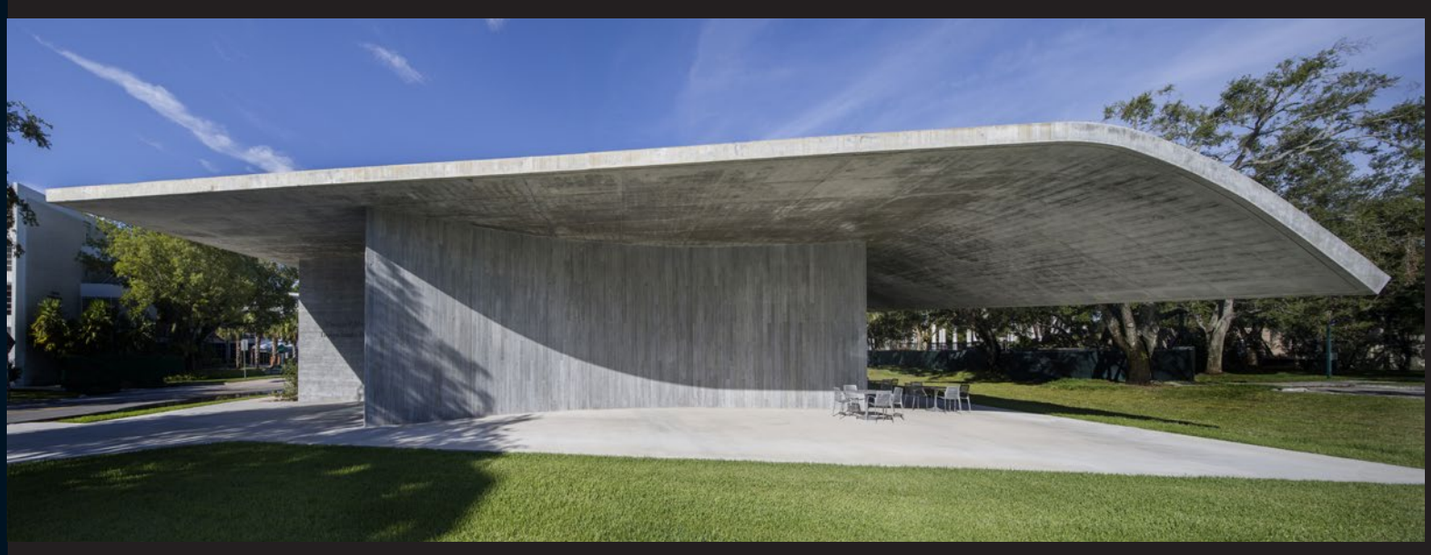
Foto 10. Intervención actual para ejecución de fase 2.
CORTESÍA: CONSORCIO EXPANSIÓN PTAR SALITRE – CEPS.

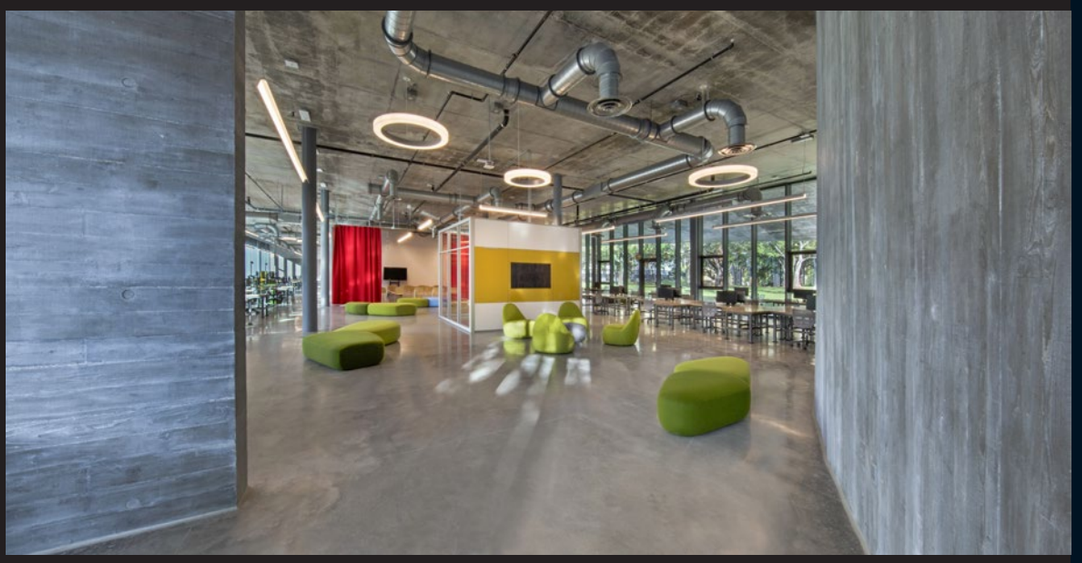
Conclusiones

El uso de los prefabricados en las estructuras de acceso o de conexión y en el canal de descarga de la PTAR El Salitre constituye una solución eficiente para el proceso constructivo, por el tamaño de las estructuras, por las dificultades en los sitios de construcción y la presencia constante de aguas residuales. Además, la posibilidad de producir en una planta de prefabricados mientras se realizan las obras previas se traduce en disminución en los plazos de la obra, lo que es una ventaja frente a métodos constructivos tradicionales, cuyos riesgos en la ejecución de este tipo de obras son muy altos.

Al ser producidos bajo control, los prefabricados garantizan las dimensiones y aseguran el cumplimiento de especificaciones, resistencias del concreto y recubrimiento del refuerzo exigidos por el proyecto.

noticreto
LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN





Edificio de estudio de diseño Thomas P. Murphy

Lugar: Miami, Estados Unidos
Año: 2018
Fotografías: Robin Hill Photography
Diseñador: Arquitectónica
Constructor: Coastal Construction

El edificio de estudio de diseño Thomas P. Murphy representa un diseño único y un espacio colaborativo de la facultad de arquitectura de la Universidad de Miami. Proporciona un espacio que apoya y promueve la pedagogía educativa mediante una estructura expuesta de vidrio y concreto como herramienta de enseñanza que ilustra los principios básicos de la arquitectura moderna, la construcción y la sostenibilidad.

El edificio es, en esencia, un cobertizo único de gran tamaño, con techo abovedado que proporciona una sensación de apertura y permite que la luz natural impregne el edificio. El diseño de los espacios sintetiza todos los aspectos de la pedagogía del siglo XXI en un todo convincente, empaquetándolos en una envoltura engañosamente simple de concreto delgado. El diseño, la orientación y los elementos estratégicos del edificio abordan los movimientos del sol y garantizan un entorno de trabajo sostenible incluso en los meses más calurosos. El techo de concreto se deforma sobre el punto más meridional del edificio para proteger el interior de la luz solar, proporcionar un sombreado efectivo sobre los frentes y configurar el desvío principal del diseño reflejando la plasticidad del concreto.

Patologías frecuentes en estructuras hidráulicas

Carlos Arcila López, DURALAB S.A.S.
Fotos: Cortesía Carlos Arcila López

Foto 1. Corrosión por ataque de cloruro gaseoso en la cara inferior de la losa de cubierta de un tanque de agua potable.

Se afirma que las obras hidráulicas son construcciones de ingeniería creadas por el ser humano para aprovechar los recursos hidráulicos y para evitar o controlar su acción destructiva. Esto pone de relieve que el agua encauzada y bien aprovechada reporta grandes beneficios a la humanidad pero que, cuando se sale de control, puede ser trágicamente dañina.

Cuando se habla de obras hidráulicas hay que referirse al agua, una sustancia con poderosas características no solo físicas (presión, humectación, permeabilidad) sino químicas (disolución, transporte de sustancias disueltas, difusión y combinación). Es un elemento indispensable, por ejemplo, en los procesos corrosivos, y sin ella no se daría la reactividad álcali-agregado.

Entre los tipos de obras hidráulicas podemos encontrar:

- Estructuras de contención: presas y tanques.
- Estructuras de regulación: diques, espolones.
- Estructuras de conducción: canales, tuberías, túneles.
- Estructuras de evacuación: vertederos, rebosaderos.
- Estructuras de toma de agua: bocatomas.
- Estructuras de disipación de energía: saltos de esquí, bafles, canaletas amortiguadoras, trampolines sumergidos, etc.
- Estructuras para disipar calor: torres enfriadoras de agua.

