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.

Control de la fisuración

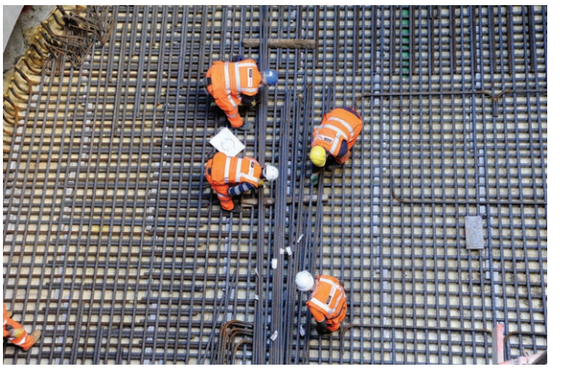
En los depósitos de agua potable y de aguas residuales, para proteger la salud de las personas debe evitarse la filtración de adentro hacia afuera y viceversa. Es primordial controlar la fisuración, por lo cual se establecen valores estrictos para los anchos permisibles de las fisuras una vez que la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

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

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.

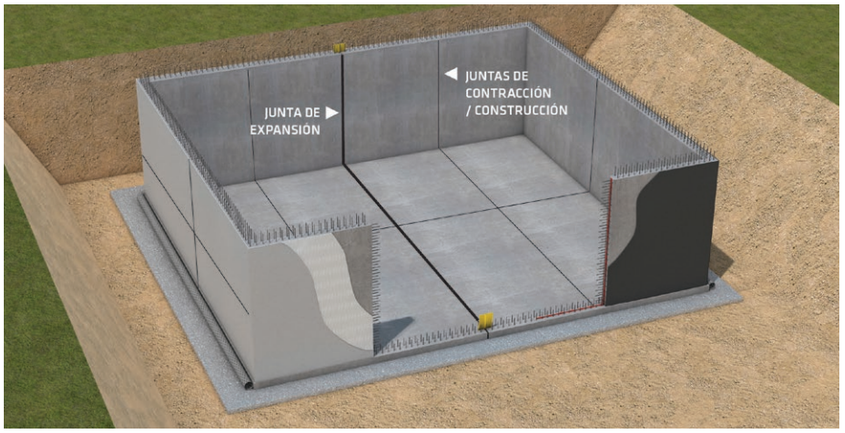


Figura 1. Juntas de construcción, contracción y expansión en las paredes y losa de un tanque.

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.

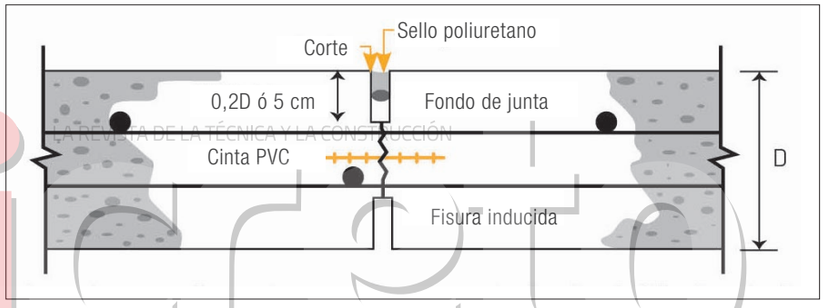


Figura 2. Junta de contracción con dos cortes. Se muestran el sello primario con cinta de PVC y el sello secundario en el corte usando masilla de poliuretano con resistencia química.

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.

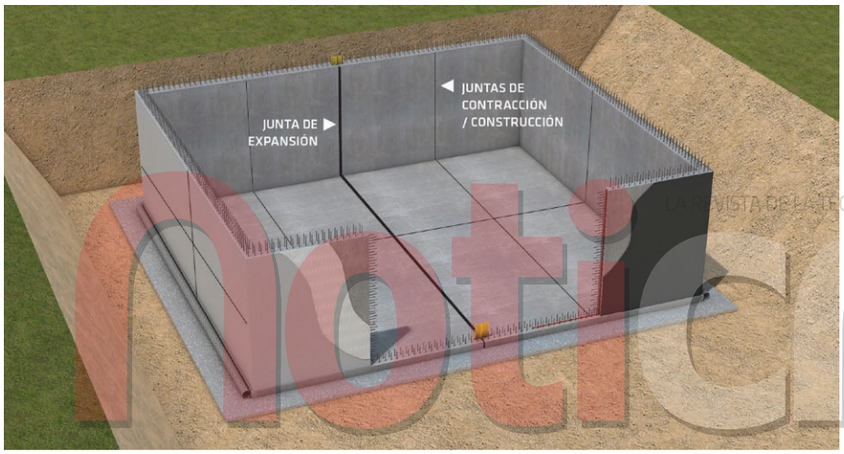


Figura 3. Juntas de contracción en la losa y paredes de un tanque. Se muestra el detalle del sello de la junta con cinta PVC y sello de poliuretano.

noticreto LA REVISTA DE LA TECNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

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.