Las estructuras hidráulicas se construyen en general de concreto; sin embargo, hay estructuras hechas con tierra, enrocados, metal, etc. Se hará referencia a aquellas construidas con concreto simple o reforzado; ante la gran variedad, se abordará la problemática común y se presentarán ejemplos singulares de estructuras afectadas y rehabilitadas, cuyos tratamientos y soluciones pueden extenderse fácilmente a las demás.

El tema de este artículo es la patología y, por lo tanto, la rehabilitación de estructuras hidráulicas. Entonces, hay que empezar por enunciar los factores que promueven el deterioro del concreto, reforzado o no:

Corrosión del acero de refuerzo

Dos fenómenos conducen a la despasivación del acero de refuerzo en las estructuras de concreto: la carbonatación producida por el ataque del CO_2 del ambiente (corrosión uniforme) y el ingreso y acumulación de cloruros al nivel del refuerzo (corrosión por picado). En el primer caso, el paso del tiempo y una baja reserva alcalina, sumados a un recubrimiento escaso y de mala calidad, garantizan una pronta despasivación. Una vez despasivado el refuerzo, el ingreso de agua y oxígeno completarán el esquema de ingredientes necesarios para iniciar un proceso corrosivo.

No obstante, en estructuras hidráulicas, la cara del concreto permanentemente húmeda no se carbonata. Los espesores medidos en el interior de tanques no superan, por lo general, unos pocos milímetros. Es entonces la cara "seca" la que puede presentar mayores inconvenientes por carbonatación. Usar una barrera de CO_2 como recubrimiento para impedir el paso de CO_2 puede constituirse en un elemento que extienda la durabilidad de la estructura.

Cuando se trata de cloruros las condiciones son diferentes por su acción agresiva y porque, al contrario de la carbonatación, aquí la sal ya ha entrado acompañada de agua, lo que facilita el desarrollo del proceso corrosivo.

Un concreto de baja relación agua/material cementante, la inclusión de adiciones puzolánicas reactivas como ceniza volante, escoria de alto horno, humo de sílice, metacaolín, etc., que refinan la red de poros, sumada a la protección de la superficie con resinas epóxicas, pueden configurar el esquema de protección adecuado contra el ataque de cloruros.

En la actualidad se presenta una situación común en la losa de techo de los tanques para almacenar agua potable tanto en las grandes estructuras urbanas como en los pequeños tanques de las agrupaciones residenciales (ver foto 1). El cloro gaseoso, que se desprende del compuesto usado para potabilizar el agua, penetra la cara inferior de la losa de cubierta y genera corrosión, en especial en losas con concreto de baja resistencia y poco espesor de recubrimiento.

Porosidad

En primer lugar, hay que recordar que el concreto es un material poroso por naturaleza; el exceso de agua de amasado y el no uso de aditivos reductores de agua o de plastificantes para dar manejabilidad, llevan a que en la mezcla se duplique el volumen de agua requerido para hidratar el cemento. Este exceso de agua, al evaporarse, deja cierto porcentaje de poros en la matriz del concreto que se convierten en caminos expeditos para el ingreso de agresores o para la salida del líquido almacenado.

De igual manera, la falta de compactación adecuada del concreto genera macroporos que contribuyen a incrementar la porosidad. Un curado defectuoso produce un recubrimiento poroso y débil, especialmente cuando el concreto se elabora con cementos adicionados.

Foto 2. Porosidad en el núcleo del concreto.

Fisuración

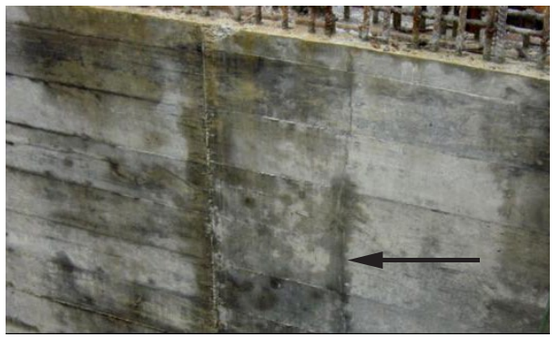
Tanto en las obras como en el gremio constructor es común la frase: "tanque que no se fisure, no es tanque" y en el medio se toma como una realidad inobjetable. Pueden exhibirse tres razones poderosas que casi garantizan la aparición de fisuras pasantes;

la primera, un defectuoso diseño estructural; es muy raro que una vez terminado el diseño se verifique si el refuerzo existente es suficiente para controlar la fisuración. Esto supone, generalmente, refuerzo adicional en la dirección longitudinal del tanque pero, si es necesario, hay que ponerlo o alistarse para el posterior sello de fisuras. La segunda razón: no se diseñan juntas de contracción o se construyen mal por falta de especificación adecuada. Hay que recordar que el concreto se contrae por secado del agua libre de la mezcla (la carbonatación deseca un poco más) y si no existen juntas que den un respiro al material al contraerse, el resultado es una fisura cada 4 ó 5 m. La tercera razón es la restricción al movimiento; al contraerse, el concreto trata de fisurar en aquellos sitios donde el terreno o la misma armadura genera retenciones, por lo cual las juntas deben atravesar toda la sección.

↑ Foto 3. Fisuración del concreto común en tanques de agua.

La contracción térmica inicial (antes mal conocida como contracción de fraguado) es otra fuente de fisuras, que en este caso pueden ser de gran tamaño y de manejo complicado. Se trata de la generación de un gradiente térmico en obras masivas. El concreto es mal conductor del calor, por lo que el equilibrio térmico puede durar desde días hasta muchos años en establecerse, como ocurre en las presas. Un pico de temperatura interna muy alto (que se da generalmente entre el primer y el tercer día después de vaciado el concreto) y una temperatura externa muy baja pueden dar lugar a un choque térmico que cause tensiones capaces de fisurar el concreto. De ahí que, en concretos masivos, un adecuado estudio –modelos, pruebas con el concreto a usar en cubos de 1 m^3 con termopares instalados a varias profundidades, uso de puzolanas como reemplazo de cemento, enfriamiento de los materiales, entre otros– es la única manera de evitar el fisuramiento por esta causa. El ingeniero estructural del proyecto puede ayudar mucho en la tarea de bajar el pico máximo de temperatura especificando la edad de evaluación de la resistencia de diseño a 56 ó 90 días.

→ Foto 4. Fisuración de muros de tanque de agua potable por falta de juntas de contracción.



Los movimientos del terreno y asentamientos diferenciales también pueden generar fisuración en estructuras de contención de agua.

Erosión y cavitación

Las estructuras hidráulicas están expuestas a la acción de agua en movimiento que, combinada con sólidos (arenas, agregado rodado), va desgastando la superficie hasta dejar expuesto el acero de refuerzo. La cavitación se manifiesta como burbujas de aire que atacan con gran potencia la superficie del concreto debido a subpresiones, produciendo lesiones en la superficie que el mismo flujo va agravando.

↑ Foto 5. Pérdida de recubrimiento por abrasión.

Ataque químico

Las estructuras hidráulicas están expuestas a aguas con diversas composiciones. Pueden verse afectadas por aguas de origen marino, donde el ataque de cloruros corroe el refuerzo. En plantas de tratamiento

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

de agua, los sulfatos (usados en el proceso) dañan el concreto y generan fisuración, desconchamientos y pérdida de resistencia.

En tanques de agua para consumo humano queda con muy poco residuo insoluble una vez que el líquido completa su proceso de filtrado y potabilización; es decir, no contiene sustancias que calmen su avidez por ciertos compuestos, particularmente cálcicos, que sí abundan en el cemento. Por esta razón no es extraño que al inspeccionar estas estructuras se encuentren como si hubieran sido abujardadas. Han perdido un buen espesor de recubrimiento debido a que el agua "pura" ha carcomido el cemento. La adición de puzolanas reactivas al cemento puede ayudar a mitigar este defecto.

Las aguas blandas han generado problemas gravísimos aun en obras recién construidas, dado que se pierden espesores importantes de recubrimiento a través del ataque de estas aguas al cemento de la estructura, lo que obliga a costosas rehabilitaciones de estructuras con "garantía" vigente. Esto supone una señal de alerta: sin excusa, los diseños deben ser integrales e incluir el estudio y análisis de la composición química del líquido a contener, por parte de expertos en el tema.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Fotos 6 y 7. Ataque al concreto por aguas blandas.

Por supuesto, en tanques industriales (en la fabricación de papel, por ejemplo) el deterioro del concreto es grave debido a los químicos que se usan en el proceso. Siempre debe investigarse el tipo de sustancias que va a contener el efluente del proceso productivo para formular, durante la etapa de diseño, las especificaciones de concreto, juntas, sellos de juntas y de recubrimientos especiales a fin de enfrentar el ataque y evitar costosas paradas de la secuencia industrial; la labor de rehabilitación es siempre compleja, más aún cuando es imposible detener el proceso.

No solo se puede crear un diseño de mezcla probado para enfrentar el ataque: hoy en día existe gran variedad de recubrimientos y membranas que pueden enfrentar el ataque con solvencia técnica y económica, cuyo uso puede representar un ahorro enorme para una industria, no solo en tiempo sino en dinero.

En las plantas de tratamiento de agua, los tanques cuyas paredes interiores carecen de un concreto liso y resistente mecánica y químicamente, conduce a gastos cuantiosos por las operaciones de lavado y remoción de lodos que se incrustan en los poros superficiales del concreto.

Ataque químico por deficiente aireación

Si se construye un tanque de aguas residuales muy sellado –provengan ellas de procesos industriales o sean simplemente aguas negras, o una combinación de ambas– sin respiraderos o sin un sistema de aireación mecánico, el desprendimiento de vapores y gases del agua retenida, en ausencia de oxígeno (proceso anaerobio) produce ácido sulfhídrico (H_2S solución acuosa) que ataca severamente la pasta de cemento provocando la pérdida del recubrimiento y corroyendo el acero de refuerzo.

Foto 8. Concreto deteriorado y corrosión del refuerzo por falta de aireación en un tanque de aguas residuales.

La solución más práctica es dotar de un sistema de aireación eficiente al tanque, cuando es posible o, de otra manera, no encapsular el agua residual. En Ciudad de México, por ejemplo, se teme a una posible falla masiva estructural de las antiguas tuberías del alcantarillado que ya empiezan a hundir vías a causa de este fenómeno.

Vale la pena anotar que las aguas negras no suelen deteriorar el concreto en estructuras donde la superficie del agua está al aire libre o donde hay gran ventilación. No es extraño que en algunos casos se opte por encerrar el agua residual para evitar los olores desagradables, sin considerar el daño que puede causar a la estructura. Cuando es inevitable el encapsulamiento, debe recubrirse la superficie interna, en la zona donde termina el nivel del agua, unos 20 cm por debajo de este nivel, con productos o sistemas que soporten ataque ácido.

Ataque por reactividad álcali-agregado

No es un secreto que el suministro de agregado no reactivo es cada vez más complicado en nuestro medio: las licencias de explotación de fuentes de agregados son cada vez más difíciles de obtener y una orografía donde abundan los minerales potencialmente reactivos no ayuda en este caso. Colombia tiene problemas causados por agregados con sílice amorfa o con carbonatos y por alta alcalinidad de las mezclas de concreto en presencia de agua. Esta reacción es expansiva y complicada de controlar una vez se presenta.

En algunos proyectos es económicamente inviable cambiar la fuente de agregado, aunque sea potencialmente reactivo. Entonces suele diseñarse una mezcla con cementante que contenga una adición que consuma buena proporción de hidróxido de calcio para dejar sin mucha reserva alcalina al concreto, se impermeabiliza apropiadamente la estructura, se usa una mezcla apropiada de agregados reactivos y no reactivos, se reduce el tamaño máximo del agregado potencialmente reactivo y se utilizan aditivos de litio que ayudan a controlar en cierto grado el fenómeno.

Una recomendación sana para estructuras de edificaciones cuya cimentación va a estar sometida permanentemente a la acción del agua freática es el uso de productos asfálticos modificados como recubrimiento superficial antes de rellenar con el suelo. Esta acción, combinada con un buen aislamiento de la cimentación por su cara inferior antes de colocar el concreto, ayuda en gran manera y a costo ínfimo a controlar el posible desarrollo del problema; esta solución se combina con adiciones puzolánicas en la mezcla del concreto. Además de ser una buena práctica, esta podría ser una especificación generalizada de diseño y construcción de cimentaciones en el país.

La rehabilitación de una obra que ha sufrido ataque por reactividad álcali-agregado (RAA) es dispendiosa y tiene alto costo, pero es factible si el fenómeno se detecta a tiempo. Sin embargo, cuando la estructura está bajo tierra y no es factible hacer control visual de su estado, el problema puede ser complejo porque no se sabe qué puede estar ocurriendo.

Ataque por sulfatos

Es muy poco frecuente el ataque por sulfatos a las estructuras hidráulicas en suelos donde no existe yeso. El agua de mar no contiene sulfatos en proporción que puedan agredir el concreto. Son los cloruros lo que hay que controlar en estructuras marinas. Anteriormente era un error usar cemento tipos II o V en estructuras marinas, pues se reducía el contenido de aluminato tricálcico (C_3A), único compuesto capaz de fijar cloruros cuando ingresan al concreto. Esta acción se encaminaba a imprimir en la mezcla resistencia a los sulfatos, cuando el verdadero problema son los cloruros. Hoy en día, cuando el diseño de cementos resistentes a sulfatos pasa por la incorporación de adiciones reactivas al cementante (efecto diluyente del contenido de C_3A) no hay tal problema, pues al refinar la red de poros se impide el ingreso de cualquiera de los dos compuestos: sulfatos o cloruros. Claro está, la opción debe combinarse con un diseño de mezcla donde haya un contenido de cemento mínimo de 350 kg/m³, la relación agua/material cementante sea inferior a 0,4 y se cure apropiadamente la estructura.

Por supuesto, en las industrias donde el efluente del proceso contiene sulfatos, o los contiene el tanque (en las plantas de tratamiento de agua potable, por ejemplo), debe usarse un concreto impermeable, y es mandatorio recubrir las superficies en contacto con el agua con un producto epóxico o instalar una membrana impermeable en el interior del tanque para aislar el concreto del agua con sulfatos, una opción que también funciona bien con aguas ácidas.

Conclusión

Las lesiones patológicas en estructuras hidráulicas son diversas. El solo hecho de tener que lidiar con la permeabilidad de la estructura ya es suficiente para entender la frecuencia de esos fenómenos. En nuestro medio hay una infortunada práctica recurrente, que es la falta de un diseño integral en los proyectos. Es clave que el diseñador de estructuras hidráulicas sea consciente de la necesidad de trabajar en equipo con especialistas en materiales y que entienda el aspecto químico del proyecto. Esa colaboración debe darse en la fase de proyecto, no durante la construcción y mucho menos cuando está hecha la estructura, pues el costo de materiales y de mano de obra aumenta exponencialmente según el momento en que se tenga que llevar a cabo la protección. (ver Ley de Sitter).

noticreto LA REVISTA DE LA TECNICA Y LA CONSTRUCCION

La durabilidad a la erosión del concreto en obras hidráulicas

Juan Fernando Arango Londoño, Alion

Por su gran versatilidad, **el concreto es ideal** para la construcción de obras hidráulicas, marítimas o fluviales y su durabilidad se puede aumentar diseñando la mezcla por **el método de verificación** del desempeño, lo que permite seleccionar los **materiales** adecuados para la mezcla.