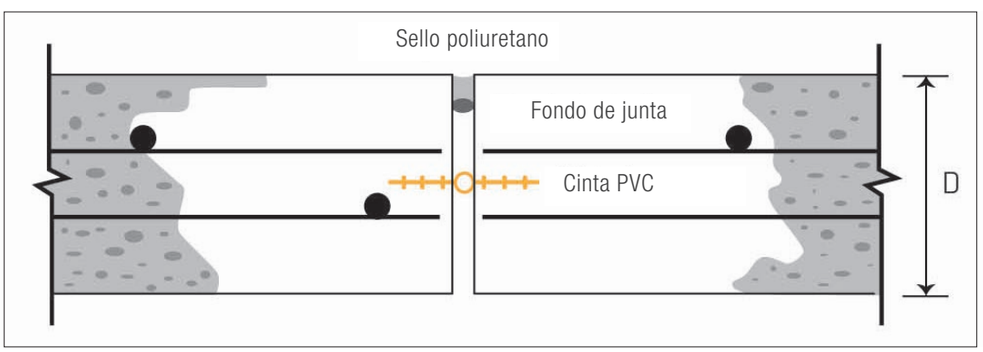


Figura 4. Junta de expansión. Se muestra el sello primario con cinta de PVC con bulbo central y poliuretano de resistencia química como material de sello secundario.

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).

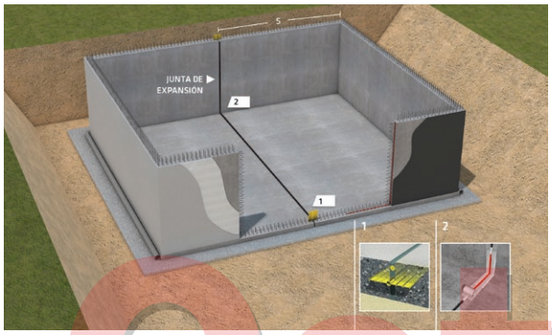


Figura 5. Junta de expansión en las paredes y losa de un tanque. Se muestra el detalle del sello primario de la junta con cinta PVC con bulbo y un sello de poliuretano de alta resistencia química. Otra opción es el uso de una cinta adhesiva impermeable flexible como sello secundario.

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.

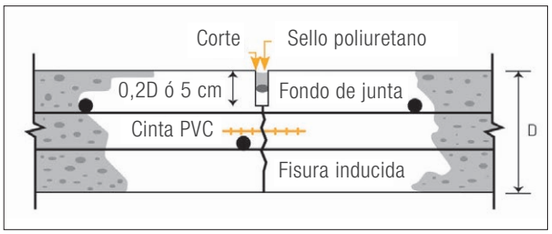


Figura 6. Junta de construcción con un solo corte. Se muestran la cinta de PVC y el material de sello secundario.

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).

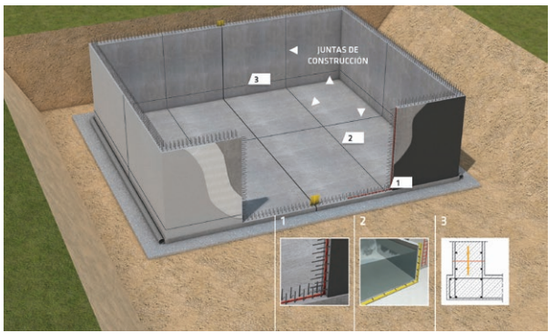


Figura 7. Junta de construcción. Se muestran el detalle del sello de la junta con cinta PVC y un sello de poliuretano. Cuando sea imposible instalar la cinta PVC por la congestión de barras de acero de refuerzo, se puede usar un sello expandible hidrofílico con resistencia química, el cual se expandirá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

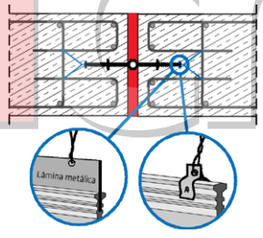


Figura 8. Fijación de la cinta de PVC al interior de la estructura. Se posiciona dentro de la estructura de concreto y debe sujetarse al acero de refuerzo con ganchos adecuados para tal fin, sin perforarla.

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

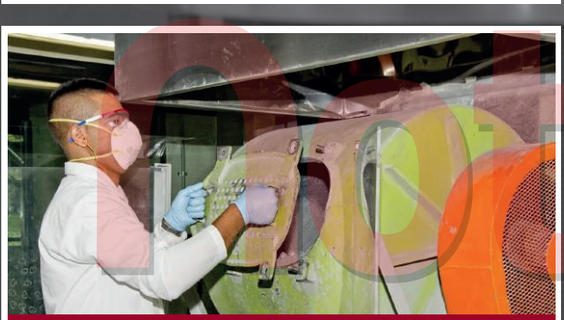
ACREDITADO ONAC
ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA
ISO/IEC 17025:2005
12-LAB-043

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
Noticreto

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