Foto 1. Construcción de un ducto presurizado en concreto.
CORTESÍA JUAN FERNANDO ARANGO LONDOÑO

LA REVISTA DE LA TECNICA Y LA CONSTRUCCION

La versatilidad del concreto es ampliamente reconocida y en el caso de las estructuras hidráulicas es muy valorada, no solo por su resistencia, sino por la relativa facilidad para lograr geometrías complejas que permitan conducir de forma eficiente el agua, como ocurre en el caso de las losas de canalización, tanques, vertederos, azudes, canales de aproximación, transiciones de geometrías, tuberías o captaciones, entre otros elementos. Por otra parte, el agua suele contener agentes que potencialmente pueden atacar los materiales, y el concreto, correctamente diseñado, permite una vida de servicio prolongada.

Factores que generan erosión

La capacidad del agua para disolver diferentes sustancias químicas, o de transportar materiales, hace que, en general, las obras de ingeniería ambiental sean más exigentes en la especificación y diseño de las mezclas de concreto, respecto de las obras de edificación. Por ejemplo, cuando transporta compuestos químicos, un caso crítico son las aguas residuales las cuales suelen presentar contenidos importantes de factores de ataque, como son los cloruros, sulfatos, amoniaco y nitratos, o presentar cambios de acidez o basicidad (pH). Algunos de esos ataques producen disgregación de la superficie del concreto, generando la pérdida de suavidad para el paso del agua y convirtiéndose en un primer factor que modifica la rugosidad. Una mezcla de concreto se puede diseñar para estas condiciones de exposición por métodos prescriptivos o mediante la verificación del desempeño, siendo el último método el más recomendable al medir directamente el comportamiento ante cada condición de ataque.

Además, el agua puede transportar partículas de diferente dureza y tamaño, bien sea en suspensión o mediante arrastre, las cuales interactúan con el concreto aumentando también la rugosidad. Así, la fricción entre el flujo del agua y las estructuras de concreto, con o sin el arrastre de material particulado es un segundo grupo de factores que afectan potencialmente la vida de servicio de las obras hidráulicas. De hecho, cada vez más se reserva el término erosión para designar ese fenómeno, en contraposición a la abrasión que se suele limitar a describir la fricción en seco. La diferenciación de términos cobra sentido cuando se observa que los mecanismos que explican el proceso de deterioro, la forma de prevenirlo y la manera de realizar el diseño y valoración del desempeño, son distintos.

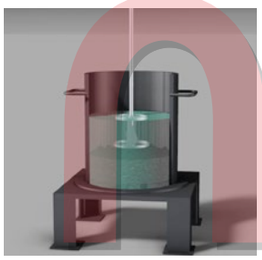
Finalmente, hay un tercer factor que modifica la rugosidad del concreto de las estructuras hidráulicas. Cuando la velocidad del agua es alta disminuye la presión en el fluido, lo que puede llevar a que localmente pase a una fase de vapor. Cuando vuelve a aumentar la presión, las burbujas colapsan generando una onda de choque que puede demoler los materiales. Este fenómeno es conocido como cavitación, que es otra forma de erosión.

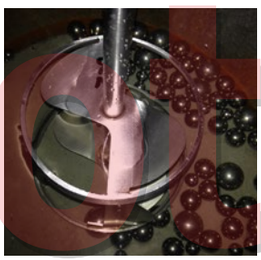
Concretos durables, resistentes a la erosión

Contrario a lo que se podría pensar, no es usual encontrar requisitos prescriptivos que permitan asegurar un buen desempeño del concreto a la erosión. Generalmente se tiende a pensar que ello se logra con una elevada resistencia a la compresión del concreto, disminuyendo la relación agua a material cementante, implementando el uso de fibras o la combinación de las anteriores. En último caso, se recurre a realizar procesos complicados y costosos de colocación de recubrimientos, como pueden ser los blindajes, que se hacen anclando una lámina de acero en el concreto y que en algunas ocasiones genera daños como desprendimientos u oxidación. La mejor solución debe ser verificar directamente el desempeño a la erosión de la mezcla de concreto e implementar estrategias complementarias de diseño, tales como mitigar la retracción del concreto, el correcto detallado del acero en relación con su ubicación, cantidad y recubrimiento, y una adecuada concepción y diseño de juntas.

Se han propuesto diferentes métodos para verificar la resistencia a la abrasión del concreto. Pero el más aceptado en el momento es el que fue propuesto por Liu

en la década de los años 1930 y que hoy se encuentra descrito en la norma ASTM C1138-19[1] con algunas modificaciones. De alguna forma, es similar a un ensayo de la Máquina de los Ángeles, pero aplicado al concreto y con agua. Como todo método de verificación del desempeño, la prueba se puede calificar como agresiva para poder obtener información en un corto tiempo. Así, este método consiste en formar especímenes con la mezcla que se quiere evaluar, o bien, tomar muestras de concreto en servicio que son obtenidas mediante corte y pulido. Las muestras se someten a la acción de una carga erosiva de bolas de acero al cromo, que son arrastradas por el agua en el equipo durante 72 h, como se muestra en la foto 2. El agua es movida por un agitador que gira a 1200 rpm, generando una velocidad en el agua de 2,8 a 3,0 m/s, cuantificada en el borde exterior de la muestra del concreto, con lo cual se asegura que no ocurra cavitación. Durante el ensayo, se realizan medidas intermedias de pérdida de masa, cada 12 h, donde además se cambia el agua y se limpian los residuos. De esta forma, este método entrega información de la habilidad que tiene el concreto para resistir erosión causada por el arrastre de sólidos.





Fotos 2 y 3. Configuración del equipo de erosión ASTM C1138-19.
CORTESÍA LABORATORIO DE MATERIALES PARA INFRAESTRUCTURA CORONA®

La apariencia típica de las muestras una vez realizado el ensayo se muestra en la foto 3. Como la velocidad de arrastre es mayor en el borde, y las bolas se agrupan en esa zona, a partir de allí es donde se presentará mayor erosión; mientras que, en el centro, donde la velocidad del agua es nula y no estarán presentes las cargas erosivas, no se produce ningún tipo de pérdida de material. Por otra parte, el proceso de erosión en este ensayo replica bastante bien lo que ocurre en un concreto en una obra hidráulica, ya que las cargas abrasivas actúan de dos formas complementarias que también se encuentran presentes en el ensayo: una que se asocia con la dureza de los componentes del concreto y otra que guarda relación con la habilidad para soportar los impactos directos de las partículas que son arrastradas.

Foto 4. Apariencia de los especímenes luego del ensayo de erosión.
CORTESÍA LABORATORIO DE MATERIALES PARA INFRAESTRUCTURA CORONA®

1 Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method) / Método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión del concreto (método subacuático).

Para la selección y diseño una mezcla con alta durabilidad a la erosión para un proyecto se utilizó en la mezcla de concreto metacaolín de alta reactividad, de producción local, dosificado en diferentes niveles. Todas las mezclas tenían las mismas características, es decir, igual cantidad de cementantes, de relación agua-material cementante (a/c), agregados y asentamiento. Además, con propósitos de investigación, también se le dio la forma a un espécimen hecho con la misma roca de la cual se obtuvieron los agregados para las mezclas. Con ello se pudo encontrar que el contenido óptimo de adición para aumentar la resistencia a la erosión de esa mezcla particular estaba entre el 12% y el 20% de metacaolín de alta reactividad respecto al cemento, logrando cerca de 9 veces más habilidad para resistir la erosión.

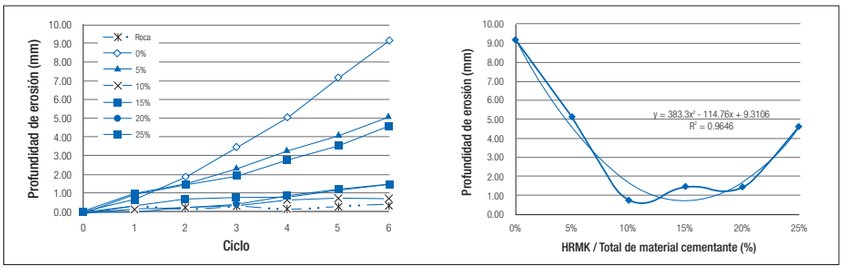


Figura 1. Resultado típico de un ensayo de erosión ASTM C1138. En esta mezcla, existe una cantidad óptima de metacaolín de alta reactividad para lograr la máxima resistencia a la erosión, llegando a ser similar al de la roca usada para fabricar los agregados del concreto.
CORTESÍA JUAN FERNANDO ARANGO LONDOÑO

Sin embargo, en pruebas similares, en otros proyectos, no fue posible encontrar un diseño de mezcla que entregara mayor resistencia a la erosión. En uno de los casos estuvo limitada por la baja resistencia a la erosión de los agregados, es decir, aunque la pasta y el mortero del concreto tuvieran un desempeño superior, la baja capacidad del agregado impedía aumentar la resistencia a la erosión del concreto. Y en otro caso, el uso de fibras metálicas resultó en un aumento en la erosión de los especímenes.

Como se explicaba anteriormente, la resistencia a la erosión de un concreto depende de múltiples factores y por tanto no es del todo adecuado guiarse por fórmulas generales de especificación basadas en la resistencia a la compresión o la relación a/mc.

Se puede resumir que la relación entre algunas características del concreto y la resistencia a la erosión en el concreto para una estructura hidráulica son:

- Resistencia a la compresión, tracción indirecta o módulo de rotura, permeabilidad y resistencia a la abrasión en seco en concretos de más de 28 MPa: no se ha encontrado una relación directa de estas propiedades con la resistencia a la erosión.
- Resistencia a la erosión del agregado: agregados con minerales blandos y esquistos, filitas o pizarras pueden presentar mayor erosión por el agregado.
- Tipo de cementante complementario (puzolana): modifica las características de la zona de transición de fases (ITZ) en relación con su composición, textura y ancho de fisura. Igualmente, modifica la composición de fases en la pasta (portlandita, tobermorita, entre otras). Unas aumentan la resistencia a la erosión, mientras que otras la deterioran, especialmente aquellas que tienen presencia de inquemados de carbón.
- Fibras metálicas y elementos de alta dureza que queden expuestos al flujo: pueden crear un efecto de desviación del agua y de las cargas erosivas, que terminan aumentando localmente la erosión del concreto.
- Posición de las barras de acero de refuerzo respecto al flujo: modifican los patrones de las fisuras de reflejo. Es ideal que queden paralelas al flujo y no transversales a este.
- Ubicación de las juntas de vaciado.

Así, cuando se desea aumentar la resistencia a la erosión de una obra hidráulica, se pueden realizar diseños de mezclas, con verificación de desempeño, que aseguren la mejor elección en un proyecto, aumentando la vida útil y disminuyendo la intensidad del mantenimiento.

La bibliografía de este artículo la podrá encontrar en la versión virtual de Noticreto edición 158 en www.asocreto.org.co

El río que se sacó de Valencia, España

Sonia Rodríguez Valenzuela, Applus+ Laboratories

Foto 1. Río Turia.
FLICKR – LUNES AL SOL

noticreto

La ciudad española de Valencia se conoce cariñosamente como "la perla del Turia" o "la capital del Turia", como la llaman numerosas canciones populares. Sin embargo, lo sorprendente es que el río Turia ya no pasa por la ciudad, pues fue retirado de ella para evitar las históricas riadas o inundaciones que en diversas ocasiones destrozaron la urbe.

El Turia es un típico río mediterráneo, con grandes diferencias de caudal según las épocas del año. Los aportes hídricos se producen especialmente por torrentes y arroyos originados en los deshielos de la zona de su nacimiento y por las intensas tormentas que se producen en su cuenca hidrográfica. Por todo ello no hay un caudal homogéneo, y en consecuencia, controlado a lo largo del año.

En octubre de 1957 ocurrió la última gran riada en Valencia, que motivó la obra faraónica materia de este artículo. Fue catastrófica, con lluvias de 500 litros por metro cuadrado, que provocaron un caudal de 3.700 m3/s y dejaron a la ciudad bajo un millón de toneladas de barro. En Valencia apenas había llovido, pero aguas arriba hacía más de 30 horas que diluviaba. En esos días las comunicaciones no eran tan inmediatas como en la actualidad y, adicionalmente, la tragedia sucedió en la noche y dejó como resultado la muerte de 81 personas.

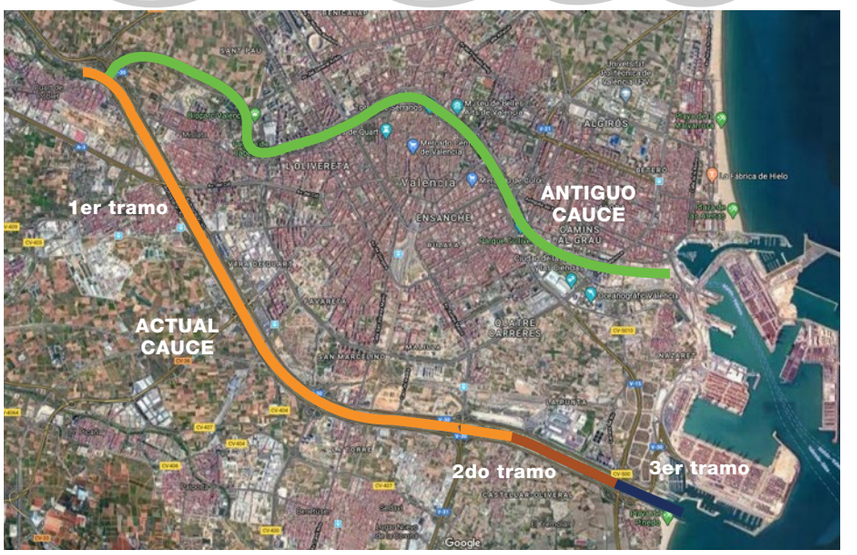


Foto 2. Antiguo y actual cauce del río Turia.
ADAPTADO DE GOOGLE EARTH

Tras este acontecimiento, el gobierno decidió elaborar un plan de acción para evitar los daños por avenidas y se elaboraron tres posibles soluciones: Norte, Centro y Sur. La primera suponía el desvío del río hacia el Norte uniéndolo al cauce denominado Carraixet para evitar la entrada a la zona urbana. La segunda significaba mejorar el trazado urbano existente junto con la construcción de un embalse en la población de

Vilamarxant; y la tercera, la Solución Sur, la más costosa y colosal, consistía en excavar un nuevo trazado rodeando la ciudad por el costado sur, desde Quart de Poblet hasta Pinedo, donde el río descarga en el Mediterráneo, cruzando la zona hortofrutícola de Valencia. La solución Centro fue descartada desde el inicio debido a que luego del desastre, los valencianos solo aceptarían que se sacara el río de la ciudad.

Finalmente se eligió la solución Sur, que pasó a llamarse "Plan Sur" y que dio lugar a un colector de doce kilómetros de trazado que lleva al Turia a desembocar en el mar Mediterráneo por fuera del casco urbano de Valencia. Las obras singulares se recogen en el folleto informativo de la Confederación Hidrográfica del Júcar en 1970, con toda la información técnica de los trabajos que se realizaron a partir de 1958 y que oficialmente se terminaron en 1969, aunque posteriormente han tenido mejoras. Esta obra fue financiada mediante la creación de un impuesto en los sellos de correo postal para que todos los españoles colaboraran.

El nuevo cauce tiene dos obras hidráulicas singulares: el azud del Repartiment en su origen, construido para repartir las aguas a las acequias de la Vega de Valencia cuyas tomas quedaron en el viejo cauce, ahora seco, y el azud de Chirivella, construido para hacer perder cota al trazado del cauce y evitar que la circulación del agua entrara en turbulencia y erosionara el lecho.

Para asegurar la conectividad, inicialmente se construyeron diez puentes, tres de ellos de ferrocarril y siete viales. Posteriormente se añadieron cinco nuevos puentes para dar fluidez a las nuevas autopistas y facilitar el paso de la línea ferroviaria de alta velocidad (AVE) Madrid-Valencia; en la actualidad son 16 pasos en total.

Además, existen pasos subterráneos bajo el cauce, acometidas de agua potable, colectores y conducciones de aguas, además de una línea del Metro de Valencia también bajo tierra, entre dos estaciones.

El nuevo cauce tiene longitud de 11.868 m, con capacidad nominal de 5.000 m^3/s, por lo que presumiblemente no se desbordaría ante una riada similar a la de 1957.

El canal tiene un recubrimiento lateral de concreto en toda su longitud y tres tramos bien definidos, con perfiles diferentes, como se observa en la foto 2.

1. **Primer tramo:** desde Quart de Poblet hasta el Azud de Chirivella.
   - Longitud 3.159 m.
   - Ancho 175 m.
   - Profundidad 7,5 m.
   - Pendiente 0,001.
   - Revestimiento lateral de concreto con talud 2/1.
   - Defensa escollera fondo 10.
2. **Segundo tramo:** desde el Azud de Chirivella hasta puente Pista de Silla.
   - Longitud 5.641 m.
   - Ancho 175 m.
   - Profundidad 6,1 m.
   - Pendiente 0,0034.
   - Revestimiento lateral de concreto con talud 2/1.
   - Defensa escollera fondo total.
3. **Tercer tramo:** desde puente Pista de Silla hasta el mar Mediterráneo.
   - Longitud 3.068 m.
   - Ancho 200 m.
   - Profundidad variable.
   - Pendiente 0,001.
   - Revestimiento lateral de escollera con talud 4/1.
   - Defensa escollera fondo 10 m.

En la década de 1980 muchos ciudadanos alzaron la voz para que el río volviera a discurrir por la ciudad y la comunidad pudiera disfrutarlo, pero se decidió mantenerlo afuera. El antiguo cauce se aprovecha de un modo particular e increíble: en la actualidad es el mayor jardín de la ciudad, tiene zonas deportivas y su tramo culmina en la majestuosa Ciudad de las Artes y las Ciencias diseñada por el arquitecto valenciano Santiago Calatrava.

Foto 3. Jardín del Turia llegando a la Ciudad de las Artes y las Ciencias.
FLICKR - BAS LEENDERS

A inicios de 2019, el Ayuntamiento de Valencia presentó un proyecto para humanizar el nuevo cauce del río, manteniendo la seguridad pero haciendo que los valencianos y turistas lo disfruten. Habrá que esperar para ver la siguiente obra colosal de un río en Valencia, aunque se trate de un río artificial.

Bibliografía:

- https://www.lasprovincias.es/comunitat/riada-valencia-1957-20171014171822-nt.html
- https://valenciaplaza.com/valencia-quiere-volver-a-tener-rio-asi-es-el-proyecto-para-el-nuevo-cauce

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Radar de Penetración Terrestre (GPR):

Detección e identificación de tuberías

Sandra Reinaguerra
Laboratorio del Concreto, Asocreto.

Fotos: Archivo Asocreto.

Foto 1. Radar de penetración terrestre (GPR).

El Radar de Penetración Terrestre (GPR, por su sigla en inglés) es una herramienta que utiliza la emisión y rebote de ondas electromagnéticas para detectar e identificar materiales que pueden estar en el subsuelo natural o modificado, o en construcciones de diversa índole. Cuando se planea intervenir infraestructuras existentes y no se conoce lo que puede existir bajo el suelo o en el interior de una estructura, el GPR puede ser de gran utilidad: por ejemplo, para detectar tuberías e incluso identificar si se trata de conducciones de agua, eléctricas y, con alguna información adicional, si son de gases.

Existen equipos GPR de diferentes alcances en profundidad de exploración, que van de los 40 cm hasta 4 m, incluso hasta 6 m. La profundidad de alcance depende de la respuesta en términos de conductividad del material que se está analizando. El equipo es capaz de entregar información valiosa y exacta acerca de lo que puede haber en diversos sustratos, especialmente por el rebote de la onda cuando pasa de un material a otro. Sin embargo, a mayor profundidad de exploración, más se afecta el grado de detalle alcanzable.

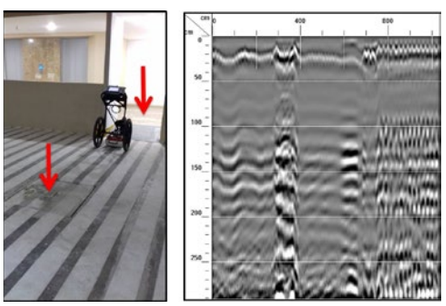


Foto 2. GPR – Inicialmente se traza el esquema de trabajo que deberá seguir el equipo, el cual mediante una antena de profundidad trabajará de forma vertical a medida que el equipo se desplaza horizontalmente, generando un resultado en pantalla que representa la información obtenida debajo de la estructura evaluada en el tramo recorrido.

Un aspecto a tener en cuenta cuando se elige esta opción de exploración es conocer con claridad el alcance y el tipo de imágenes que se obtienen con estos equipos, pues algunos usuarios esperan obtener imágenes de claridad similar a un plano, que reproduzcan con gran detalle lo encontrado. Sin embargo, la información que se obtiene está basada en las características dieléctricas de los materiales presentes, que permiten construir modelos de velocidad de onda electromagnética y exigen que un experto interprete los hallazgos.

El éxito de estas identificaciones se basa en la capacidad de interpretación de las ondas, sus longitudes y amplitudes, como también en la metodología con que se recorre el terreno y en la buena trazabilidad de las imágenes captadas, pues el posicionamiento del equipo en el momento de las lecturas es lo que permite que la lectura se ajuste a la realidad. Por lo mismo, tanto el operador del GPR en campo como quien interpreta la información deben tener las competencias necesarias para este trabajo especializado.

La adecuada planificación de la exploración y la aplicación de una metodología de recorrido de la estructura permiten identificar tuberías y predecir sus contenidos. El éxito en el trabajo depende de los registros y controles en la toma de la información y la trazabilidad, además de la creación de los archivos que quedan guardados en el equipo (ver foto 3). Otro aspecto a tener en cuenta es la revisión previa de la configuración para determinar el grado de resolución y la correcta caracterización de los materiales de la zona en estudio; esto se logra efectuando una calibración con varios perfiles y variando la constante dieléctrica, el número de muestreos, los rangos y los filtros.

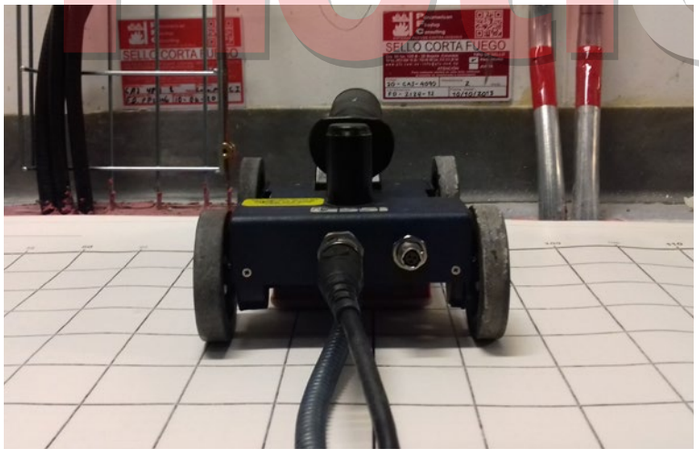


Foto 3. Equipo GPR sobre la cuadrícula de trabajo que establecerá los ejes de trabajo del equipo, los cuales se definirán de acuerdo al elemento y evaluación que se desee realizar.

Algunas circunstancias pueden impedir la posibilidad de lectura del equipo, entre ellas:

- Presencia de agua sobre la superficie de lectura.
- Planicidad de la superficie de lectura: es necesario contar con una superficie medianamente plana, debido a que se requiere acercarse lo máximo posible de la superficie para obtener la mayor precisión; las irregularidades en el terreno aumentan la incertidumbre del resultado.

Foto 4. GPR - Antena de pequeño tamaño, manual y de fácil acceso.

- Existen materiales de acabado –entre ellos algunos porcelanatos– cuya baja capacidad conductora bloquea la posibilidad de lectura y para realizar el trabajo deben ser retirados.
- Las lluvias y las tormentas impiden operación, dado que la naturaleza del equipo atrae las descargas eléctricas.
- El equipo GPR cuenta con autonomía de operación por baterías y, dependiendo de la duración del trabajo, debe disponerse de una fuente de energía para recargarlas.
- La geometría del equipo podría ser, en algunos casos, un impedimento para acceder a ciertos lugares. Por lo mismo se recomienda, dependiendo de la dimensión y los objetivos del trabajo, realizar una visita previa al lugar donde se realizará la identificación de las tuberías para determinar la operatividad del equipo y verificar que los accesos al sitio de evaluación sean apropiados, lo que permite resolver con anticipación las dificultades operativas.

El trabajo de interpretación del resultado para obtener las conclusiones en la identificación y trazado de tuberías, la profundidad en que se encuentran, el diámetro y el posible contenido, lo realiza un técnico especializado que con su experiencia determina mediante un software los parámetros a partir de la frecuencia y amplitud de la onda de rebote.

En muchos casos donde no hay certeza sobre la localización de tuberías, el GPR es una herramienta que resuelve estos problemas identificando ductos enterrados, recubiertos por pavimentos o embebidos en construcciones de concreto.

Foto 5. Recorrido con el GPR para detección de tuberías bajo el pavimento.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Arte, consenso y río

Néstor Guillermo Franco González,
Director de la Corporación Autónoma
Regional de Cundinamarca - CAR 2016-2019

Fotos: Cortesía Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR

➔ Foto 1. Tanques de tratamiento de aguas residuales con naturaleza viva – Pez Capitán.

Al contrario de antaño, hoy no es posible realizar obra pública alguna sin un piso social que no solo garantice su tranquila materialización, sino que permita incorporarla a la cotidianidad del ciudadano sin reparo alguno. Esto adquiere mayor consideración cuando estamos ejecutando obras de percepción negativa (plantas depuradoras de aguas residuales PTAR, plantas de sacrificio animal, parques-cementerios, centros de disposición y aprovechamiento de residuos sólidos, entre otros), pues aunque todos necesitamos estos servicios como parte esencial de la dotación urbana, pocos o ninguno desea tenerlos cerca de su entorno.

Bajo tales ejes, hace cerca de cuatro años, en camino a lograr la descontaminación del río Bogotá, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, contrató la construcción de la expansión y optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR El Salitre, hoy en día la más grande e importante obra de saneamiento básico que se ejecuta en Colombia y en América Latina, llamada a tratar las aguas residuales de 3,5 millones de personas a partir del segundo semestre del año 2020.

El elemento esencial para lograr que este proyecto avance ajustado a cronograma es, sin duda, la elaboración de un delicado tejido social gracias a una constante participación ciudadana desde orillas muy distintas y partiendo de la difícil oposición de algunos sectores comunitarios que tenían enormes reservas frente a este megaproyecto.

En el tejido social que arropó la obra de ingeniería, se formularon y se han honrado varios compromisos con la población residente en el área de influencia directa del proyecto, uno de los cuales fue implementar acciones a fin de garantizar no solo la construcción del Parque Metropolitano PTAR El Salitre, ajustado a las condiciones de áreas, usos y prioridades definidas con la misma comunidad, sino también que la PTAR fuera entendida como una gran Aula Ambiental para la formación de ciudadanos responsables con su entorno, y que esta Aula se pudiera compatibilizar con el Parque Metropolitano como si fuera un elemento del mismo.

➔ Foto 2. La PTAR El Salitre, Aula Ambiental para la formación de ciudadanos en responsabilidad ambiental y social.

Desde la CAR surgió la idea de aprovechar las inmensas instalaciones que se construyen en la PTAR El Salitre para convertirlas en receptoras perdurables de una gigantesca exposición de arte urbano, de manera que cada elemento intervenido por colectivos artísticos callejeros o grafiteros exprese desde su óptica las visiones que se tienen sobre un eje temático concreto, que no puede ser otro que el pasado, el presente y el futuro de la cuenca del río Bogotá.

La primera fase de la propuesta se cumplió a finales de 2019 agotando una convocatoria pública para seleccionar a los artistas que realizarían esta primera intervención; con apoyo del Instituto Distrital de Las Artes, IDARTES[1], un jurado de expertos seleccionó entre más de 15 propuestas la presentada por el colectivo Atrapasueños que lidera el artista argentino Javier Almirón, quienes dieron especial énfasis a visibilizar la fauna nativa del río Bogotá: la tingua, el caimán aguja y el pez capitán, entre otros, que pasaron del imaginario que casi nadie retiene a convertirse en grandes intervenciones en la PTAR, transformando felizmente esos muros de concreto fríos y mudos en enormes obras de arte que pueden ser admiradas desde el Mirador del Parque Metropolitano aledaño y desde muchos otros puntos a distancia, lo que no produce la impresión de observar sedimentadores, clarificadores, digestores y otras instalaciones técnicas, sino de encontrarse con una naturaleza viva que reclama del ciudadano bogotano su espacio de reconocimiento, aprendizaje y protección.

En ello radica la importancia de la iniciativa; con la plena intervención artística, la PTAR El Salitre ha de convertirse en la primera del Mundo que será un auténtico Museo de Arte Callejero o Urbano y un Aula Ambiental a cielo abierto que, además, purifica aguas residuales.

1 IDARTES: Instituto Distrital de las Artes, entidad adscrita a la Secretaría de Cultura, Recreación y Deporte de Bogotá, gestor de las prácticas artísticas en la ciudad.

Fotos 3 y 4. Tratamiento de aguas residuales y arte callejero – Caimán Aguja y Águila de la montaña.

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

UNACEM INTEGRA DJSI MILA 2020

Unión Andina de Cementos, ingresó por segunda vez consecutiva al Dow Jones Sustainability Index MILA Pacific Alliance (DJSI MILA) uno de los índices de sostenibilidad más prestigiosos del mundo, que mide a las empresas bursátiles en las dimensiones económica, social y ambiental. En esta cuarta edición, de las 62 empresas participantes que cotizan en los mercados bursátiles de la región, 31 fueron empresas peruanas, de las cuales solo 4 obtuvieron la certificación, siendo UNACEM una de ellas.

XVIII COLOQUIO DE QUÍMICA DEL CEMENTO

La Asociación de Productores de Cemento – ASOCEM, realizó con mucho éxito el **XVIII Coloquio de Química del Cemento**, el miércoles 28 y jueves 29 de octubre del 2020; con la asistencia de 116 participantes. Las diversas instituciones del rubro, presentaron novedosos trabajos de investigación, que evidenciaron, una vez más, el esfuerzo que realizan para llevar a la industria hacia un futuro sostenible con innovación.

Los trabajos que se presentaron fueron los siguientes:

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

- **APLICACIÓN DE LA CALORIMETRÍA ISOTÉRMICA PARA LA DETERMINACIÓN DE SO3 ÓPTIMO EN EL CEMENTO.**
  Ing. José Carlos Lazo. CPSAA.

- **EXPERIENCIAS EN EL USO DE CONCHUELA MARINA EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO.**
  Mtr. Ing. Ivanoff Rojas Tello. CPSAA; Mtr. Ing. Gabriel Mansilla Fiestas. CPSAA.

- **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ADITIVOS QUÍMICOS EN LA HIDRATACIÓN DE CEMENTOS POR CALORIMETRÍA ISOTÉRMICA.**
  Ing. Wilmer Vásquez de SIKA PERU S.A.C.

- **CHANCADO DE CARBÓN NACIONAL PARA ATENUAR LA VARIABILIDAD EN CONTENIDO DE CENIZA.**
  Ing. Miguel Quispe A. y Hernán La Jara.de UNACEM S.A.A.de la planta de Condorcocha.
- **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS EN EL CEMENTO PORTLAND TIPO I.**
  Ing. David Tapara. UNACEM S.A.A. planta Atocongo.

- **USO DE CALORIMETRÍA Y MICROCONCRETO EN PREMEZCLADOS.**
  Ph.D. Luis Baquerizo Ibarra. DINO S.R.L.

- **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO VÍA DIFRACCIÓN LÁSER: LA IMPORTANCIA DE ESTABLECER LOS PARÁMETROS ADECUADOS**
  Dra. Ing. Rosaura Vásquez Arrieta.
  Dra. Ing. Guillermina Marchetti.
  Lic. Jimmy Cánepa Ivazeta.
  Del Centro de Investigación del Cemento y Concreto (CIC) de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC).

Agradecemos a los profesionales que contribuyeron a llevar a cabo este importante evento que, además de facilitar el análisis del proceso productivo y diversas técnicas en la industria del cemento y concreto, contribuyen inmensamente a la innovación y desarrollo tecnológico.

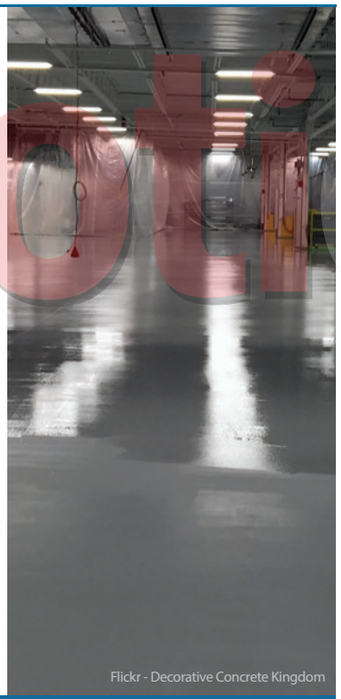
ASTM INTERNATIONAL
Standards Worldwide
Online Center

En **ASTM Online Center de Asocreto**
podrá adquirir a una tarifa especial más de
13.000 estándares y más de 29.000 artículos técnicos de diferentes sectores

Novedades en estándares

Nombre de los estándares:

- **ASTM C1609 - 19** Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading).
- **ASTM C157 - 17** Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete.
- **ASTM C1679 - 17** Standard Practice for Measuring Hydration Kinetics of Hydraulic Cementitious Mixtures Using Isothermal Calorimetry.


Flickr - Decorative Concrete Kingdom

Ahorre hasta un **25%** frente a ASTM.org

Valor de cada estándar con
ASTM Online Center Asocreto: US$32

El valor incluye los gastos de envío en Colombia.
Las tarifas en dólares son apróximadas y se liquidarán de acuerdo con la TRM vigente el día del pago.

TODO EL Concreto ESTÁ EN Asocreto
CEMENTO CONCRETO PREFABRICADOS

Más información de estos y otros estándares:
Ingeniero Francisco Javier Zapata
Teléfono: (57 1) 6180018 Ext. 123 y 124
Correo: fzapata@asocreto.org.co

Políticas y condiciones en www.asocreto.org.co/politicas-astm/

EVENTOS

TELESCOPIC CONNECTORS FOR PRECAST CONCRETE CONSTRUCTION
Fecha: 12 de enero del 2021
Organiza: THE CONCRETE SOCIETY

www.concrete.org.uk

WEBINAR EMISSIONS
Fecha: 13 de enero del 2021
Organiza: Cemtech

www.Cemtech.com

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

CONFERENCIA Y EXPOSICIÓN VIRTUAL GLOBAL CEMPRODUCER 2021
Fecha: 19 de enero del 2021
Organiza: Global Cement

www.globalcement.com

FESTIVAL DIGITAL DECARB CONNECT
Fecha: 26-28 de enero del 2021
Organiza: CEMBUREAU

www.cembureau.eu

IMPERMEABILIZACIONES

noticreto
LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Carolina en la obra

REPARACIONES EN TANQUES DE CONCRETO PARA AGUA

CONTENIDOS:
CARLOS ARCILA, DURALAB S.A.S

ILUSTRACIONES:
LUIS EDUARDO LEÓN

HOLA CAROLINA, ¿CÓMO PODEMOS REPARAR UN TANQUE DE CONCRETO QUE TIENE FILTRACIONES?

HOLA JOSÉ, LAS REPARACIONES DEPENDEN DEL TIPO DE FILTRACIONES Y HAY 4 CASOS QUE SON LOS MÁS COMUNES.

PERFECTO CAROLINA, ¿CUÁLES SON ESOS CASOS?

EL PRIMER CASO ES CUANDO HAY FILTRACIÓN DE AGUA EN LA UNIÓN ENTRE EL MURO Y LA LOSA. EN ESE CASO, LO RECOMENDADO ES HACER

UNA MEDIA CAÑA EN MORTERO IMPERMEABILIZADO EN EL SITIO DE LA FILTRACIÓN Y LUEGO INSTALAR UNA MEMBRANA HYPALON ADHERIDA SOLO EN LOS BORDES PARA QUE QUEDE FLOTANTE.

QUE BIEN CAROLINA Y, ¿QUÉ HACER CUANDO HAY UNA FISURA EN EL MURO?

ESE ES EL SEGUNDO CASO.

PRIMERO SE DEBE SELLAR LA FISURA CON MORTERO EPÓXICO POR AMBAS CARAS, USANDO BOQUILLAS PARA INYECTARLO.

LUEGO, POR LAS MISMAS BOQUILLAS SE INYECTA UNA RESINA EPÓXICA DE BAJA DENSIDAD PARA COMPLETAR EL SELLO DE LA FISURA.

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

BUENO CAROLINA Y CUANDO NO ES UNA FISURA SINO UN HUECO, ¿CÓMO SE HACE LA REPARACIÓN?

ESE ES EL TERCER CASO Y SE DENOMINA FILTRACIÓN LOCALIZADA. PARA REPARARLA,

SE HACEN VARIAS PERFORACIONES A 45° ALREDEDOR DE LA ZONA.

CAROLINA Y PARA QUÉ SE HACEN PERFORACIONES?

JOSÉ, LAS PERFORACIONES SE HACEN PARA INYECTARLAS CON POLIURETANO EXPANSIVO QUE FUNCIONARÁ DE INMEDIATO PARA SELLAR EL HUECO.

CAROLINA Y CUANDO TENEMOS UN TANQUE CON MUCHAS FISURAS QUE PODEMOS HACER?

ESE ES EL ÚLTIMO CASO. SI TENEMOS UN TANQUE MUY FISURADO O EL CONCRETO ESTÁ POROSO Y PERMITE EL PASO DE AGUA EN LA LOSA O EN LOS MUROS,

LA REPARACIÓN SE HACE INSTALANDO PAÑOS DE MEMBRANA DE PVC TERMOSOLDADA.

CAROLINA, ENTONCES DEPENDIENDO DEL TIPO DE DAÑO, EL PROCESO DE REPARACIÓN VARÍA.

SI JOSÉ, HAY QUE REALIZAR UN BUEN ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN QUE SE PRESENTA

CON EL FIN DE TOMAR LA DECISIÓN MÁS ADECUADA PARA LA REPARACIÓN.

FIN

ASOCEM
ASOCIACION DE PRODUCTORES DE CEMENTO

Toda la información sobre la industria del Cemento y Concreto en un solo lugar.

Visítanos en:
www.asocem.org.pe

Información de la Industria

Muestra estadísticas y enlaces relacionados a la industria del cemento y concreto a nivel nacional e internacional.

Biblioteca Virtual

Contiene información técnica de la industria del cemento y concreto mediante artículos, libros, conferencias y documentos técnicos.

Brindamos servicios de búsqueda especializada

El área de normalización incluye referencias de las Normas Técnicas Peruanas sobre cemento, concreto y áreas relacionadas.

Congresos y Capacitaciones

A través de los cuales formamos y difundimos información sobre últimos avances e innovación en temas relacionados con la industria, convocando a expositores de primer nivel.

Ensayos interlaboratorios

A manera de contribuir a la mejora continua del desempeño de los laboratorios especializados.

Av. Juan de Aliaga 425, Oficina 510,
Magdalena del Mar
+051 - 281 8177 / +051 - 256 9124
www.facebook.com/asocem

PACASMAYO
PROFESIONAL

MAXIMIZA TU PRODUCTIVIDAD Rapimix

MORTEROS Y CONCRETOS EMBOLSADOS LISTOS PARA USAR.

MORTERO **ASENTADO**

MORTERO **TARRAJEO**

CONCRETO SECO TIPO I

CONCRETO SECO TIPO MS

GROUT ALBAÑILERÍA

PONTE EN CONTACTO CON NOSOTROS:

0800-1-34666 cementospacasmayo.com

Descarga el App Pacasmayo Profesional en Descárgalo en el App Store DISPONIBLE EN Google Play

Pacasmayo